

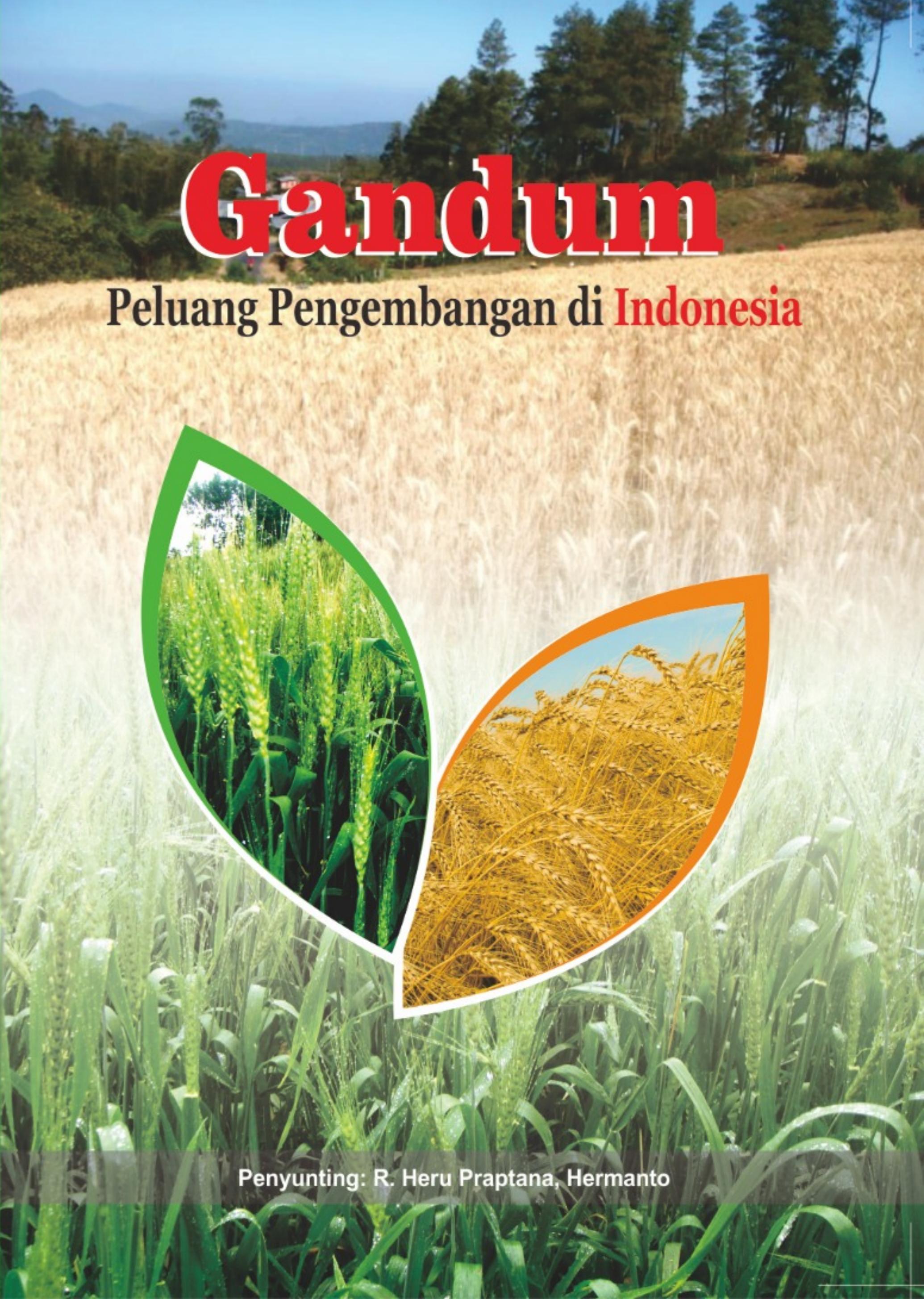
Gandum: Peluang Pengembangan di Indonesia

Tepung terigu, yang merupakan produk dari biji gandum, mengandung karbohidrat 60-80%, protein 10-20%, lemak 2-2,5%, mineral 4-4,5% dan sejumlah vitamin. Komoditas pangan ini juga memiliki gluten yang bersifat mengembang dan lengket dalam berbagai produk pangan, terutama roti, mie, dan cake. Gandum kini menjadi makanan pokok penduduk di lebih dari 40 negara. Produksi gandum dunia dewasa ini sekitar 850 juta ton/tahun dengan hasil rata-rata 3,5 t/ha, tetapi di negara-negara produsen sangat beragam, dari 0,97 t/ha hingga 8 t/ha.

Dibandingkan dengan ketersediaan beras sekitar 46 juta ton di pasar internasional, ketersediaan gandum jauh lebih banyak dan stabil, berkisar antara 100-170 juta ton. Hal ini turut memicu kebijakan pemerintah untuk mengimpor gandum di saat menipisnya stok beras di pasar internasional. Pada periode 1968-1973, total impor gandum Indonesia 3,3 juta ton dan meningkat setiap tahun hingga mencapai 7 juta ton pada tahun 2015.

Di Indonesia, gandum sudah diperkenalkan sejak awal abad ke-18, tetapi tidak pernah menjadi tanaman penting dalam sistem usahatani. Upaya pengembangan gandum diawali melalui uji adaptasi pada tahun 1978. Hasil penelitian menunjukkan tanaman gandum dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik pada dataran tinggi (800-1.300 m dpl) dengan hasil 2,9-4,8 t/ha dan dataran sedang (350-700 m dpl) dengan hasil 1-2,5 t/ha. Uji adaptasi galur introduksi menghasilkan varietas Nias dan Timor. Penelitian selanjutnya menghasilkan varietas Selayar dan Dewata. Dalam rangka percepatan pelepasan varietas unggul baru, Badan Litbang Pertanian merintis kerja sama konsorsium penelitian dengan beberapa institusi seperti perguruan tinggi. Kerja sama konsorsium ini membuat hasil dengan dilepasnya dua varietas unggul baru gandum, yaitu Guri-1 dan Guri-2 pada tahun 2013. Kemudian dilepas pula varietas Ganesha, Guri-3 Agritan, Guri-4 Agritan, Guri-5 Agritan dan Guri-6 UNAND.

Buku ini menyajikan beragam informasi tentang penelitian gandum di Indonesia sampai saat ini. Selain itu dikemukakan pula berbagai aspek lainnya yang berkaitan dengan gandum seperti struktur dan taksonomi, nutrisi biji, kesesuaian lahan, pemuliaan gandum secara konvensional dan berbasis molekuler serta aplikasi mutasi, pengelolaan benih, pemupukan, pengendalian penyakit dan penanganan pascapanen.



Gandum

Peluang Pengembangan di Indonesia

Gandum

Peluang Pengembangan di Indonesia

Penyunting

R. Heru Praptana
Hermanto



Indonesian Agency for Agricultural Research and
Development (IAARD) Press
2016

GANDUM: PELUANG PENGEMBANGAN DI INDONESIA

Cetakan 2016

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
©Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2016

Katalog dalam Terbitan (KDT)

BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN

Gandum: Peluang pengembangan di Indonesia/Penyunting, R. Heru
Praptana dan Hermanto.--Jakarta: IAARD Press, 2016
x, 276 hlm.: ill.; 24 cm

ISBN 978-602-344-109-9

1. Gandum 2. Tropika 3. Pengembangan 4. Indonesia
I. Judul II. Praptana, R. Heru III. Hermanto

633.11(594)

IAARD Press

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Jln. Ragunan 29, Pasar Minggu, Jakarta 12540
Telp.: + 62 21 7806202, Faks.: 62 21 7800644

Alamat Redaksi:

Pusat Perpustakaan dan Penyebaran Teknologi Pertanian
Jalan Ir. H. Juanda No. 20, Bogor 16122
Telp.: + 62 251 8321746, Faks.: +62 251 8326561
email: iaardpress@litbang.pertanian.go.id

ANGGOTA IKAPI NO: 445/DKI/2012

Daftar Isi

Daftar Isi	v
Pengantar	vii
Ringkasan Eksekutif	ix
Pertanaman dan Produksi Gandum di Dunia	1
<i>Sumarno dan Made Jana Mejaya</i>	
Kebijakan Pengembangan Gandum di Indonesia	15
<i>Hasil Sembiring, Hasnul, dan Diana</i>	
Dinamika Penelitian Gandum di Indonesia	27
<i>Erythrina dan Zulkifli Zaini</i>	
Asal Usul dan Taksonomi Tanaman Gandum	41
<i>Muhammad Azrai dan Nining Nurini Andayani</i>	
Struktur dan Komposisi Biji dan Nutrisi Gandum	51
<i>Suarmi</i>	
Morfologi dan Fase Pertumbuhan Gandum	69
<i>Aviv Andriani dan Muzdalifah Isnaini</i>	
Kesesuaian Lahan dan Pengelolaan Air pada Tanaman Gandum	107
<i>Muhammad Aqil, Muhammad Yasin, dan A. Haris Talanca</i>	
Pengembangan Gandum di Daerah Tropika dengan Pendekatan	
Fisiologis dan Agronomis	123
<i>Zulkifli Zaini dan Nuning Argo Subekti</i>	
Pembentukan Varietas Unggul Gandum di Indonesia	135
<i>Amin Nur, Muh. Azrai, dan Made Jana Mejaya</i>	
Perkembangan Perakitan Varietas Gandum di Indonesia	153
<i>A. Haris Talanca dan N.N. Andayani</i>	
Pemuliaan Gandum Berbasis Marka Molekuler	165
<i>Marcia B. Pabendon, Sri Sunarti, dan R. Heru Praptana</i>	
Aplikasi Teknologi Mutasi Dalam Pembentukan Varietas Gandum Tropis	185
<i>Amin Nur dan Karlina Syahruddin</i>	
Pengelolaan Benih Gandum	203
<i>Ramlah Arief, Oom Komalasari, dan Fauziah Koes</i>	
Pemupukan Tanaman Gandum	219
<i>Syafruddin</i>	
Pengelolaan Penyakit Tanaman Gandum	241
<i>Amran Muis dan Nurnina Nonci</i>	
Teknologi Pascapanen Gandum	263
<i>Muhammad Taufiq dan Muhammad Aqil</i>	

Kata Pengantar

Perubahan pola hidup dan pola makan masyarakat Indonesia dewasa ini, telah mendorong meningkatnya konsumsi pangan berbahan gandum sehingga mendominasi pasar karena mudah diawetkan dan disajikan secara cepat, antara lain dalam bentuk roti dan mie instan. Semakin meningkatnya konsumsi pangan berbahan gandum menyebabkan impor gandum terus membengkak hingga mencapai 7 juta ton pada tahun 2015. Pemerintah berusaha menggali kemungkinan produksi gandum di dalam negeri.

Sebagai tanaman subtropis, gandum memerlukan suhu sejuk, di bawah 20° C, pada awal pertumbuhan hingga menjelang berbunga, kemudian memerlukan suhu yang lebih tinggi pada fase selanjutnya, yang disertai dengan kelembaban rendah. Kondisi lingkungan seperti ini di Indonesia hanya terjadi pada ekosistem oleh lahan dataran tinggi, yang juga cocok untuk tanaman sayuran yang bernilai ekonomi tinggi.

Penelitian gandum di Indonesia telah dilakukan oleh Badan Litbang Pertanian melalui Puslitbang Tanaman Pangan sejak tahun 1980an, diawali dengan uji adaptasi galur introduksi bekerjasama dengan beberapa negara seperti Jepang, India, Pakistan, Filipina, dan Meksiko. Hasil penelitian menunjukkan gandum memiliki potensi hasil yang cukup menjanjikan di dataran tinggi dan medium. Empat varietas gandum (Nias, Timor, Selayar, Dewata) berhasil dilepas pada periode 1993-2004. Pada periode 2013-2014, melalui konsorsium penelitian gandum yang melibatkan Badan Litbang Pertanian, Perguruan Tinggi, dan PATIR-BATAN, dilepas lagi tujuh varietas gandum yang dua di antaranya sesuai untuk lahan dataran medium. Namun hasil varietas tersebut termasuk kurang stabil.

Buku ini diterbitkan untuk memberikan informasi berbagai aspek tentang gandum, baik sistem produksi maupun produksi dunia serta aspek teknis seperti pengelolaan hara, air, dan organisme pengganggu. Penerbitan buku gandum diharapkan dapat menjadi rujukan dan sekaligus bahan pertimbangan, mendorong timbulnya ide dan pemikiran untuk pengembangan gandum di Indonesia.

Saya sampaikan penghargaan dan terima kasih kepada penulis dan senior Puslitbang Tanaman Pangan yang telah meluangkan waktu memberi saran perbaikan terhadap naskah yang ditulis. Terima kasih juga saya sampaikan kepada editor sampai diterbitkannya publikasi ini.

Bogor, Mei 2016

Kepala Pusat Penelitian dan
Pengembangan Tanaman Pangan

Dr. Ali Jamil

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Prof. Dr. Sumarno, Prof. Dr. Djoko Said Damardjati, dan Drs. Mahyuddin Syam, MPS, yang telah berkontribusi dalam penerbitan buku gandum yang diinisiasi oleh Puslitbang Tanaman Pangan.

Ringkasan Eksekutif

Perubahan pola hidup masyarakat yang lebih mengedepankan efisiensi dan kepraktisan dalam kegiatan sehari-hari, telah memicu peningkatan permintaan akan ketersediaan pangan cepat saji dalam beragam bentuk. Tepung terigu yang berasal dari biji gandum, memegang peranan penting dalam memenuhi tuntutan itu. Biji gandum mengandung karbohidrat 60-80%, protein 10-20%, lemak 2-2,5%, mineral 4-4,5% dan sejumlah vitamin. Gandum juga memiliki keunggulan karakteristik protein yang spesifik oleh kandungan gluten yang mampu membentuk matriks sehingga bahan olahan mengembang dan lengket dalam pengolahan berbagai produk pangan, terutama roti, mie, dan *cake*. Karakteristik fisikokimia gluten tidak ditemukan pada tepung serealia lainnya, seperti pada padi dan jagung.

Gandum merupakan tanaman “purba” yang lebih dulu dibudidayakan oleh manusia daripada padi dan jagung dan kini menjadi makanan pokok bagi penduduk di lebih dari 40 negara. Dewasa ini hampir seluruh penduduk dunia mengkonsumsi gandum dalam berbagai bentuk pangan, terutama roti dan pangan cepat saji. Tanaman ini pertama kali dibudidayakan sekitar 10.000 tahun yang lalu di wilayah subur berbentuk bulan sabit yang mencakup Jordania, Lebanon, Turki, Syria, Irak, dan Palestina. Dalam perkembangannya, tanaman gandum menyebar ke India, Tiongkok, Eropa, Amerika, dan Australia. Sejarah Cina menunjukkan bahwa budi daya gandum telah ada sejak 2700 SM. Sebagaimana halnya padi dan jagung, gandum termasuk famili Poacea (Gramineae) yang memiliki kerabat lebih dari 20 spesies. Pembagian spesies gandum berdasarkan tingkat ploidinya terdiri atas diploid ($2x = 14$ kromoson), tetraploid ($4x = 28$ kromoson), dan hexaploid ($6x = 42$ kromoson).

Tanaman gandum, mempunyai banyak keragaman, antara lain gandum einkorn liar (diploid), gandum emmer liar (tetraploid), dan selanjutnya timbul spesies gandum hexaploid (*Triticum aestivum*) yang banyak ditanam sekarang. Bentuk tetraploid ($4x$) adalah *Triticum durum*, yang masih ditanam hingga saat ini sebagai gandum bahan makaroni dan spaghetti. Emmer liar dibudidayakan secara luas di wilayah Yunani, Siprus, dan India pada 6500 SM. Bentuk yang lebih adaptif kemudian meluas ke Jerman dan Spanyol pada 5000 SM, lalu ke Inggris dan Skandinavia dan selanjutnya menyebar ke Tiongkok. Tanaman gandum modern (hexaploid, $6x$) pertama kali masuk ke Amerika Selatan, Amerika bagian utara dan Australia pada abad ke-16 sampai abad ke-17.

Emmer liar (*Triticum dicoccoides*), setelah melalui proses persilangan alamiah dan seleksi yang berlangsung secara alami, menghasilkan gandum durum atau gandum macaroni (*T. durum*) dan spelt (*T. spelt*) yang dalam proses selanjutnya melalui persilangan alamiah menurunkan gandum roti (*Triticum aestivum*) yang banyak ditanam hingga sekarang. Sekitar 95% pertanaman gandum dunia saat ini adalah *T. aestivum* bahan baku roti dan mie, sedangkan sekitar 5% ditanam *T. durum* untuk makanan pasta, atau macaroni dan spaghetti. Mutu gandum

bergantung pada jenis dan lingkungan tumbuhnya yang dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu gandum keras (*hard wheat*) dan gandum lunak (*soft wheat*). Berdasarkan musim tanam, dikenal pula gandum musim semi (*spring wheat*) dan gandum musim dingin (*winter wheat*). Gandum merah (*soft red wheat*) dan gandum putih (*white wheat*) dikelompokkan sebagai gandum lunak.

Sebagai tanaman subtropis, gandum hanya bisa dikembangkan di dataran tinggi tropis dengan kelembaban yang relatif rendah. Kelembaban tinggi kondusif bagi perkembangan berbagai penyakit, terutama karat, hawar daun, dan scab. Pada umumnya sejumlah kriteria digunakan untuk menilai kesesuaian lahan bagi pertanaman gandum, termasuk suhu, curah hujan, kelembaban udara, drainase, dan kedalaman tanah. Hasil optimal gandum diperoleh dari lingkungan dengan suhu antara 10-20°C pada awal pertumbuhan hingga menjelang fase generatif, dan curah hujan 640-890 mm/tahun dengan periode suhu panas dan kering pada masa menjelang panen.

India dan Tiongkok merupakan negara yang memiliki areal panen dan produksi gandum tertinggi di dunia, namun eksportir utama komoditas ini adalah Amerika Serikat, Australia, Kanada, dan Uni Eropa. Produksi gandum dunia sekitar 850 juta ton/tahun dengan hasil rata-rata 3,5 t/ha, akan tetapi produktivitas di negara-negara produsen gandum sangat beragam dari 0,97 t/ha hingga 8 t/ha.

Berbeda dengan sistem produksi gandum yang berskala luas di Amerika, Eropa, dan Australia, gandum di Asia ditanam petani dalam skala kecil, di lahan sawah dalam pola padi-gandum. Sekitar 13,5 juta ha pola padi-gandum terdapat di India dan 10 juta ha di Tiongkok. Gandum yang sudah sejak lama menjadi bahan pangan pokok di kedua negara ini, produksi dalam negeri umumnya digunakan untuk konsumsi nasional. Penelitian di beberapa wilayah India dan Tiongkok menunjukkan bahwa dalam pola rotasi padi-gandum, hasil gandum relatif lebih rendah daripada padi.

Dibandingkan dengan ketersediaan beras yang relatif kecil di pasar internasional (sekitar 46 juta ton gabah atau 31 juta ton beras), ketersediaan gandum jauh lebih banyak dan stabil, berkisar antara 100-170 juta ton. Hal ini turut memicu kebijakan pemerintah untuk mengimpor gandum ketika menghadapi kondisi menipisnya volume beras di pasar internasional. Kebijakan diambil dengan pertimbangan terigu dapat mensubstitusi beras, apalagi didukung oleh Amerika Serikat melalui bantuan pinjaman lunak PL-480. Pada periode 1968-1973, total impor gandum Indonesia baru mencapai 3,3 juta ton dan meningkat setiap tahunnya hingga mencapai 7 juta ton pada tahun 2015. Pada tahun 1998, hampir semua bentuk subsidi dan pembatasan impor dihapus. Berdasarkan kesepakatan antara pemerintah Indonesia dengan IMF ditetapkan bea masuk impor 5%, yang dituangkan dalam Keppres No. 45. Kebijakan tersebut pernah dicabut pada Maret 2002 tapi pada awal April 2003 pemerintah kembali menetapkan bea masuk tepung terigu sebesar 5%.

Meski tanaman gandum di Indonesia sudah diperkenalkan sejak awal abad ke-18, akan tetapi tidak pernah menjadi tanaman penting dalam sistem usahatani. Upaya pengembangannya diawali oleh Kementerian Pertanian melalui uji adaptasi gandum pada tahun 1978. Pada tahun 1981, Badan Litbang Pertanian melakukan penelitian gandum di Balai Penelitian Tanaman Pangan (Balittan) Sukarami di Sumatera Barat. Penelitian mencakup pengujian adaptasi plasma nutfah gandum yang diintroduksi dari berbagai negara. Dari sejumlah plasma nutfah introduksi tersebut, beberapa di antaranya menunjukkan keragaan dan daya adaptasi yang cukup menjanjikan pada lahan dataran tinggi, yang kemudian dilepas sebagai varietas unggul.

Hasil penelitian di beberapa daerah menunjukkan bahwa tanaman gandum dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik pada dataran tinggi (800-1.300 m dpl) dengan hasil 2,9-4,8 t/ha dan dataran sedang (350-700 m dpl) dengan hasil 1-2,5 t/ha. Pada kondisi tanpa gangguan hama dan penyakit, produktivitas gandum sejalan secara linier dengan ketinggian tempat, meski faktor lain seperti waktu tanam dan penyakit karat ikut berpengaruh. Uji adaptasi galur asal introduksi menghasilkan dua varietas yang dilepas dengan nama Nias dan Timor. Penelitian selanjutnya menghasilkan dua varietas lagi, yaitu Selayar dan Dewata.

Berbarengan dengan upaya penelitian, Kementerian Pertanian mengembangkan gandum dalam bentuk demonstrasi pertanaman di enam provinsi (Sumatera Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, dan Sulawesi Selatan). Dalam rangka percepatan pelepasan varietas unggul baru, Badan Litbang Pertanian merintis kerja sama konsorsium penelitian dengan melibatkan beberapa institusi seperti perguruan tinggi (IPB, UNAND dan UKSW) dan PATIR-BATAN. Kegiatan penelitian konsorsium diarahkan pada pembentukan varietas gandum tropis unggul melalui kegiatan konvensional (hibridisasi dan seleksi antarfamili), dan pemuliaan nonkonvensional (iradiasi, kultur jaringan dan somaklonat, serta transgenik). Kerja sama konsorsium ini membuat hasil dengan dilepasnya dua varietas unggul baru gandum, yaitu Guri-1 dan Guri-2 pada tahun 2013. Kemudian dilepas pula Ganesha-BATAN, Guri-3 Agritan, Guri-4 Agritan, Guri-5 Agritan dan Guri-6 UNAND. Guri merupakan singkatan dari Gandum untuk Rakyat Indonesia. Varietas Ganesha dihasilkan oleh BATAN melalui iradiasi sinar gamma terhadap galur CBD-17. Dibandingkan dengan Guri-1 dan Guri-2, varietas Guri-3 Agritan dan Guri-4 Agritan lebih tahan penyakit hawar daun, dan beradaptasi baik pada ketinggian 1.000 m dpl. Varietas Guri-5 Agritan dan Guri-6 UNAND beradaptasi baik pada dataran medium (600 m dpl) dan tahan penyakit hawar daun.

Penelitian gandum selama ini lebih banyak difokuskan pada pemuliaan tanaman. Kajian agronomi yang dilakukan di Timor Leste ketika masih menjadi bagian NKRI memberikan gambaran bahwa pemupukan dengan takaran 90 kg N/ha memberikan hasil optimum. Kondisi ini sejalan dengan hasil penelitian di berbagai negara lain seperti Bangladesh, Pakistan, dan India.

Pupuk organik seperti pupuk kandang dapat memperbaiki kondisi fisik dan kimia tanah, selain membantu menjaga kelembaban tanah. Pemberian pupuk

organik sebanyak 10-15 t/ha di awal pertanaman meningkatkan hasil panen gandum selama tiga musim tanam berturut-turut, bila dikombinasikan dengan pemberian pupuk anorganik N pada kelembaban tinggi di Bangladesh. Pada kondisi suhu tinggi, penguapan pupuk N dalam bentuk NH₃ lebih cepat dibandingkan dengan aplikasi setara N dalam bentuk pupuk organik seperti pupuk kandang. Mulsa jerami juga berpotensi memperbaiki kondisi suhu dengan mengurangi laju penguapan kelembaban tanah dan meningkatkan laju infiltrasi dan menurunkan suhu tanah.

Untuk dapat berproduksi optimal, kebutuhan air tanaman gandum berkisar antara 450-650 mm, bergantung pada iklim dan lama pertumbuhan tanaman. Di Asia Selatan, kebutuhan air bagi tanaman gandum cenderung lebih sedikit, berkisar antara 400-450 mm karena umur tanaman relatif lebih pendek. Di Indonesia dengan kondisi kelembaban dan suhu tinggi, tanaman gandum dapat dipanen pada umur 85-115 hari, bergantung pada varietas. Kecukupan air pada stadia pembentukan rumpun, pembungaan, dan pengisian bulir mampu memberikan hasil optimal.

Berdasarkan analisis potensi luas areal untuk pertanaman gandum yang hanya seluas 73.455 ha tersebar di 15 propinsi, dan potensi daya hasil yang diperoleh serta persyaratan tumbuh tanaman yang sulit dipenuhi, pengembangan gandum di Indonesia tampaknya akan menghadapi tantangan yang cukup berat. Apalagi petani umumnya belum menguasai teknik budi daya tanaman gandum, sedangkan harga di pasar internasional dan domestik relatif stabil rendah. Kemajuan teknologi dalam meningkatkan hasil panen dan mengatasi pengaruh suhu tinggi di masa depan, apabila dapat diperoleh, diharapkan dapat membuka peluang yang lebih besar bagi pengembangan gandum di Indonesia.

Buku ini menyajikan beragam informasi tentang penelitian gandum di Indonesia sampai saat ini. Selain itu dikemukakan pula berbagai aspek lainnya yang berkaitan dengan gandum seperti struktur dan taksonomi, nutrisi biji, kesesuaian lahan, pemuliaan gandum secara konvensional dan berbasis molekuler serta aplikasi mutasi, pengelolaan benih, pemupukan, pengendalian penyakit dan penanganan pascapanen.

Pertanaman dan Produksi Gandum di Dunia

Sumarno dan Made Jana Mejaya

Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan

PENDAHULUAN

Gandum merupakan tanaman kuno, mungkin yang tertua di antara golongan tanaman serealia yang diusahakan oleh manusia. Sejak 7000 tahun Sebelum Masehi, atau 9000 tahun yang lalu, gandum sudah menjadi bahan pangan pokok penduduk di Mesir, Yunani, Persia, China (Metcalfe and Elkins 1980). Sejak zaman Yunani kuno gandum telah menjadi bagian penting dari program pemerintah kerajaan, seperti tercermin dari ucapan Sacrotes: "Seseorang tidak akan menjadi negarawan yang baik apabila ia acuh terhadap permasalahan gandum". Domestikasi strain liar gandum menjadi tanaman pertanian dilakukan sejak 10.000-12.000 tahun yang lalu, terutama di negara-negara Timur dekat dan Timur jauh (Carver 2009). Budaya pertanian dimulai dengan menanam gandum dimulai pada zaman tersebut di lembah Sungai Tigris dan Eufrat di tenggara Turki dan Syria bagian utara. Di bagian utara dunia seperti Eropa dan Rusia, gandum merupakan tanaman pionir budaya pertanian. Di dunia baru, termasuk Kanada, Amerika Serikat, Amerika Selatan dan Australia, tanaman gandum dibudidayakan mulai pertengahan atau akhir abad ke 17.

Walaupun memerlukan persyaratan tumbuh spesifik, akan tetapi secara praktis gandum telah menjadi tanaman kosmopolit, ditanam di 40 negara, dengan total produksi lebih dari 820 juta ton per tahun, dan menjadi pangan pokok bagi lebih dari 35% penduduk dunia (Williams 1993). Bila dikontraskan dengan jenis tanaman sereal lain, seperti padi, jagung dan sorgum, tanaman gandum memiliki sebaran wilayah adaptasi lebih pada daerah subtropis, dari garis lintang 67° LU (Norwegia, Finlandia, Rusia) hingga 45° LS (Argentina, Chili). Akan tetapi di wilayah tropis (23°LU hingga 23°LS) tidak terdapat tanaman gandum secara komersial. Negara-negara di dunia yang menjadi pusat produksi gandum adalah negara subtropis Eropa, Asia, Amerika, Afrika dan Australia.

Gandum merupakan bahan pangan sereal yang jumlahnya terbesar dalam penyediaan pangan pokok warga dunia. Kelebihan gandum dibanding sereal lainnya sebagai bahan pangan adalah dapat diolah menjadi banyak jenis makanan yang lebih tahan simpan dibandingkan dengan pangan dari beras. Kandungan gluten pada gandum memungkinkan pangan dari komoditas ini bersifat kenyal, dan mengembang bila dipanaskan. Dalam kehidupan modern, pangan berbahan gandum mendominasi pasar swalayan, karena mudah diawetkan dalam bentuk roti, cake, biskuit, cookies, mie instan, dan lainnya.

Pangsa gandum dalam penyediaan pangan dunia dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pangsa gandum dan bahan pangan penting lainnya dalam penyediaan pangan di dunia.

Jenis bahan pangan	Pangsa penyediaan pangan dunia (%)	Negara konsumen utama
Gandum	24	Eropa, Asia, Amerika, Australia, Afrika bagian utara
Padi	26	Asia, Afrika, Caribia
Jagung	7	Afrika, Asia, Amerika Selatan
Sorgum + millet	4	Afrika, India
Kentang	2	Eropa, Amerika Utara, Amerika Selatan, Australia
ubi jalar	1,5	Afrika, China, India
ubi kayu	2,5	Afrika, Amerika Selatan, Asia
sagu, sukul	1,0	Pasifik, Oceania, Asia
Kacang-kacangan, minyak	5,0	Asia, Afrika, Amerika
Tebu, bit gula	8	Asia, Eropa, Amerika
Minyak lainnya	3	Asia, Amerika Utara, Eropa

Sumber: FAO (1998).

Sekitar 100 juta ton biji gandum masuk ke pasar internasional setiap tahunnya, dimana Indonesia mengimpor sekitar 7 juta ton per tahun, atau 7% dari stok gandum di pasar internasional. Besarnya impor gandum di Indonesia sering menimbulkan pertanyaan, mungkinkah gandum diproduksi di dalam negeri, guna mengurangi impor.

Negara pengekspor gandum terbesar di dunia adalah Amerika Serikat (24,67%), Australia (14,95%), Canada (14,51%), Negara Uni Eropa (13,15%), Argentina (6,35%), dan negara-negara produsen gandum lainnya (26,38%) (McFall and Fowler 2009). Pada setiap akhir tahun selalu tersedia stok sisa gandum sekitar 7-14 juta ton, guna mengisi pasar internasional tahun berikutnya. Hal ini menyebabkan hampir tidak pernah terjadi kekurangan stok gandum di pasar dunia.

Konsumsi gandum di Indonesia terus meningkat sejalan dengan tumbuhnya konsumsi mie instan, roti, kue, dan cookies. Hampir 95% makanan berbahan baku tepung terigu sebenarnya adalah jenis makanan “introduksi”, bukan makanan asli Indonesia. Pola makan bangsa Indonesia yang terkait dengan terigu (gandum), nampaknya dibentuk oleh kampanye lewat iklan yang sangat gencar dan oleh penyediaan produk “siap saji secara mudah” di seluruh pelosok negara. Gandum atau terigu, yang masuk ke Indonesia pada tahun 1950-an sebagai bantuan pangan secara gratis lewat program bantuan PL-480, kini telah berubah menjadi kebutuhan pokok “wajib” yang harus diimpor dari pasar internasional dengan harga mahal.

Makalah ini secara umum membahas sebaran wilayah produksi, persyaratan tumbuh, perkembangan sistem produksi dan perdagangan gandum dunia, serta prospek dan problem usahatani gandum di Indonesia.

SEBARAN WILAYAH PRODUKSI GANDUM DUNIA

Sentra produksi gandum di dunia adalah negara Federasi Rusia, dataran bagian tengah Amerika Serikat, bagian selatan Canada, dataran rendah wilayah Mediterania, China bagian Utara, India bagian utara, Argentina dan Australia (Carver 2009). Sebanyak 17 negara masing-masing memanen gandum lebih luas dari 2,5 juta ha per tahun, yaitu Afganistan, China-Tiongkok, India, Iran, Pakistan, Turki, Perancis, Jerman, Kazakstan, Federasi Rusia, Ukraina, Argentina, Brazil, Amerika Serikat, Kanada, Maroko dan Australia (Tabel 2). Luas panen gandum dunia pada tahun 2014 mencapai 246,620 juta ha, terluas di antara tanaman biji-bijian lainnya. Negara-negara wilayah tropikal Asia yang tidak menanam gandum antara lain Indonesia, Filipina, Malaysia, Myanmar, Vietnam, dan Chamboja, yang mengindikasikan bahwa gandum memang bukan tanaman dataran rendah tropis.

Produktivitas gandum di dunia sangat beragam, dari 0,97 t/ha di Tanzania, hingga 9,17 t/ha di Netherlands, 9,41 t/ha di Belgia. Negara produsen gandum tradisional, produktivitas termasuk rendah, seperti Pakistan (2,82 t/ha), Iran (1,46 t/ha), India (3,3 t/ha), Federasi Rusia (2,5 t/ha), Amerika Serikat (2,94 t/ha), Argentina (2,8 t/ha), Kanada (3,1 t/ha), dan Australia (2,0 t/ha). Di antara faktor pembatas produksi, cekaman kekeringan merupakan penyebab yang sering terjadi (Carver 2009).

Produksi gandum dunia setiap tahun mencapai 800 juta ton hingga 855 juta ton (FAO 2015). Faktor penentu keberhasilan produksi gandum adalah kesuburan tanah, kelembaban tanah, dan tidak adanya suhu ekstrim tinggi. Kekeringan dan suhu tinggi merupakan faktor penyebab utama turunnya produksi gandum (Carver 2009).

Terdapatnya stok produk gandum dari panen tahun sebelumnya dan adanya perbedaan musim panen antara belahan bumi bagian utara dan bagian selatan, mengakibatkan pasokan gandum dunia relatif stabil sekitar 800 juta ton, dan 100 juta ton diantaranya masuk ke pasar dunia (McFall and Fowler 2009).

PERSYARATAN LINGKUNGAN TUMBUH

Wilayah produksi gandum di dunia sangat beragam karakteristik agroekologinya, terutama dari aspek tanah, curah hujan, pola tanam, faktor biotik, dan sumber air pengairan, sehingga wilayah produksi gandum merupakan “mega lingkungan tumbuh” (Reynold *et al.* 2006). Walaupun memiliki adaptasi yang cukup luas, namun pada dasarnya gandum adalah tanaman subtropika beriklim agak sejuk di atas garis lintang 23°LU/LS, (dengan suhu kurang dari 30°C), temperatur minimum antara 10°-20° (Metcalfe and Elkins 1980, Carver 2009).

Tabel 2. Negara produsen gandum utama di dunia, tahun 2014.

Negara	Luas panen (1.000 ha)	Produktivitas (t/ha)	Produksi per tahun (1.000 ton)
Asia			
1. Afganistan	2.654	2,02	5.361,08
2. Bangladesh	410	3,18	1.303,80
3. China-Tiongkok	25.000	5,05	126.250,00
4. India	31.118	3,30	102.689,40
5. Iran, Republik	5.920	1,46	8.643,20
6. Irak	1.655	2,30	3.806,50
7. Pakistan	8.687	2,82	24.497,34
8. Syria, Republik	1.374	1,57	2.157,18
9. Turki	7.821	2,48	19.396,08
Eropa			
10. Bulgaria	1.268	4,2	5.325,60
11. Azerbaijan	604	2,33	1.407,32
12. Denmark	562	7,46	4.192,52
13. Belarus	742	3,94	2.923,48
14. Perancis	5.297	7,36	38.985,92
15. Jerman	3.220	8,63	27.788,60
16. Hungaria	1.113	4,73	5.264,49
17. Itali	1.874	3,81	7.139,94
18. Kazakastan	11.923	1,09	12.996,07
19. Netherlands	153	9,17	1.403,01
20. Federasi Rusia	23.371	2,50	58.427,50
21. Spanyol	2.122	2,98	6.153,80
22. Inggris/UK	1.936	8,59	16.630,24
23. Ukraina	6.011	4,01	24.104,11
24. Uzbekistan	1.455	4,78	6.954,90
25. Belgia	2.199	9,41	20.692,59
Benua Amerika			
26. Argentina	4.957	2,80	13.879,60
27. Brazil	2.835	2,21	6.265,35
28. Mexico	706	5,79	4.087,74
29. Amerika Serikat	18.818	2,94	55.324,92
30. Kanada	9.462	3,10	29.332,20
Afrika			
31. Algeria	1.651	1,48	2.443,48
32. Mesir	1.425	6,51	9.276,75
33. Marocco	3.204	1,71	5.478,84
34. Ethiopia	1.664	2,54	4.226,56
Australia	12.613	2,00	25.226,00
Dunia	246.620		855.000

Sumber: FAO Stat (2015).

Pada waktu tanam dan fase pertumbuhan vegetatif, tanaman gandum menghendaki suhu udara sekitar 20°C dan meningkat menjadi sekitar 30°C pada fase pertumbuhan generatif dan fase pematangan biji, disertai kelembaban udara yang rendah dan kelembaban tanah yang cukup. Total curah hujan wilayah penghasil gandum di dunia pada umumnya kurang dari 1.500 mm per tahun, yang mengindikasikan wilayah produksi gandum tergolong beriklim kering (Rebetzke *et al.* 2009). Kelembaban tanah menjadi faktor penentu utama keberhasilan produksi gandum. Menurut Rebetzke *et al.* (2009), cekaman kekeringan menimpa 65 juta ha tanaman gandum di dunia. Di wilayah yang kekurangan air, hasil gandum berkurang 50% dibandingkan dengan wilayah beririgasi (Byrlee and Morris 1993).

Di dataran Gangga India, sentra produksi gandum memperoleh curah hujan antara 500 mm hingga 1.800 mm per tahun (Gupta *et al.* 2003). Corak iklim wilayah penghasil gandum di India adalah subtropis atau temperate, dengan musim panas yang basah, dan tidak terlalu panas, diikuti oleh musim dingin yang kering sejuk. Wilayah dengan corak iklim demikian membentang di India bagian utara dan wilayah ini disebut sebagai Indo Gangetic Plain (IGP), mencakup dataran Indus di Pakistan, dataran Indus India, bagian hulu Gangga, bagian tengah Gangga, dan bagian bawah dataran Gangga, Nepal, dan Bangladesh, mencakup areal seluas 13,5 juta ha (Ladha 2000).

Masa kritis pertumbuhan tanaman gandum terhadap kekurangan air adalah pada stadia pembentukan pollen, penyerbukan, dan pengisian biji (Passioura 2002). Namun pengaruh kekurangan air terbesar terhadap penurunan hasil biji adalah pada fase pembungaan. Dampak nyata cekaman kekeringan adalah pada penurunan bobot biji, akibat penurunan laju fotosintesis dan pengurangan luas daun. Kelembaban tanah menentukan evapotranspirasi (ET). Di wilayah yang tanamannya kekurangan air, bobot total biomas dan hasil biji berkaitan erat dengan total ET tanaman (French and Schultz 1984). Dengan asumsi umum indeks panen air terbatas (water limited water index) = 0,40, maka nilai 22 kg/ha/mm merupakan batas maksimum hasil biji gandum pada lahan tada hujan yang cenderung kekurangan air.

Di wilayah tropis Indonesia, pembatas hasil gandum yang utama adalah suhu dan kelembaban udara yang tinggi. Nampaknya suhu harian di wilayah tropis Indonesia melampaui batas suhu maksimum yang dapat ditoleransi oleh tanaman gandum. Pada wilayah yang suhunya memenuhi persyaratan tumbuh tanaman gandum, seperti di dataran tinggi lebih 900 m di atas permukaan laut, kelembaban udara yang tinggi (di atas 90%) sering memicu berkembangnya penyakit daun, sehingga kurang sesuai untuk budi daya gandum.

Di Tiongkok, pola tanam tahunan padi-gandum dipraktekkan luas di lembah sungai Yangtse, pada 27-35° LU (Zheng 2000). Wilayah tersebut memiliki curah hujan 650-1.400 mm, dengan total penyinaran matahari 1.400-2.000 jam per tahun. Hasil gandum pada pola tanam rotasi padi-gandum 2,1-3,2 t/ha biji kering, sedangkan hasil padi mencapai 6-8 t/ha gabah. Wilayah produksi gandum yang ditanam secara rotasi setelah padi di Tiongkok mencapai lebih dari 10 juta ha.

Di Amerika Serikat, Kanada, Eropa, Australia dan Amerika Selatan, gandum ditanam pada wilayah di atas garis lintang 23°LU atau LS yang merupakan daerah subtropis (Carver 2009). Pada waktu tanam, kelembaban tanah cukup untuk menjadikan benih berkecambah, tetapi suhu udara masih dingin, 10-20° C. Tanaman gandum pada fase awal vegetatif tumbuh lambat dan mengakumulasi biomassa dan luas area daun pada kondisi suhu agak rendah tersebut. Kelembaban tanah untuk pertumbuhan berasal dari air hujan, kelembaban tanah asli, atau dari irigasi. Pada stadia mulai berbunga, suhu udara dan radiasi matahari mulai tinggi, yang mengakibatkan meningkatnya evapotranspirasi. Hampir di semua sentra produksi gandum dunia, periode dari anthesis (penyerbukan) hingga biji gandum matang berbarengan dengan curah hujan yang rendah sehingga kelembaban udara rendah. Kondisi iklim yang demikian terjadi di wilayah Afrika bagian utara, Eropa Selatan, Australia Selatan, dan dataran Amerika Serikat (Rebertzke *et al.* 2009).

Cekaman kekeringan berpengaruh negatif terhadap hasil biji, terutama apabila terjadi pada periode kritis pertumbuhan vegetatif hingga saat pembentukan biji, atau dari pematangan pollen hingga pembentukan biji (Passioura 2002). Diperkirakan setiap tahun terdapat sekitar 65 juta ha tanaman gandum yang mengalami cekaman kekeringan, di beberapa wilayah kekeringan menurunkan produksi hingga 50% (Rebertzke *et al.* 2009). Oleh karena itu, di negara-negara yang pertaniannya telah maju, pengairan tanaman gandum menjadi semakin populer, terutama di sentra produksi yang cenderung kekurangan kelembaban tanah.

Gandum dalam sistem usahatani ditanam dalam berbagai skala usaha, oleh petani skala kecil (1 ha per keluarga tani), hingga ribuan ha per petani, seperti di Australia, Amerika Serikat dan Kanada. Petani gandum skala kecil secara keseluruhan, usahatani gandum membentuk agresasi areal panen yang cukup luas, sehingga memungkinkan berdirinya pabrik pengolahan (*grain-milling*). Di Asia, gandum ditanam di wilayah subtropis di Syria, Turki, Iran, Afganistan, Irak, Pakistan, India, Bangladesh, dan Tiongkok. Dataran sabuk gandum (*wheat belt plain*) di Asia yang terluas terletak di dataran Gangga India (Indo-Gangetic Plain), mencakup wilayah India, Pakistan, Bangladesh, Nepal, dan di Tiongkok meliputi areal 24 juta ha (Ladha *et al.* 2003). Di wilayah produksi gandum yang sangat luas tersebut, tipe iklimnya adalah subtropis, dengan karakteristik musim dingin yang kering dan musim panas yang sejuk, dibarengi dengan jatuhnya hujan pada awal pertumbuhan tanaman gandum dan kering pada akhir musim panas (Ladha *et al.* 2003). Di Asia selatan, usahatani gandum mengokupasi lahan pertanian subur seluas 13,5 juta ha, tersebar di India 10 juta ha, Pakistan 2,2 juta ha, Bangladesh 0,8 juta ha, Nepal 0,5 juta ha. Posisi usahatani gandum pada wilayah tersebut sangat stabil, karena gandum sebagai tanaman utama dalam pola rotasi satu tahun padi-gandum. Di Tiongkok, pola rotasi padi-gandum (dalam waktu satu tahun) juga umum dipraktekkan (Zheng 2000). Demikian juga di Bangladesh, Pakistan, dan Nepal.

Di sentra produksi gandum Asia tersebut, faktor iklim terutama suhu, curah hujan, dan kelembaban udara sangat sesuai untuk penerapan pola rotasi padi-gandum. Awal pertumbuhan tanaman gandum terjadi pada kondisi suhu yang sejuk di bawah 20°C, diikuti suhu yang mulai memanas pada stadia pengisian biji hingga panen, dan kering pada masa pemasakan biji hingga panen (Timsina and Connor 2001). Kondisi iklim yang demikian tidak terdapat di sebagian besar wilayah lahan pertanian di Indonesia, sehingga rotasi padi-gandum nampaknya sulit diterapkan di Indonesia.

PERKEMBANGAN SISTEM PRODUKSI DAN PERDAGANGAN GANDUM DUNIA

Sebagai tanaman tertua di dunia, gandum telah mengalami evolusi yang sangat panjang dalam teknik budi dayanya. Pada zaman purba, usaha produksi gandum sangat sempit dan terpencar, terbatas untuk memenuhi kebutuhan pangan bagi anggota keluarga, kelompok atau anggota kelompok masyarakat yang terikat oleh ikatan sosial tertentu. Sebagai bahan pangan pokok, gandum awalnya diproduksi secara terbatas dalam usahatani subsisten. Evolusi budi daya gandum secara garis besar adalah sebagai berikut (Evans 1993, Harlan 1975, Feldman *et al.* 1995).

Hingga pertengahan abad ke-19 usaha produksi gandum di seluruh dunia dilakukan secara manual, dibantu oleh tenaga ternak, terutama kuda, untuk penanaman dan penyiangan. Para pekerja ladang memanen gandum menggunakan sabit panjang (*scythe*) yang diayun dengan tangan, kemudian setelah batang gandum dipotong, pekerja menggunakan peralatan sederhana merontok biji gandum, seperti halnya petani padi di Indonesia merontok atau menggebot gabah menggunakan pilar bambu. Para bangsawan dan pemilik tanah luas di Eropa, menyakapkan lahannya kepada para petani penyakap dalam parsel lahan yang sempit, mungkin kurang dari 5 ha. Petani penyakap menyerahkan 66-70% dari hasil gandumnya kepada pemilik lahan. Hingga awal abad ke-20 usahatani gandum dilakukan seperti halnya usahatani padi abad ke-20, yang berlaku pada usahatani skala kecil.

Sistem Produksi

Kemajuan teknologi produksi gandum dimulai setelah ditemukannya peralatan mesin penanam (*seeder*) yang ditarik traktor, dan mesin pemanen dengan cara memotong batang gandum di bagian bawah, yang selanjutnya batang gandum tersebut dikumpulkan untuk dirontok bijinya. Pada pertengahan abad ke-20, alat mesin sederhana tersebut digantikan oleh mesin penanam gandum yang lebih maju, yang mampu menanam benih gandum pada barisan secara cepat dan teratur. Penggunaan herbisida menggantikan penyiangan secara manual. Mesin pemanen *combine harvester* memotong batang gandum secara cepat,

dan sekaligus merontok dan membersihkan kotoran sehingga langsung diperoleh biji-biji gandum yang sudah bersih.

Berkembangnya alat mesin pertanian telah mendorong berkembangnya usaha produksi gandum, yang semula dilakukan sebagai usaha subsisten atau komersial skala kecil, menjadi usaha komersial skala besar. Usaha produksi gandum di Australia, Amerika Serikat, Kanada dan Argentina, dilakukan pada luasan hingga 5.000 hektar oleh satu keluarga petani. Walaupun beberapa petani gandum memiliki usahanya relatif kecil (seratusan ha), namun petani yang kaya di negara bagian Kansas, North Dakota, Oklahoma, Texas dan Montana, Kanada, dan Australia memiliki usaha produksi gandum ribuan hektar.

Perkembangan sistem produksi gandum di dunia didukung oleh sifat tanaman dan faktor-faktor berikut:

- (1) Gandum diproduksi pada lahan kering, yang lebih kondusif dan cocok bagi operasional alat mesin pertanian, dan tanaman gandum tidak memerlukan curah hujan yang tinggi.
- (2) Di berbagai negara di dunia tersedia lahan yang sangat luas yang baru dibuka, seperti di Amerika Serikat, Amerika Selatan, Australia, dan Rusia.
- (3) Pelaku usaha (petani) gandum sejak awal adalah usahawan yang berorientasi bisnis komersial, sehingga mereka berani memulai usahatani dengan skala besar.
- (4) Di berbagai negara terdapat wilayah yang sangat luas yang memiliki kondisi iklim sesuai untuk pengembangan gandum, walaupun cekaman kekeringan sering terjadi.

Empat hal tersebut menjadi faktor penting yang membedakan petani gandum di Amerika, Australia, Rusia, Argentina, dengan petani padi di negara tropis seperti Indonesia. Petani padi mengawali usahatani subsisten, skala usaha sempit, tidak tersedia lahan untuk perluasan usaha dan lahan sawah yang tergenang nampaknya kurang kondusif untuk penggunaan alsintan.

Petani gandum di India, Pakistan, Bangladesh dan China pada dasarnya petani padi (Gupta *et al.* 2003). Tanaman gandum sebagai tanaman kedua, dalam rotasi setahun padi-gandum, yang tujuan utamanya untuk memenuhi kebutuhan pangan keluarga. Dalam perkembangannya, hasil gandum yang berlebih dijual ke pasar lokal.

Karakteristik petani produsen padi dan gandum di Asia berbeda dengan petani gandum di Amerika Serikat, Kanada, Amerika Latin atau Australia, oleh sifat-sifat sebagai berikut:

- (1) Skala usaha petani relatif kecil, berkisar antara 1-15 ha per petani.
- (2) Gandum diposisikan sebagai tanaman sekunder, padi sebagai tanaman pokok.
- (3) Teknik produksi sederhana, manual, penggunaan alsintan terbatas.
- (4) Sebagian (besar) hasil panen diperuntukan bagi pangan keluarga.
- (5) Hasil gandum per hektar relatif rendah.

Oleh karena banyaknya petani yang terlibat dalam sistem produksi gandum di lahan sawah di Asia, luasan areal tanam gandum petani kecil mencapai 13,5 juta hektar (Ladha *et al.* 2000). Di Tiongkok, usahatani padi-gandum mencapai luasan 10 juta ha (Tabel 3).

Tanaman gandum di Asia, dari aspek usahatani mengindikasikan sebenarnya tanaman ini juga sesuai dikembangkan oleh petani dengan skala usaha kecil. Pengolahan hasil panen menjadi tepung terigu oleh petani skala usaha kecil tidak selalu harus bergantung pada pabrik penggilingan biji gandum skala besar. Hal tersebut dimungkinkan karena tepung gandum yang dihasilkan dikonsumsi secara lokal, untuk makanan tradisional berbahan baku tepung gandum.

Berbeda dengan penduduk Indonesia, masyarakat dan petani di negara-negara penanam gandum di Asia telah biasa mengonsumsi gandum sebagai bahan pangan pokok sejak 5000-6000 tahun yang lalu. Sebanyak hampir 1,8 miliar penduduk Asia Selatan dan Tiongkok, telah mengonsumsi pangan berbahan tepung terigu sejak abad ke-2 Masehi (Timsina and Connor 2001).

Usahatani padi-gandum yang dikelola secara intensif pada lahan yang memiliki prasarana irigasi, menjadi penghidupan dan lapangan pekerjaan serta pendapatan utama bagi ratusan juta petani miskin di Asia Selatan (Paroda *et al.* 1994, Evans 1993). Faktor yang mendukung keberlanjutan usahatani padi-gandum dalam skala kecil adalah: (1) kesesuaian regim suhu selama satu tahun untuk pertumbuhan padi dan gandum, (2) tersedianya varietas-varietas padi dan gandum yang berumur genjah, (3) tersedianya fasilitas irigasi, dan (4) pasar yang masih terbuka serta konsumsiereal (beras dan gandum) yang belum sepenuhnya tercukupi. Pada sisi yang lain, terdapat indikasi pola tanam yang sangat intensif padi-gandum telah mengakibatkan kelelahan lahan dan tanah (*soil fatigue*) yang berdampak pada penurunan produktivitas tanah (Abrol *et al.* 2000).

Grace dan Harington (2003) menyebutkan faktor-faktor penentu keberlanjutan sistem produksi padi-gandum di Asia Selatan selama ini adalah: (1) kesesuaian suhu untuk pertumbuhan (2) cara penyiapan lahan yang relatif

Tabel 3. Luasan usahatani padi-gandum di Asia, dan pangsa produksinya terhadap total produksiereal.

Negara	Luasan panen UT padi-gandum (juta ha)	Pangsa panen terhadap total luas masing-masing komoditas (%)	Pangsa produksi terhadap total produksiereal nasional (%)
Tiongkok	13,5	31	20,7
India	10,3	23	25,7
Bangladesh	0,5	5	15,8
Nepal	0,6	35	7,9
Pakistan	2,2	72	35,8

Sumber: Gupta *et.al.* (2003), Timsina and Connor (2001)

UT = usahatani

sederhana, (3) tersedianya varietas yang sesuai untuk agroekosistem, (4) ketepatan waktu tanam dalam mengoptimalkan pemanfaatan kelembaban tanah, (5) tersedianya pupuk dengan harga murah, (6) tersedianya prasarana irigasi dan pompa air tanah, dan (7) dikuasainya teknik pengendalian gulma, hama dan penyakit. Namun di luar faktor tersebut, terdapat tekanan kebutuhan pangan pokok yang menjadi pendorong utama terlestarikannya usahatani padi-gandum skala kecil di Asia Selatan dan Tiongkok.

Tingkat intensifikasi dalam sistem usahatani padi-gandum menurut Gregory *et al.* (2002) beragam antarwilayah dan antarpetani, yang dapat dipilah menjadi tiga tipe (Tabel 4).

Keragaman tingkat intensifikasi usahatani tersebut mencerminkan perbedaan kemampuan modal usaha dan kemajuan pelaku budi daya pertanian. Hal ini dimungkinkan karena usahatani gandum skala kecil tidak mempunyai keterkaitan atau kontrak produksi secara pasti dengan pihak penggiling biji gandum. Petani skala kecil mempunyai kemandirian usaha, termasuk petani gandum yang subsisten. Dari berbagai tingkat intensifikasi tersebut, hasil yang diperoleh juga beragam dan hasil aktual selalu lebih rendah dibandingkan dengan potensi hasil yang dapat diharapkan (Tabel 5).

Tabel 4. Tingkat intensifikasi pada sistem usahatani padi-gandum petani skala kecil di Asia Selatan.

No Karakteristik	Petani tradisional, miskin, dengan masukan rendah	Petani pengadopsi teknologi revolusi hijau	Pengadopsi teknologi revolusi hijau dengan konservasi lahan
1 Tujuan usahatani	Subsistens, pangan keluarga	Optimasi produksi	Optimasi keuntungan
2 Kepadatan penduduk desa	Pertambahan pesat	Tinggi	Stabil
3 Akses pasar dan teknologi	Rendah	Tinggi	Terdiversifikasi
4 Kesadaran terhadap lingkungan	Tidak ada/rendah	Rendah	Tinggi
5 Efisiensi penggunaan lahan	Sedang/rendah	Tinggi	Berkurang
6 Efisiensi tenaga kerja + energi	Sedang/rendah	Rendah	Berkurang
7 Efisiensi modal	Rendah/tidak ada	Medium	Tinggi
8 Ketersediaan kredit modal	Tidak ada	Tersedia	Tersedia
9 Pengusahaan lahan	Hak milik atau sakap	Hak milik	Hak milik + sewa
10 Penggunaan hara tanah	Rendah	Tinggi	Medium
11 Paket teknologi	Terbatas	Tersedia	Teknologi terpadu
12 Produktivitas	Rendah	Tinggi	Optimum
13 Masa lahan bera	Cukup lama	Tidak ada	Cukup

Sumber: Gregory *et al.* (2002).

Tabel 5. Potensi dan hasil aktual usahatani padi-gandum di beberapa lokasi di India.

Lokasi	Potensi hasil (t/ha)		Hasil aktual (t/ha) ¹⁾	
	Padi	Gandum	Padi	Gandum
Ludhiana	10,7	7,9	5,6 (52)	4,3 (54)
Karnal	10,4	7,3	3,8 (37)	3,6 (49)
Delhi	9,8	7,1	2,4 (24)	2,5 (35)
Kanpur	9,5	7,0	2,8 (29)	2,8 (40)
Varanasi	9,2	7,0	3,2 (35)	2,2 (31)
Faigabat	9,1	6,7	2,8 (31)	2,3 (34)
Pargana	7,7	5,2	2,8 (36)	2,1 (40)
Rajpur	8,2	6,2	2,1 (26)	1,0 (16)
Patnaga	9,0	6,5	4,2 (47)	2,7 (45)

¹⁾Angka dalam kurung adalah % terhadap potensi hasil

Sumber: Ladha *et al.* (2003).

Hasil padi dan gandum antarlokasi sangat beragam. Pada masing-masing lokasi, hasil yang diperoleh jauh lebih rendah dari potensi hasil yang mungkin dapat diperoleh. Hasil padi berkisar antara 26-52% dari potensi hasilnya, terbanyak pada 30%. Hasil gandum lebih rendah daripada hasil padi, berkisar antara 16-54% dari potensi hasilnya. Hasil yang beragam tersebut tidak mencerminkan keragaman tingkat intensifikasi, karena data pada Tabel 5 diperoleh dari rata-rata propinsi yang menerapkan tingkat intensifikasi yang beragam.

Perdagangan Gandum

Dari total produksi 855 juta ton gandum di dunia setiap tahun, hanya sekitar 20% yang masuk ke pasar internasional. Pasokan gandum ke pasar internasional berfluktuasi dari 100 juta ton hingga 170 juta ton. Kekeringan di negara-negara produsen utama gandum sering menjadi penyebab turunnya pasokan gandum ke pasar internasional (McFall and Fowler 2009). Dari stok gandum di pasar dunia tersebut, Indonesia mengimpor 7 juta ton setiap tahun, menjadikan Indonesia sebagai negara pengimpor gandum kelima besar di dunia. Negara pengekpor utama gandum adalah Amerika Serikat, Argentina, Australia, Kanada dan Uni Eropa (Tabel 6). Amerika Serikat merupakan pengekspor gandum terbesar, sekitar sepertiga dari pangsa total ekspor gandum dunia.

Dibandingkan dengan stok beras yang diperdagangkan di pasar internasional yang hanya 36,4 juta ton, stok gandum mencapai 467% atau 4,5 kali lebih banyak. Di sebagian negara di dunia, gandum menjadi bahan pangan pokok masyarakat. Indonesia sebagai negara importir gandum kelima terbesar dunia tidak memposisikan gandum sebagai pangan pokok, hanya sebagai pangan komplementasi. Oleh karena itu, impor gandum Indonesia seyogianya dibatasi, tidak lebih dari 5 juta ton per tahun, atau secara berangsur dikurangi menjadi 3 juta ton per tahun.

Tabel 6. Negara pengekspor gandum di dunia, tahun 2000-2005

Negara	Jumlah ekspor gandum (juta ton)					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Australia	15,92	16,41	9,15	18,05	14,75	16,49
Kanada	17,31	16,82	9,42	15,79	14,97	16,00
Argentina	11,27	10,07	6,75	9,42	11,84	7,00
Uni Eropa	16,79	14,24	19,95	10,94	14,37	14,51
Amerika Serikat	28,91	26,18	23,14	31,52	28,93	27,22
Negara lain	74,33	81,34	85,49	77,84	81,93	83,10
Total	164,53	166,06	153,90	163,56	166,79	164,32

Sumber: McFall and Fowler (2009).

PROSPEK DAN PROBLEM USAHATANI GANDUM DI INDONESIA

Secara umum harus diakui bahwa negara tropikal Indonesia bukan wilayah yang sesuai untuk memproduksi gandum. Tanaman gandum memerlukan suhu yang sejuk dari sejak stadia perkecambahan hingga stadia penyerbukan bunga dan pengisian biji. Pada periode stadia pertumbuhan tersebut tanaman gandum memerlukan suhu di bawah 20°C. Pada stadia pengisian biji hingga biji matang fisiologis (biji terbentuk penuh), tanaman gandum memerlukan suhu di atas 20°C tetapi kurang dari 30°C. Selanjutnya pada stadia pematangan hingga pengeringan biji dan masa panen, diperlukan suhu agak tinggi dan udara dengan kelembaban rendah (50-70%). Sebenarnya kelembaban udara rendah diperlukan sejak pembentukan anakan, pembungaan hingga panen, agar tanaman tidak peka terhadap penyakit daun.

Lahan pertanian di Indonesia tidak memenuhi persyaratan agroklimat tersebut, kecuali di dataran tinggi 1.000 m dpl yang kelembaban udaranya rendah, seperti di Tosari pada lereng gunung Bromo, Jawa Timur. Kelembaban yang rendah diperoleh dari kondisi curah hujan yang rendah, yang berarti kelembaban tanah juga rendah. Dengan demikian, wilayah dataran tinggi yang curah hujannya rendah memerlukan suplementasi irigasi untuk dapat ditanami gandum dengan hasil yang baik. Prospek usahatani gandum di Indonesia memang kurang cerah, karena ketiadaan lahan yang memiliki sifat agroklimat yang sesuai. Introduksi gandum pada lahan sawah dataran rendah, mengikuti pola tanam padi-gandum seperti di India, tidak memungkinkan karena suhu harian terlalu tinggi bagi pertumbuhan tanaman. Lereng pegunungan atau dataran tinggi di atas 750 m dpl pada umumnya telah dimanfaatkan untuk budidayanya sayuran yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi.

Namun penelitian belum dilakukan dengan tuntas dan belum konklusif. Langkah yang harus ditempuh dalam pengembangan gandum di Indonesia adalah sebagai berikut:

- (1) Mengidentifikasi lokasi yang mempunyai iklim yang sesuai untuk pertumbuhan gandum.
- (2) Menganalisis apakah tanaman gandum layak secara ekonomis dikembangkan di lokasi yang telah diidentifikasi.
- (3) Apakah terdapat tanaman alternatif yang sesuai ditanam pada "lokasi gandum" pada butir (1) yang berpotensi sebagai kompetitor.
- (4) Menginventarisasi luas lahan yang memenuhi persyaratan butir (1), (2) dan (3).
- (5) Menyiapkan benih varietas unggul yang telah dilepas, apabila lahan yang sesuai tersedia.
- (6) Menyiapkan petani untuk menguasai teknik budi daya gandum.
- (7) Merencanakan alur pengolahan hasil panen dan menata pemasaran hasil panen petani.
- (8) Menyosialisasikan penggunaan produk tepung yang berasal dari gandum produksi dalam negeri.

Tanpa didahului oleh langkah-langkah tersebut maka pengembangan gandum di Indonesia nampaknya hanya sebatas harapan dan wacana.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrol, I.P., K.F. Bronson, J.M. Duxbury, and R.K. Gupta. 2000. Longterm soil fertility experiments in Rice-Wheat cropping systems. RWC Paper Seri-6. Rice-Wheat Consortium for the India-Gangetic Plains. New Delhi, India.
- Byrlee, D. and M. Morris. 1993. Research for marginal environment. We are under investment. Food Policy Res. Vol. 18: 381-393.
- Carver, B.F. 2009. Wheat, Science and Trade. Wily-Blackwell Publication, Ames, Iowa, USA. p. 569.
- Evans, L.T. 1993. Crop Evolution, adaptation and yield. Cambridge Univ. Press. Cambridge, England.
- FAO. 2015. Faostat.fao.org. diakses 10 Januari 2016.
- FAO. 1998. The State of the World's plant genetic resources for food and Agriculture. FAO, Rome.
- Feldman, M., F.G.H. Lupton, and T.E. Miller. 1995. Wheats: *Triticum spp.* p. 184-192. In J. Smart and N.W. Simmonds (eds): Evolution of Crop Plants. 2nd Ed. Longman Scientific and Technical Press. London, UK.
- French, R.J. and J.E. Schultz. 1984. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type environment. The relation between yield, water use and climate. Aust. J. Agric. Res. 35: 743-764.

- Grace, P.R. and L. Harrington. 2003. Longterm sustainability of the tropical and subtropical Rice-Wheat System. An environmental perspective, p. 27-43. In: J.K. Ladha *et al.* (eds): Improving the Productivity and Sustainability of Rice-Wheat Systems: Issues and Impact. ASA, CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin USA.
- Gregory, P.J., J.S. Ingram, and M.J. Wilkinson. 2002. Environmental Consequences of Alternatives practices for intensifying crop production. *Agri. Ecosyst. Environ.* J. No 88: 279-290.
- Gupta, R.K., R.K. Naresh, P.R. Hobbs, Z. Jiaguo and J.K. Ladha. 2003. Sustainability of Post green Revolution Agriculture: The Rice-Wheat Cropping Systems of the India-Gangetic Plain and China. p. 1-25. In J.K. Ladha, J.E. Hill, J.M. Duxbury, R.J. Gupta and R.J. Buresh (eds): Improving the Productivity and sustainability of Rice-Wheat System. ASA spec. Pub. No. 65. ASA, CSSA. Wisconsin, USA.
- Harlan, J.R. 1975. Crops and Man. ASA Pub. Amer. Soc. Of Agronomy,- Crop Science Society of America/ ASA – CSSA, Madison, Wisconsin, USA
- Ladha, J.K., D. Dawe, and P.R. Hobbs. 2003. How extensive are yield declines in long term rice-wheat experiment in Asia? *Field Crop Res.* 21: 259-264.
- Ladha, J.K., K.S. Fisher, M. Hossein, P.R. Hobbs, and B. Hardy. 2000. Improving the Productivity of rice-wheat systems in the India-Gangetic Plain. IRRI Discussion Paper Series No. 40, IRRI. Los Banos, Philippines.
- McFall, K.L. and M.E. Fowler. 2009. Overview of wheat classification and trade. p. 439-454. In B.F. Carver (ed.): Wheat, Scince and trade. Willy – Black Well Pub. Ames, Iowa, USA.
- Metcalfe, D.S. and D.M. Elkins. 1980. Crop Production. Principle and Practices. Fourth Ed. MacMillan Pub.Co. New York p.774.
- Paroda, R.S., T. Woodhead, and R.B. Singh. 1994. Sustainability of Rice Wheat production system in Asia. RAPA Pub. 1994/11. Bangkok, FAO. RAPA.
- Passioura, J.B. 2002. Environmental biology and Wheat Crops Improvement. *Funct. Plant Biol.* No. 29: 537-546.
- Rebetzke, G.j., S.C. Chapman, C.L. McIntyre, R.A. Richard, A. G. Condor, M. Watt, and A.F. vanHerwarden. 2009. Grain yield improvement in water-limited environments. p. 215-249. *Dalam* B.F. Carver (ed). Wheat Science and Trade. Wiley-Blackwell, John Wiley and Sons. Pub. Ames, Iowa, USA.
- Reynolds, M.P., G.J. Rebetzke, A. Pellegrineschi, and R. Trethowan. 2006. Drought adaption in Wheat. p. 401-436. In J.M. Ribont (ed.). Drought adaptation in cereals. Haworth Press, New York.
- Timsina J. and D. J., Connor. 2001. Productivity and management of rice-wheat cropping systems. Issues and Challenges. *Field Crops Res.* 69: 93-132.
- Williams, P.C. 1993. The world of wheat. p. 557-602. In: Grains and oil seeds: handling, marketing, processing. 4th. Edition Canadian Inter. Grain Inst., Winnipeg. Canada.
- Zheng, J. 2000. Rice-wheat cropping system in China. p. 1-10. In: P.R. Hobbs and R.K. Gupta (eds.). Soil and crop management practices for enhanced productivity of rice-wheat cropping system in China. RWC Paper Series No. 9. Wheat Consortium for the IGP, New Delhi, India.

Kebijakan Pengembangan Gandum di Indonesia

Hasil Sembiring, Hasnul dan Diana

Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, Kementerian Pertanian

PENDAHULUAN

Gandum atau terigu sudah menjadi bahan pangan utama di Indonesia. Pada saat ini sebagian besar penduduk Indonesia telah mengkonsumsi roti dan mie berbahan baku tepung terigu sebagai bahan pangan pokok kedua setelah beras. Pola konsumsi pangan beras-terigu menyebar ke seluruh wilayah, baik di perkotaan maupun pedesaan, sehingga dapat dikatakan diversifikasi pangan berbasis gandum secara nasional sudah terjadi. Konsekuensinya, Indoensia menjadi salah satu negara pengimpor gandum terbesar di dunia. Pada tahun 2010 Indonesia menjadi negara pengimpor terigu terbesar ke-4 di dunia, dengan volume impor 5,6 juta ton. Pada tahun 2011 Indonesia sudah menjadi negara pengimpor terigu terbesar ke-2 di dunia dengan volume impor 6,2 juta ton dan pada tahun 2013 meningkat menjadi 7 juta ton (Aptindo 2013). Asosiasi Produsen Terigu Indonesia (Aptindo) memperkirakan permintaan gandum akan melonjak tajam hingga 10 juta ton per tahun dalam satu dekade ke depan. Bila Indonesia masih bergantung pada impor untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri tentu akan menyedot devisa yang cukup besar, sehingga dapat mempengaruhi ketahanan pangan nasional. Oleh karena itu, sudah saatnya bagi Indonesia mengembangkan gandum di dalam negeri mendukung ketahanan pangan berbasis tepung walaupun komoditas ini merupakan tanaman subtropis.

Sebenarnya gandum sudah dikembangkan di Indonesia namun belum dapat bersaing dengan komoditas lain, baik kualitas maupun ekonomi. Gandum sudah dikembangkan sejak tahun 2001 di tujuh provinsi, yaitu Sumatera Barat, Bengkulu, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara Timur, dan Sulawesi Selatan (Baga dan Puspita 2013), namun dalam perkembangannya sampai dengan saat ini areal tanam gandum semakin menurun. Hal ini disebabkan karena tanaman ini belum memberikan keuntungan yang layak secara ekonomis mengingat produksinya yang masih rendah akibat belum adanya varietas yang mampu berproduksi tinggi, hama dan penyakit tanaman banyak, khususnya cendawan, kesiapan benih kurang, alat pascapanen penyosoh dan penepung belum tersedia, sehingga kualitas hasil gandum di Indonesia belum dapat menyaingi kualitas gandum impor. Dukungan dan kerjasama antara pemerintah dan swasta diperlukan agar petani dapat meningkatkan produksi gandum. Dalam hal ini swasta menjadi off taker untuk menampung produksi petani. Oleh sebab itu, untuk mewujudkan keberhasilan pengembangan gandum dapat dilakukan melalui keterpaduan antara subsistem produksi, pengolahan dan pemasaran hasil, agar gandum dapat menguntungkan petani.

Kebijakan untuk menjamin ketersediaan dan pemenuhan kebutuhan pangan bisa dicapai, baik dengan memproduksi sendiri maupun melalui impor. Salah satu komitmen penting pemerintah adalah tidak dengan mudah melakukan impor pangan. Komitmen ini perlu disertai dengan komitmen untuk memanfaatkan sumber daya lokal atau *indigenous*. Prinsipnya adalah mendorong pengembangan gandum di Indonesia sesuai dengan UU 12 tahun 1992 dan undang-undang pangan.

Tantangan pengembangan gandum di Indoensia adalah menghasilkan inovasi yang menguntungkan petani. Inovasi seperti varietas unggul yang berproduksi tinggi dan dapat bersaing dengan komoditas lain menjadi sangat penting. Kemudian bagaimana agar gandum dapat memberikan nilai tambah dan kemudahan dalam prosesinya sehingga dapat dilaksanakan petani setempat atau kemudahan dalam memasarkan produk gandum itu sendiri. Untuk itu, Badan Litbang Pertanian telah membuat konsorsium antara lembaga penelitian, perguruan tinggi dan masyarakat sehingga dihasilkan varietas unggul dan dirumuskan kebijakan pengembangan gandum di Indonesia. Tulisan ini menguraikan kebijakan impor, pengalaman dan kebijakan pengembangan gandum di Indoneia.

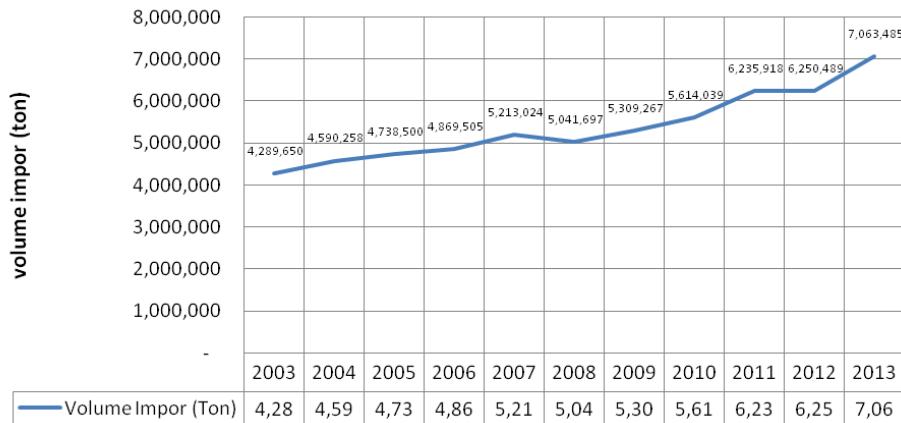
KEBIJAKAN IMPOR GANDUM

Impor gandum cenderung meningkat dari tahun ke tahun karena meningkatnya permintaan akibat peningkatan jumlah penduduk dan pendapatan masyarakat Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan industri pangan berbasis terigu selama ini dipenuhi dari Impor. Jumlah impor yang sangat besar tersebut membuka peluang bagi pengembangan gandum di Indonesia (Gambar 1).

Indonesia juga sudah mengekspor gandum dalam bentuk tepung terigu dan bahan olahan seperti tepung, mie instan, roti, dan biskuit ke berbagai negara di Asia. Nilai ekspor terigu dan bahan olahan tersebut pada tahun 2012 mencapai US \$. 541.758.000 (Aptindo 2013).

Kebijakan impor gandum untuk diproses menjadi tepung terigu di Indonesia sesungguhnya telah meredupkan usaha pengembangan budi daya gandum. Pada zaman Orde Baru, Indonesia kesulitan devisa dan volume beras yang diperdagangkan di dunia menipis. Untuk menghindari ketergantungan terhadap beras yang harganya tidak stabil dan stoknya terbatas maka pemerintah intensif memperkenalkan terigu dengan pertimbangan harga gandum lebih stabil di pasaran dunia dan volume yang diperdagangkan cukup banyak dan beras dapat disubstitusi dengan terigu.

Amerika Serikat berperan dalam kebijakan ini dengan memberikan bantuan pinjaman lunak untuk impor terigu. Amerika Serikat juga mengirimkan para ahli pangan ke Indonesia untuk mempengaruhi pengambilan keputusan di lembaga pemerintah. Pada periode 1968-1973, total impor gandum mencapai



Gambar 1. Volume impor gandum (ton) Tahun 2003-2013 (Pusdatin 2014).

3,3 juta ton atau 61% pangsa pasar di Indonesia dan sekitar 89% dijual secara konsensi (Magiera 1981). Pemerintah juga memberikan subsidi gandum yang cukup tinggi melalui subsidi impor dan penyaluran. Pada tahun 1976/1977, subsidi riil mencapai Rp. 3 miliar dan tahun pada 1978/1979 meningkat menjadi Rp. 17 miliar. Bahkan pada tahun 1990an, pemerintah memberikan subsidi kepada produsen mie instan sebesar Rp. 760 miliar setiap tahun. Kebijakan lain adalah menjual terigu dengan harga murah, sekitar 50% lebih rendah dari harga internasional (Sawit 2003). Selain itu juga terjadi monopoli dalam pengolahan dan tataniaga terigu oleh pihak tertentu.

Pada tahun 1998, hampir semua bentuk subsidi dan pembatasan impor dihapus. Berdasarkan kesepakatan antara pemerintah Indonesia dengan IMF ditetapkan bea masuk impor 5%, yang dituangkan ke dalam Keppres No. 45. Kebijakan tersebut dicabut dan sejak Maret 2002 bea masuk menjadi 0%. Indonesia termasuk negara yang paling liberal di bidang gandum dibanding negara Asia lainnya. Sebagai gambaran pada tahun 2000, Thailand, Filipina dan Srilanka menetapkan bea masuk berturut-turut 40%, 7% dan 25%, karena desakan dari para pengusaha asosiasi industri pangan yang menggunakan bahan baku gandum/tepung terigu untuk menerapkan bea masuk antidumping pada tepung terigu (harga tepung terigu yang dijual ke Indonesia diduga dengan harga murah). Pada awal April 2003 pemerintah menetapkan bea masuk tepung terigu 5% (Sawit 2003).

POTENSI LAHAN DAN PENGALAMAN PENGEMBANGAN GANDUM

Potensi Lahan

Potensi lahan untuk pengembangan gandum di Indonesia masih luas mengingat tanaman tersebut dapat dibudidayakan di lahan kering, dataran tinggi dengan ketinggian > 800 m dpl dan suhu 15-25°C, mencapai 1.453.800 ha (BBSSDLP 2008). Saat ini agroekosistem tersebut ditanami sayuran dan kentang. Dataran tinggi dapat dibudayakan dengan tanaman gandum karena tanaman gramine lainnya seperti padi tidak dapat memberi hasil optimal, khususnya pada ketinggian lokasi di atas 1.200 m dpl. Di samping itu, penanaman gandum dapat memutus siklus hama penyakit dan menyediakan biomass bagi budi daya tanaman sayuran dan kentang. Bila potensi ini dimanfaatkan secara optimal maka peluang pengembangan gandum dalam negeri cukup luas. Potensi pengembangan gandum secara nasional dapat dilihat pada Tabel 1.

Pengalaman Pengembangan

Kementerian Pertanian mulai merintis pengembangan gandum pada tahun 2001, dalam bentuk demonstrasi area di enam provinsi (Sumatera Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur dan Sulawesi Selatan) menggunakan benih galur asal India CIMMYT, dengan hasil yang cukup menggembirakan. Hal ini mendapat respon yang cukup baik dari petani dan pemerintah daerah.

Panen perdana gandum dilakukan pada tahun 2002 oleh Menteri Pertanian Prof. Dr. Ir. Bungaran Saragih, M.Ec, di Tosari, Pasuruan Jawa Timur. Pada kesempatan tersebut Mentan mencanangkan dalam waktu 5 tahun area tanam

Tabel 1. Potensi lahan pengembangan gandum di Indonesia.

Provinsi	Lahan kering semusim (ha)	Lahan kering dataran tinggi iklim kering (ha)	Keterangan
Sumatera	7.748.000	278.146	Sumbar, Jambi, Bengkulu
Jawa dan Bali	1.964.000	38.157	Jawa
Nusa Tenggara	138.000	52.340	NTB, NTT
Kalimantan	8.953.000	19.527	Kaltim
Sulawesi	791.000	87.701	Gowa, Toraja Utara
Maluku	219.000	1.107	Belum ada pengujian
Papua	4.185.000	976.820	Belum ada pengujian
Jawa	23.998.000	1.453.798	
Luar Jawa	22.167.138	1.415.641	
Indonesia	46.165.138	2.869.439	

Sumber: Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian (2008)

gandum bisa mencapai 1 juta hektar dan ke depan Indonesia tidak perlu lagi mengimpor gandum, karena daerah potensial untuk pengembangan gandum masih banyak di Indonesia. Pernyataan Mentan tersebut sampai saat ini belum dapat diwujudkan. Keberhasilan uji coba pengembangan gandum ditandai oleh dilepasnya galur DWR 162 menjadi varietas Dewata dan galur asal CIMMYT menjadi varietas Selayar oleh Menteri Pertanian Prof. Dr. Ir. Bungaran Saragih, M.Ec. Sebelumnya, pemerintah juga telah melepas varietas gandum dengan nama Nias dan Timor.

Dalam kurun waktu 2001-2004, pengembangan gandum telah dilakukan di berbagai daerah yang memiliki kondisi iklim yang sesuai. Daerah yang potensial untuk pengembangan gandum antara lain Provinsi NAD, Sumbar, Jambi, Sumsel, Bengkulu, Lampung, Jabar, Jateng, Jatim, Kaltim, NTB, NTT, dan Sulawesi Selatan.

Daerah yang melakukan demarea di antaranya Kecamatan Tosari, Kabupaten Pasuruan Jawa Timur yang merupakan lokasi pengembangan gandum yang paling berhasil. Lokasi ini ditetapkan sebagai sentra gandum. Salah satu sebab mengapa pengembangan gandum di Kecamatan Tosari dinilai berhasil karena petani merasa penanaman gandum dapat memutus siklus hama kentang yang merupakan komoditas andalan daerah tersebut, sekaligus dapat meningkatkan produksi kentang pada musim berikutnya. Hamparan gandum di Tosari telah membuka cakrawala dunia bahwa gandum Indonesia tidak kalah dari gandum yang berasal dari daerah subtropis, produktivitas cukup tinggi dan pertumbuhan tanaman bagus. Titik terang diversifikasi pangan yang selama ini dicanangkan oleh pemerintah mulai terbuka. Pengembangan gandum di Kecamatan Tosari ini pernah ditinjau oleh beberapa ahli gandum dari Institute Agricultural Research of India (IARI) untuk melakukan identifikasi kesesuaian lahan dan agroklimat di Indonesia. Pada tahun 2004 para ahli dari IARI melatih para peneliti gandum dari beberapa Perguruan Tinggi di Indonesia yang memproduksi benih gandum, diantaranya Universitas Kristen Wacana.

Program pengembangan gandum di Indonesia tidak ditujukan untuk menggantikan tanaman utama yang sudah ada, tetapi diarahkan untuk pemanfaatan lahan-lahan yang selama ini tidak diusahakan secara intensif dan untuk memutus siklus hama dan penyakit tanaman.

Pengembangan gandum diharapkan akan menumbuhkan industri tepung dan industri rumah tangga di perdesaan untuk memenuhi kebutuhan pangan berbasis tepung-tepungan di wilayahnya. Pengembangan gandum dilakukan secara terprogram dan skala cukup luas dengan dukungan APBN sejak tahun 2004 melalui Program Gandum Berkibar. Lokasi pengembangan gandum antara lain Sumatera Barat, Bengkulu, Jawa Barat, Jawa tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara Timur (Direktorat Budi Daya Serealia 2003).

Sumatera Barat

Potensi lahan kering dataran tinggi (> 800 m dpl) di Provinsi Sumatera Barat seluas 1.816 ha, yang sudah ditanami sayuran dan kentang. Peluang

pengembangan gandum di Provinsi Sumatera Barat ada di beberapa daerah seperti di Kabupaten Solok seluas 1.477 ha, Kabupaten Tanah Datar 57 ha, Kabupaten Agam 191 ha, dan Kabupaten Solok Selatan 91 ha.

Pada tahun 2011 Universitas Andalas bekerja sama dengan Republik Slovakia melakukan uji multilokasi gandum di Kabupaten Solok, Solok Selatan, Agam, dan Tanah Datar di sembilan lokasi dengan ketinggian empat bervariasi antara 570-1.600 m di atas permukaan laut. Kesembilan lokasi tersebut adalah Nagari Pekonina (980 m dpl), Golden (987 m dpl), Sukarami (1.048 m dpl), Alahan Panjang (1.616 m dpl), Koto Ilalang (1.200 m dpl), Balingka (1.040 m dpl), Rambatan (570 m dpl), Sumanik (800m dpl), dan Tabek Patah (1.000 m dpl).

Pada tahun 2012, pengembangan gandum menempati lahan seluas 4 ha di Alahan Panjang, Kabupaten Solok, yang ditanam pada bulan Juli 2012. Untuk perbanyak benih, telah ditanam gandum seluas 3.000 m² pada bulan Februari 2012.

Bengkulu

Potensi lahan kering dataran tinggi (> 800 m dpl) di Provinsi Bengkulu seluas 523 ha, yang biasanya ditanami kentang dan sayuran. Lahan ini memiliki peluang untuk pengembangan gandum dengan pola tanam kentang – gandum, terdapat di Kabupaten Rejang Lebong seluas 427 ha, dan Kabupaten Kepahiang seluas 96 ha.

Pada tahun 2011 lahan tersebut sudah ditanami gandum oleh kelompok tani penerima Bantuan Sosial (Bansos) Dem Farm Gandum yang dibiayai dari APBN Direktorat Jenderal Tanaman Pangan melalui Anggaran Tugas Pembantuan Dinas Pertanian Kabupaten Rejang Lebong. Daerah pengembangan berlokasi di Kecamatan Bermani Ulu dan Kelurahan/Desa Kampung Melayu dengan Kelompok Tani Dwi Lestari seluas 10 ha.

Namun hasil pertanaman belum sesuai dengan harapan karena faktor iklim yang tidak menentu dan tidak adanya dukungan dari pemerintah setempat. Akhirnya petani kurang berminat mengusahakan tanaman gandum, apalagi pemasarannya sulit, tidak seperti sayuran dan komoditas lainnya.

Jawa Barat

Potensi lahan kering dataran tinggi (> 800 m dpl) di Provinsi Jawa Barat seluas 13.553 ha, mempunyai peluang untuk ditanami gandum, di Kabupaten Bogor terdapat 5 ha, Sukabumi 11 ha, Cianjur 45 ha, Bandung 5.606 Ha, Garut 6.442 ha, Ciamis 11 ha, Kuningan 27 ha, Majalengka 929 ha, Sumedang 76 ha, dan Bandung Barat 401 ha.

Pada tahun 2011 telah dilakukan pengembangan gandum yang difasilitasi melalui Dana Tugas Pembantuan di Desa Citama Kecamatan Nagreg, Kabupaten Bandung, seluas 10 ha, dilaksanakan oleh kelompok tani Mekar Tani. Namun hasilnya belum sesuai dengan yang diharapkan karena disamping benih sulit

didapat juga terjadi musim kemarau berkepanjangan sehingga mempengaruhi produksi.

Perkembangan budi daya gandum di Kabupaten Bandung belum menunjukkan kemajuan walaupun telah dikenal oleh para petani. Upaya pengembangannya akan terus dilakukan dalam upaya mendukung program ketahanan pangan.

Jawa Tengah

Potensi lahan kering dataran tinggi (1.800 m dpl) di Provinsi Jawa Tengah seluas 17.499 ha, yang ditanami kentang, lahan yang berpeluang ditanami gandum terdapat di 14 Kabupaten. Daerah yang sudah pernah mengembangkan gandum di Provinsi Jawa Tengah adalah Kabupaten Banjarnegara, Karanganyar, Semarang, dan Temanggung. Pada tahun 2012 dialokasikan pengembangan gandum melalui APBD Provinsi Jawa Tengah di dua Kabupaten seluas 50 ha masing-masing 10 ha di Kabupaten Karanganyar dan 40 ha di Kabupaten Banjarnegara.

Pada tahun 2011, Kabupaten Banjarnegara memperoleh alokasi pengembangan gandum dari APBD I Provinsi seluas 5 ha, yang dilaksanakan di Desa Karangtengah Kecamatan Batur. Pada tahun 2012 Kabupaten Banjarnegara memperoleh alokasi anggaran dari APBD I Provinsi untuk pengembangan gandum seluas 40 ha di Desa Batur, Desa Pekasiran, Desa Kepakisan, Desa Karangtengah dan Desa Bakal Kecamatan Batur, Desa Gembol, Desa Sarwodadi dan Desa Penusupan, Kecamatan Pejawaran, serta Desa Balun dan Desa Kesimpur, Kecamatan Wanayasa.

Hasil panen yang bagus dan kenyataan bahwa pengembangan gandum dapat mengurangi penyakit pada kentang, serta adanya permintaan/tersedianya pasar bagi hasil panen ternyata meningkatkan motivasi petani di Kabupaten Banjarnegara untuk mengembangkan gandum lebih luas.

Jawa Timur

Jawa Timur memiliki iklim tropis basah. Dibandingkan dengan Jawa Barat, Jawa Timur umumnya memiliki curah hujan yang lebih sedikit. Curah hujan rata-rata 1.900 mm per tahun, dengan musim hujan 100 hari. Suhu berkisar antara 21-34°C. Suhu di daerah pegunungan lebih rendah, bahkan ada beberapa daerah yang suhunya mencapai minus 4°C yang menyebabkan turunnya salju. Potensi lahan kering dataran tinggi Provinsi Jawa Timur seluas 8.561 ha, umumnya dimanfaatkan untuk budi daya kentang dan berpeluang untuk pengembangan tanaman gandum dengan pola tanam kentang-gandum, yaitu di Kabupaten Pasuruan seluas 3.591 ha dan Kabupaten Probolinggo 3.148 ha, Kabupaten Lumajang 492 ha, dan Kabupaten Malang 751 ha.

Pengembangan gandum di Tosari sampai saat ini masih berlanjut. Pada tahun 2011 Kecamatan Tosari dan Podokoyo di Kabupaten Pasuruan mendapat

bantuan pengembangan gandum melalui Counterpart Fund Second Kennedy Round (CF-SKR) seluas 100 ha, yang dilaksanakan oleh tiga kelompok tani, yaitu Kelompok Tani Sumber Makmur I di Desa Podokoyo Kecamatan Tosari seluas 25 ha, Kelompok tani Tani Makmur II di Kecamatan Podokoyo seluas 25 ha, dan kelompok Tani Barokah Karya Mandiri seluas 50 ha.

Nusa Tenggara Timur

Provinsi Nusa Tenggara Timur berada pada ketinggian 400-800 m dpl, kisaran suhu 10-25°C, pH tanah 6,5-7,1 dengan foto periode yang lama, rata-rata curah hujan 350-1.250 mm.

Potensi lahan kering dataran tinggi di Provinsi Nusa Tenggara Timur seluas 129 ha, yang ditanami sayur-sayuran dan mempunyai peluang untuk ditanami gandum dengan pola tanam sayur-gandum yang terdapat di Kabupaten Timor Tengah Selatan seluas 37 ha dan Kabupaten Ngada 31 ha, Kabupaten Sumba Timur 19 ha, dan Kabupaten Sumba Tengah 9 ha.

Pengembangan melalui Kemitraan

Pada tahun 2012-2014 pengembangan gandum difokuskan pada kegiatan fasilitasi kemitraan melalui dana dekonsentrasi di 12 propinsi: 1) Jawa Barat; 2) Jawa Tengah; 3) D.I. Yogyakarta; 4) Jawa Timur; 5) Sulawesi Selatan; 6) Nusa Tenggara Barat; 7) Nusa Tenggara Timur dan 8) Maluku; 9) Sulawesi Selatan; 10) Sulawesi Utara; 11) Sulawesi Tenggara dan 12) Sulawesi Barat. Fasilitasi kemitraan ini diharapkan meningkatkan minat pengusaha lokal, kelompok tani pengelola, petugas lapangan Dinas Tanaman Pangan Provinsi dan Kabupaten untuk berdiskusi dan mencari solusi permasalahan yang ada.

Tujuan dari fasilitasi kemitraan antara lain (1) meningkatkan koordinasi dan keterpaduan pelaksanaan produksi komoditas gandum antara pusat, provinsi dan kabupaten/kota dalam mendukung upaya peningkatan ketahanan pangan melalui diversifikasi pangan, (2) meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani serta mempercepat penerapan teknologi budi daya gandum melalui kemitraan antara swasta dan petani pelaksana, (3) meningkatkan pendapatan petani melalui peningkatan produksi, mutu hasil dan nilai tambah, (4) menumbuhkan kemitraan antara petani dengan industri pengguna tepung terigu atau dengan pengusaha.

DINAMIKA KEBIJAKAN PENGEMBANGAN GANDUM

Sebelum 2014

Kebijakan pemerintah untuk mendukung pengembangan gandum antara lain dilakukan melalui demarea berupa bantuan paket teknologi budi daya (saprodi

lengkap) yang tersebar di beberapa provinsi pada kabupaten yang berpotensi secara agroklimat cocok untuk budi daya gandum. Selain itu juga dilaksanakan pelatihan petugas dalam rangka adopsi teknologi budi daya sampai dengan pascapanen, pemasarkan pengolahan hasil melalui demonstrasi pengolahan, pemberian alat penepung gandum skala rumah tangga, bimbingan kepada petugas dan petani dan media publikasi.

Di samping itu Ditjen Tanaman Pangan telah bekerja sama dengan beberapa Perguruan Tinggi Negeri maupun Swasta dalam rangka pengembangan teknologi budi daya dan penyiapan benih gandum antara lain, dengan Institut Pertanian Bogor, Universitas Padjadjaran, Universitas Kristen Satya Wacana, dan Universitas Slamet Riyadi.

Pada tahun 2005 telah dilaksanakan pelatihan untuk petugas pengembangan gandum, yang merupakan wakil dari provinsi dan kabupaten pelaksana pengembangan gandum. Pelatihan yang dilaksanakan di Kecamatan Tosari, Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur dengan materi teori dan praktik lapangan, serta demo masak dari salah satu stakeholder yang bergerak di bidang pertepungan nasional. Demo masak adalah membuat beberapa pangan alternatif berbasis gandum, dengan memperlihatkan beberapa keunggulan gandum produksi Tosari dibandingkan dengan tepung terigu yang bahan bakunya berasal dari impor.

Pada tahun 2007 kembali diadakan pelatihan petugas pengembangan gandum dengan tema Pelatihan Peningkatan Kapasitas SDM di Ciawi, Kabupaten Bogor. Pelatihan diikuti oleh petugas dari pusat dan daerah. Selain materi yang diberikan di ruangan, peserta juga mendapat materi lapangan (field trip) dengan mengunjungi salah satu lokasi kebun percontohan gandum Perguruan Tinggi di Bandung.

Pengembangan gandum melalui demarea di beberapa propinsi, meliputi Propinsi: Sumatera Barat, Bengkulu, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara Timur dan Sulawesi Selatan.

Untuk mendukung pengembangan gandum selain dengan membudidayakan varietas gandum dataran tinggi yang ada saat ini, PATIR BATAN (Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional) dan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian bekerja sama dengan Perguruan Tinggi telah melakukan uji multilokasi varietas gandum pada dataran rendah-medium, sehingga pengembangannya diharapkan dapat lebih luas tidak saja pada lokasi dengan ketinggian > 800 m dpl, tetapi juga pada lahan kering dataran medium.

Masa Datang (2015-2019)

Program pengembangan gandum berdasarkan Renstra 5 tahun ke depan (2015-2019) mengalokasikan dana bansos yang selama ini terputus yang mengakibatkan budi daya gandum mulai menurun. Bantuan sosial akan

dilaksanakan tiap tahun berupa demarea pada provinsi dan kabupaten yang mempunyai potensi pengembangan. Demarea gandum diharapkan sebagai show window bagi kelompok tani sekitarnya dan kelompok tani di daerah lain. Sasaran luas panen, produktivitas, dan produksi gandum pada tahun 2015-2019 terlihat pada Tabel 2.

Upaya pencapaian produksi gandum dilakukan melalui:

1. **Ekstensifikasi (sosialisasi pada daerah baru)**

Gandum mempunyai potensi besar untuk dikembangkan, mengingat potensi lahan kering maupun lahan marginal masih cukup luas. Upaya pengembangan pada daerah-daerah bukaan baru dilakukan melalui identifikasi wilayah, dan sosialisasi komoditas gandum.

2. **Pengembangan daerah binaan**

Pengembangan daerah binaan dilakukan di lahan milik petani yang sudah terbiasa melakukan budi daya gandum. Upaya pengembangan ini dilakukan dengan perluasan areal tanam menuju pada usahatani yang memenuhi skala ekonomi. Selain itu perlu pengawalan areal tanam seluas 30%, untuk produksi benih bagi pertanaman tahun berikutnya oleh BPSB, BPTP dan Perguruan Tinggi setempat, atau penyiapan benih melalui APBD (agar provinsi dan kabupaten mengalokasikan dana untuk pengawalan tersebut).

3. **Pengembangan sentra produksi**

Pengembangan sentra produksi merupakan upaya pengembangan usahatani yang memenuhi skala ekonomi, sehingga memungkinkan tumbuh dan berkembangnya sistem dan usaha-usaha agribisnis berkelanjutan. Pengembangan sentra produksi dilakukan dengan pendekatan: (a) pengembangan sentra produksi berskala ekonomis berbasis kabupaten andalan, (b) pemantapan peran kelembagaan dalam rangka penguatan modal usaha, (c) kegiatan yang dikembangkan dalam subsistem budi daya di sentra produksi perlu dipadukan dengan subsistem lainnya seperti penyediaan infrastruktur, pengelolaan industri pedesaan, pemasaran dan lain-lain, sehingga tercipta keterpaduan dan keharmonisan pengembangan agribisnis secara utuh.

Tabel 2. Sasaran luas tanam, panen, produktivitas dan produksi gandum tahun 2015-2019.

Tahun	Luas panen		Produktivitas		Produksi	
	Ha	r*(%)	Ku/ha	r*(%)	Ton	r*(%)
2015	310,00	-	30,0	-	930,0	-
2016	313,10	1,0	30,0	-	939,3	1,0
2017	316,23	1,0	30,0	-	948,7	1,0
2018	319,39	1,0	30,0	-	958,2	1,0
2019	322,59	1,0	30,0	-	967,8	1,0
Rata-rata	316,26	1,0	30,0	-	948,8	1,0

4. Penguatan kelembagaan

Strategi pengembangan komoditas gandum melalui penguatan kelembagaan meliputi: (a) penguatan Kelompok tani/Gapoktan gandum, (b) penangkar benih, ketersediaan benih yang terbatas sehingga perlunya pemberdayaan penangkar benih melalui dukungan dana APBD dan kemitraan usaha untuk penyiapan kebutuhan benih, (c) asosiasi pengguna tepung, (d) kelembagaan pengolahan dan pemasaran hasil, serta (d) lembaga pembiayaan usahatani seperti KUR.

KESIMPULAN

Impor gandum cenderung meningkat dari tahun ke tahun, karena meningkatnya permintaan untuk memenuhi kebutuhan industri pangan berbasis terigu yang selama ini seluruhnya dipenuhi dari Impor. Jumlah impor yang sangat besar tersebut membuka peluang bagi pengembangan gandum di Indonesia.

Peluang pengembangan gandum cukup terbuka, terutama dalam hal kesiapan sumberdaya alam dan sumber daya manusia serta kesesuaian agroklimat dan sosial budaya, terlebih bila didukung oleh keterbukaan pasar, iklim usaha dan aspek pendukung lainnya. Respon positif dan dukungan moril maupun materil dari berbagai pemangku kepentingan sangat penting untuk merealisasikan pengembangan gandum.

Keberhasilan pengembangan gandum lokal dapat tercapai apabila seluruh instansi terkait dan faktor-faktor pendukung berada dalam kondisi ideal dan optimal. Asumsi kondisi ideal antara lain tersedianya infrastruktur pertanian, benih, pupuk, sarana pengendalian organisme pengganggu tumbuhan, teknologi dan pemasaran serta jaminan harga yang memadai. Oleh karena itu perlu adanya dukungan dari pemerintah, baik pusat maupun daerah, untuk mendorong pengembangan gandum agar lebih bernilai ekonomis.

Peran aktif petugas ditingkat lapang merupakan unsur yang paling penting dalam mengembangkan gandum, karena budi daya gandum merupakan hal yang baru bagi petani. Oleh karena itu diperlukan kerja keras para petugas untuk membuka cakrawala petani bahwa gandum dapat dibudidayakan sebagai komoditas pangan alternatif di Indonesia.

Sebagai komoditas pangan alternatif, gandum memiliki prospek cukup besar untuk dikembangkan di dalam negeri. Selama ini kebutuhan tepung terigu dalam negeri dipenuhi seluruhnya dari impor.

DAFTAR PUSTAKA

- Aptindo. 2013. Overview Industri Tepung Terigu Nasional Indonesia. www.aptindo.or.id. Jakarta, 14 Maret 2013.
- Baga, L.M. dan A.A.D. Puspita. 2013. Analisis daya saing dan strategi pengembangan agribisnis gandum lokal di Indonesia. *Jurnal Agribisnis Indonesia* 1(1): 9-26.
- BBSDLP. 2008. Policy Brief: Potensi dan Ketersediaan Sumber Daya Lahan untuk Perluasan Areal Pertanian. BBSDLP Balitbangtan. Bogor.
- Direktorat Budidaya Serealia. 2003. Inventarisasi Pengembangan Gandum. Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. Kementerian Pertanian. Laporan Hasil Kegiatan 2003.
- Magiera, S.L. 1981. The Role of Wheat in the Indonesian Food Sector. BIES, XVII.
- Pusdatin. 2014. Data Ekspor Impor 2014. www.pertanian.go.id. Kementerian Pertanian RI.
- Sawit, M.H. 2003. Kebijakan Gandum/Terigu: Harus Mampu Menumbuhkembangkan Industri Pangan dalam Negeri. *Analisis kebijakan Pertanian* 1(2): 57-67.

Dinamika Penelitian Gandum di Indonesia

¹Erythrina dan ²Zulkifli Zaini

¹Balai Besar Pengakajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian, Bogor

²Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor

PENDAHULUAN

Gandum (*Triticum aestivum* L) adalah serealia dari famili Gramineae (*Poaceae*) yang merupakan salah satu bahan makanan pokok manusia selain beras. Gandum bukan merupakan tanaman asli Indonesia, sehingga keragaman genetik tanaman yang tersedia sangat terbatas. Gandum adalah tanaman daerah beriklim sedang yang berasal dari Asia Kecil dan Mesopotamia (Klages 1958). Untuk dapat berproduksi dengan baik, gandum memerlukan lingkungan tumbuh dengan temperatur yang berkisar antara 10-25°C dan curah hujan 350-1250 mm selama siklus hidupnya. Tanah yang ideal untuk tanaman gandum adalah dengan pH 6-8. Fotoperiode tanaman gandum tergolong panjang, tetapi sekarang banyak dikembangkan gandum dengan syarat tumbuh fotoperiode 11-13 jam/hari (Feldman 1979). Daerah budi daya gandum terdapat dalam kawasan 300-600 LU dan 270-400 LS dengan ketinggian tempat mulai dekat permukaan laut sampai lebih dari 3.600 m dpl .

Berdasarkan karakteristik ekologis di atas maka tanaman gandum cocok dikembangkan di Indonesia pada dataran sedang maupun dataran tinggi. Idealnya penanaman dilakukan menjelang musim kemarau sehingga fase pematangan jatuh pada musim kemarau, karena pada bulan pertama dan kedua diperlukan air dengan distribusi yang merata dalam jumlah yang cukup untuk pembentukan tunas dan fase primordia. Pada bulan ketiga, mulai fase pematangan, tanaman tidak memerlukan banyak air. Tanaman gandum tidak toleran genangan air yang berlebihan. Pada fase generatif atau biji sudah masak fisiologis, tanaman diusahakan untuk bebas dari hujan, karena biji akan berkecambah di dalam malai.

Indonesia merupakan negara ketiga terbesar di dunia yang mengimpor gandum setelah Mesir dan Italia. Pada tahun 2011 impor gandum nasional mencapai 6,3 juta ton dan meningkat menjadi 7,4 juta ton pada tahun 2014. Pada tahun 2020 impor gandum Indonesia diprediksi akan mencapai 10 juta ton (Agri Xchange 2016). Makin membengaknya impor gandum berkaitan dengan jumlah penduduk yang terus meningkat, berkembangnya diversifikasi pangan, dan belum adanya terobosan pengembangan komoditas ini di Indonesia.

Mulai tahun 2014 pemerintah mencanangkan gerakan penanaman gandum secara massal. Langkah ini bertujuan untuk mengurangi ketergantungan terhadap gandum impor yang terus meningkat. Jika pengembangan gandum

di Indonesia bisa berjalan, maka ketergantungan pada gandum impor bisa dikurangi.

Hambatan yang perlu diatasi dalam pengembangan gandum di Indonesia diantaranya sebagian besar petani belum mengenal budi daya gandum, dan belum adanya jaminan pasar untuk produk gandum lokal yang dihasilkan. Prospek pengembangan gandum perlu ditinjau dari berbagai aspek baik teknis, sosial, ekonomis maupun politis.

Sejak jaman kolonial Belanda hingga tahun 1980an sebagian masyarakat Indonesia sudah mengenal tanaman gandum. Menurut Simanjuntak (2002), hasil-hasil penelitian gandum sebelum tahun 1980an sampai sekarang tidak diketahui dengan jelas. Oleh karena itu penelitian gandum di Indonesia tampaknya harus dimulai dari awal kembali. Tulisan ini menguraikan dinamika penelitian gandum di Indonesia.

KILAS BALIK PERKEMBANGAN INOVASI GANDUM

Periode 1945-1980

Penanaman gandum di Indonesia sudah dimulai pada awal abad Ke-20 secara terbatas di Jawa, yaitu di Pengalengan (Jawa Barat), Dieng (Jawa Tengah), Tengger (Jawa Timur), dan Amanumbang. Heyne (1927) melaporkan keberhasilan penanaman gandum di beberapa tempat di Indonesia, seperti dataran tinggi Karo, Sumatera Utara, Pengalengan, Dieng, Kupang, dan Timor Timur. Pengembangan gandum di Indonesia dimulai sejak Kementerian Pertanian dipimpin oleh Prof. Dr. Thoyib Hadiwijaya dengan membentuk Tim Inti Uji Adaptasi Gandum pada tahun 1978. Lokasi uji coba terletak di Kabanjahe, Sumatera Utara, pada ketinggian 800 m dpl Benih yang digunakan berasal dari CIMMYT, Meksiko, dengan produktivitas 4 ton/ha (Ditjen Bina Produksi Tanaman Pangan 2001 *dalam* Puspita 2009). Pengembangan uji adaptasi tersebut tidak berlanjut karena tidak mendapat dukungan yang komprehensif dari pemerintah. Oleh karena itu luas areal pertanaman gandum di Indonesia tidak pernah berkembang, dan tidak pernah melampaui 2.000 hektar per tahun (Simanjuntak 2002).

Periode 1981-1994

Dalam rangka mencari peluang pengembangan gandum di Indonesia, sejak tahun 1981 Badan Litbang Pertanian telah melakukan penelitian tanaman gandum di Balai Penelitian Tanaman Pangan (Balittan) Sukarami (sekarang BPTP Sumatera Barat). Penelitian umumnya bersifat pengujian adaptasi plasma nutfah gandum diintroduksi dari berbagai negara. Dari sejumlah plasma nutfah introduksi tersebut, beberapa di antaranya menunjukkan keragaan dan daya adaptasi yang cukup baik pada lahan sawah dataran tinggi (Tabel 1). Plasma

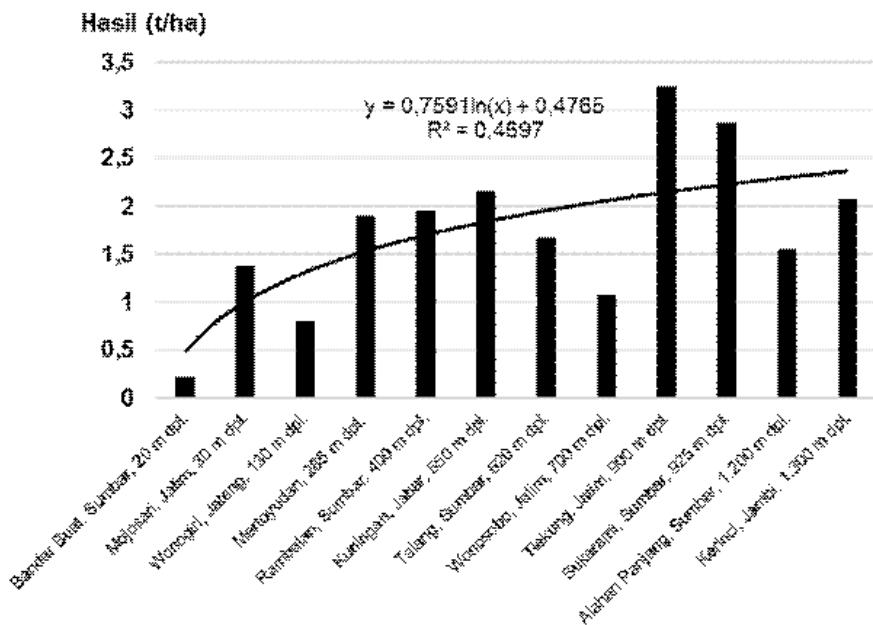
Tabel 1. Genotipe tanaman gandum yang beradaptasi cukup baik pada agroekosistem dataran tinggi di Indonesia, 1987-1988.

Genotipe	Asal	Hasil tertinggi (t/ha)	
		Sukarami (925 m dpl)	Tlekung (900 m dpl)
Haruminori	Jepang	3,94	
Norin-61	Jepang	3,61	
Saitama-125	Jepang	3,25	
Nase Komungi	Jepang	3,24	
R-43	Jepang	3,12	
Pengalengan	Lokal	3,20	
HI-784	India		4,20
HW-135	India		4,00
Sonalika-1553	India		3,90
HW-517	India		3,70
Sonalika	India		3,60
V 1287	India		3,60
IWP-72	India		3,20
Lyallpur-73	Pakistan		4,80
SA-75	Pakistan		3,60
Sandal	Pakistan		3,50
LU-26	Pakistan		3,50
UP-262	Filipina		3,70
C213-59	Filipina	3,60	
C213-13	Filipina	3,40	
C353-13	Filipina	3,40	
UPL-W2	Filipina	3,20	
Tit Mouse"S"	Meksiko	3,40	
Rataan		3,40	3,77

Sumber: Azwar *et al.* (1989)

nutnfah introduksi yang terpilih dilanjutkan dengan pengujian pada berbagai tingkat elevasi, kelembaban, jumlah dan penyebaran curah hujan sebelum dilepas menjadi varietas unggul.

Hasil penelitian di beberapa daerah menunjukkan tanaman gandum dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik pada dataran sedang (350-700 m dpl) sampai dataran tinggi (800-1.300 m dpl); pertumbuhan dan produksi tertinggi terdapat di dataran tinggi (Jusuf *et al.* 1993). Azwar (1984) dan Azwar *et al.* (1989) meneliti pengaruh ketinggian tempat (elevasi) terhadap pertumbuhan dan hasil gandum pada lingkungan tropis di Sumatera Barat dan Filipina menggunakan 25 varietas gandum. Penggabungan hasil penelitian ini dengan penelitian lain diketahui daya adaptasi tanaman gandum dari dataran rendah sampai dataran tinggi 1.300 m dpl. Salah satu parameter adaptasi yang digunakan adalah hasil biji kering di tiap lokasi (Gambar 1).



Gambar 1. Hasil biji kering tanaman gandum yang ditanam pada berbagai ketinggian tempat dari muka laut di Indonesia (Azwar *et al.* 1989).

Secara teoritis, pada kondisi tanpa gangguan hama dan penyakit, produksi gandum berhubungan linier dengan ketinggian tempat. Akan tetapi, walaupun terdapat kecenderungan peningkatan produksi menurut elevasi, faktor lain terlihat cukup mempengaruhi hasil. Di antara faktor tersebut, ketepatan waktu tanam dan gangguan penyakit karat yang disebabkan oleh cendawan *Fusarium* sp. merupakan aspek yang perlu mendapatkan perhatian.

Pada dataran rendah (0-350 m dpl), hasil gandum tertinggi diperoleh di Mojosari, bila dibandingkan dengan di Bandar Buat, Sumatera Barat dan Wonogiri, Jawa Timur (Gambar 1). Suhu dan curah hujan yang terlalu tinggi di Bandar Buat menyebabkan tanaman kurang berkembang, karena terganggunya proses anthesis sehingga gagal menghasilkan biji. Ketepatan waktu tanam dan distribusi curah hujan yang merata pada fase pertumbuhan tampaknya berkorelasi dengan hasil yang lebih tinggi di Mojosari dibandingkan dengan di Bandar Buat dan Wonogiri.

Pada dataran medium (350-600 m dpl), tingkat hasil relatif sebanding dengan keempat lokasi pengujian dengan kisaran 1,0-2,5 t/ha (rata-rata 1,5 t/ha biji kering). Hasil yang tinggi di Kuningan, Jawa Barat terutama disebabkan oleh waktu tanam. Rendahnya hasil di Talang, Sumatera Barat disebabkan oleh rendahnya kesuburan tanah dan kurang tepatnya waktu tanam.

Di dataran tinggi (700-1.300 m dpl), hasil tertinggi diperoleh di Tlekung, Jawa Timur (900 m dpl) dengan kisaran 2,9-4,8 t/ha biji kering (rata-rata 3,2 t/ha). Hal ini menunjukkan bahwa syarat kesesuaian lingkungan sudah mendekati kebutuhan tanaman, seperti suhu dan pola curah hujan. Perbedaan hasil antara Sukarami dan Tlekung yang memiliki elevasi hampir sama berkaitan dengan perbedaan pola curah hujan dan radiasi. Di Sukarami, walaupun dalam musim kemarau, cuaca masih sering berawan dan menimbulkan hujan gerimis. Hasil yang sangat rendah di Wonosobo, Jawa Timur (710 m dpl), Alahan Panjang, Sumatera Barat (1.200 m dpl) dan Kerinci, Jambi (1.300 m dpl) disebabkan oleh tingginya kelembaban dan curah hujan yang menyebabkan tingginya penularan cendawan *Fusarium* sp. dan *Helminthosporium* sp.

Walaupun tanaman gandum dapat tumbuh dengan baik di dataran tinggi, namun lahan yang tersedia sangat terbatas dan umumnya sudah ditanami dengan sayuran dan tanaman perkebunan yang memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi. Kendala yang lain, curah hujan dan kelembaban di dataran tinggi cukup tinggi, sehingga tanaman mudah terinfeksi jamur yang mendorong perkembangan penyakit karat dan hawar daun (Zaini *et al.* 1991).

Untuk mengatasi keterbatasan lahan kering maupun lahan sawah dataran tinggi bagi pengembangan gandum dan menghindari kompetisi dengan tanaman sayuran, pengembangan tanaman gandum perlu dialihkan ke daerah yang berelevasi lebih rendah (dataran medium) yang ketersediaannya cukup luas. Masalah utama di daerah ini adalah suhu yang lebih tinggi, tetapi curah hujan dan kelembaban lebih rendah sehingga gangguan penyakit karat dapat ditekan (Jusuf *et al.* 1993).

Secara teknis tanaman gandum dapat tumbuh dan berproduksi di Indonesia dan tingkat produksi ditentukan oleh: (a) lingkungan fisik, terutama suhu dan kelembaban udara, (b) tekanan biotik sehubungan dengan suhu dan kelembaban, dan (c) kesuburan lahan serta masukan yang diberikan.

Hasil uji adaptasi (Gambar 1) menunjukkan parameter yang mencirikan kesesuaian lahan untuk tanaman gandum adalah perbedaan musim hujan dan kemarau yang nyata (Azwar *et al.* 1989). Pada daerah dengan tipe iklim yang sesuai, produktivitas gandum ditentukan oleh tinggi tempat. Fluktuasi hasil gandum di dataran medium relatif kecil dibandingkan dengan dataran rendah dan dataran tinggi. Secara statistik, data ini dapat ditafsirkan bahwa peluang kesesuaian lahan untuk pengembangan gandum di dataran medium lebih besar daripada dataran tinggi atau dataran rendah. Hal ini dapat dimaklumi karena iklim di dataran tinggi kurang sesuai bagi tanaman gandum kalau kelembaban udara terlalu tinggi. Ditinjau dari aspek pengembangan, keadaan ini justru memberi peluang karena potensi lahan di dataran medium jauh lebih besar daripada lahan dataran tinggi.

Bukti nyata keberhasilan penelitian gandum di Indonesia antara lain dihasilkannya dua varietas unggul untuk pertama kalinya pada tahun 1993 yang dilepas dengan nama Nias dan Timor (Tabel 2). Reorganisasi di lingkup Badan

Tabel 2. Deskripsi gandum varietas Nias, Timor, Selayar dan Dewata.

Deskripsi	Varietas			
	Nias	Timor	Selayar	Dewata
Asal galur	Introduksi dari Thailand	Introduksi dari India	Introduksi dari CIMMYT	Introduksi dari India
Umur berbunga (hari)	45-50	50-55	80	82
Umur panen (hari)	85-95	95-105	125	129
Tinggi tanaman (cm)	75	90	85	89
Warna biji	Kuning tua	Kuning tua	Kuning kecoklatan	Kuning kecoklatan
Rata-rata hasil (t/ha)	2,0	2,0	2,95	2,04-2,96
Bobot 1000 biji (g)	28-32	30-34	46	46
Kandungan protein (%)	16,2	17,0	11,7	13,94
Kandungan gluten (%)	13,0	13,0	9,3	12,9
Kadar abu (%)	1,61	1,41	1,9	1,78
Keterangan	Adaptif pada >1000 m dpl			
Tahun dilepas	1993	1993	2003	2004

Sumber: Puslitbang Tanaman Pangan (2009)

Litbang Pertanian, maka sejak tahun 1994 penelitian gandum ditangani oleh Balai Penelitian Tanaman Jagung dan Serealia yang berkedudukan di Maros, Sulawesi Selatan. Selain menangani penelitian jagung, Balit Serealia juga mendapat mandat penelitian tanaman gandum dan sorgum.

Periode 1995-2010

Pengembangan gandum di lingkungan tropika seperti Indonesia menghendaki varietas yang sesuai, sementara belum tersedia varietas unggul yang berdaya hasil tinggi di daerah tropika. Varietas unggul dapat diperoleh melalui program pemuliaan tanaman melibatkan bahan genetik yang sesuai. Keragaman genetik yang tinggi dapat diperoleh antara lain melalui introduksi atau melalui persilangan. Keragaman genetik dipengaruhi oleh ketinggian tempat (Azwar *et al.* 1989).

Rendahnya produktivitas gandum di daerah tropis disebabkan dari kombinasi kondisi iklim yang sukar diprediksi dan tekanan penyakit yang berat (Al-Khatib and Paulsen 1990). Kombinasi dari panas, kekeringan, dan curah hujan yang tinggi, serta perubahan mendadak dalam hubungan suhu dan kelembaban, memerlukan jenis tanaman gandum yang dapat beradaptasi pada kondisi spesifik lokasi (Cossani and Reynolds 2012). Plasma nutfah yang dapat menahan gangguan fisiologis yang disebabkan oleh tingkat evapotranspirasi tinggi perlu dikombinasikan dengan sifat ketahanan berbasis luas untuk kompleks penyakit (Gutiérrez-Rodríguez *et al.* 2000). Selain itu, varietas gandum harus disesuaikan dengan kondisi tanah yang miskin hara dengan tingkat

kejemuhan beberapa mineral yang tinggi dan rendahnya ketersediaan hara fosfat (Shah *et al.* 2010; Sattar and Gaur 1989).

Pada tahun 2003 Badan Litbang Pertanian melepas varietas Selayar dan pada tahun 2004 varietas Dewata sebagai varietas unggul gandum nasional (Tabel 2). Sifat dari empat varietas gandum dataran tinggi ini relatif sama, kecuali daya hasil varietas Selayar dan Dewata lebih tinggi daripada varietas Nias dan Timor.

UJI COBA TANAMAN GANDUM DI TIMOR LESTE

Timor Timur yang dulunya merupakan salah satu provinsi di Indonesia, pada tahun 1999 berubah menjadi negara Timur Leste. Timor Timur terletak paling ujung dari daerah kepulauan Sunda Kecil, maka iklim Timor merupakan transisi antara iklim tropis basah Nusantara dan iklim kering Australia Tengah (Saryono 1992). Sifat spesifik iklim Timor dan pulau-pulau di sekitarnya ditandai oleh tiupan angin kencang atau siklon tropika. Siklon tropika bertiup antara bulan Maret sampai April pada saat bertiup angin muson timur, yang arahnya berubah dari tahun ke tahun. Pada awal musim kemarau, suhu malam sampai pagi hari sangat dingin, dan angin bertiup lebih kencang.

Data pengamatan *Servico Meterologico Provincia De Timor Republica Portugueca* (sebelum integrasi dengan Indonesia) dan Badan Meteorologi dan Geofisika Jakarta (pasca Portugis) dalam periode 1952-1985 mengelompokkan curah hujan tahunan di Timor Timur menjadi enam kelompok, mulai dari < 1.000 mm/tahun sampai > 3.000 mm/tahun. Daerah relatif kering umumnya terdapat di pantai utara Timor Timur seperti Dili, Maumeta, Vemase, dan Biu Bau, sedangkan daerah relatif basah terdapat di Ermera, Same, dan Lolote (Adnyana *et al.* 1993).

Suhu udara rata-rata di suatu tempat dengan tempat lainnya berbeda-beda (Tabel 3). Puncak bulan terdingin terjadi pada Juli/Augustus dan terpanas November/Desember.

Tabel 3. Suhu udara rata-rata di 10 stasiun pengamatan di Timor Timur.

Stasiun	m dpl	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Rataan
Suai	71	28,9	28,7	28,5	27,0	26,8	24,3	24,0	25,2	26,2	27,1	28,8	29,0	27,0
Lautem	174	28,1	28,2	27,4	28,0	26,4	26,4	26,4	27,8	27,7	29,1	28,1	28,2	27,7
Mafiana	278	25,7	25,5	25,7	25,8	25,6	25,0	24,6	24,9	26,0	27,0	27,5	26,6	25,8
Tatuala	376	25,0	24,6	25,1	23,8	23,4	22,0	22,2	21,9	22,6	23,0	29,3	25,4	24,0
Los Palos	394	24,6	24,7	24,5	24,2	23,9	22,8	22,2	23,9	22,9	23,9	24,5	24,8	23,9
Baucau	527	23,6	23,5	23,5	23,7	23,5	23,1	22,4	22,7	23,3	24,1	25,0	24,6	23,5
Ossu	688	25,0	24,6	24,4	23,6	22,8	21,5	21,8	22,7	23,3	24,2	25,5	25,3	23,7
Soibada	700	24,8	24,2	24,9	23,7	23,6	23,1	23,2	22,7	23,5	24,4	24,5	25,4	24,0
Ainaro	809	22,5	22,3	21,9	21,6	20,4	18,7	18,7	19,2	20,7	21,6	22,5	22,8	21,1
Ermera	1160	20,8	20,9	20,6	20,6	20,3	19,9	19,6	19,9	20,4	20,9	20,9	20,9	20,5

Sumber: Adnyana *et al.* (1993)

Hasil identifikasi wilayah menunjukkan empat lokasi berpotensi untuk pengembangan tanaman gandum di Timor Leste yaitu Kabupaten Lautem, Baucau, Bobonaro, dan Ainaro. Di Kabupaten Lautem terdapat dataran de Nari (*Nari de Plato*) dan dataran Fuijoro (*Fuijoro de Plato*) pada ketinggian 200-600 m dpl dengan luas sekitar 30.000 ha. Vegetasi lahan berupa padang rumput, semak belukar, ladang dan kebun campuran di sekitar pemukiman.

Daerah Maubisse, Kabupaten Ainaro terletak pada ketinggian 950-1450 m dpl. Di daerah ini petani banyak menanam gandum di sekitar pekarangan rumah. Menurut penduduk setempat, penggunaan gandum sebagai bahan makanan telah berlangsung sejak zaman Portugis. Paling tidak terdapat dua varietas gandum lokal yang digunakan secara turun temurun di daerah ini dan diduga berasal dari Portugis (Tabel 4). Pada zaman Portugis, petani diharuskan menanam gandum untuk bahan makanan tentara.

Petani tidak pernah memupuk tanaman gandum. Hama dan penyakit hampir tidak pernah mereka temukan. Menurut para petani, walaupun hasil gandum rendah, tapi produksi tetap stabil sejak puluhan tahun yang lalu.

Zaini (1995) dan Zaini *et al.* (1996) meneliti gandum varietas Nias dalam pola tumpang sari gandum-kedelai di Timor Timur. Hasil penelitian menunjukkan pada tingkat pemupukan 90 kg N/ha atau setara N dalam kompos, hasil gandum dapat mencapai 3,12-3,26 t/ha (Tabel 5).

Tabel 4. Tinggi tanaman, komponen hasil, dan hasil gandum lokal di Maubisse, Kabupaten Ainaro, 1992.

Parameter saat panen	Nilai
Tinggi tanaman (cm)	82,9
Jumlah malai/m ²	118,0
Panjang malai (cm)	7,9
Jumlah biji/malai	27,4
Biji hampa (%)	11,4
Hasil (kg/ha), ubinan	900

Sumber: Adnyana *et al.* (1993)

Tabel 5. Tanggap tanaman gandum terhadap pupuk urea dan kompos dalam pola tanam gandum-kedelai, Maubisse, Timor Timur.

Takaran pemupukan N (kg/ha)	Urea				Kompos			
	Gandum		Kedelai		Gandum		Kedelai	
	Hasil (t/ha)	Indeks (%)						
0	1,12	100	0,55	100	1,16	103	0,52	94
45	2,27	100	0,62	100	2,01	89	0,69	111
90	3,26	100	0,81	100	3,12	99	0,83	102

Sumber : Zaini *et al.* (1996)

Hasil analisis kelayakan usahatani, menunjukkan usahatani gandum petani setempat dan dengan paket teknologi yang dianjurkan menguntungkan secara finansial. Adnyana *et al.* (1993) dengan pendekatan *Policy Analysis Matrix* menyimpulkan bahwa usahatani gandum di Timor Timur mempunyai keunggulan komparatif dibanding impor biji terigu dengan nilai *Domestic Resource Cost Ratio* (DRCR) < 1.

PENELITIAN GANDUM TROPIS

Badan Litbang Pertanian terus berupaya meneliti dan mengembangkan tanaman gandum di Indonesia dengan mengintroduksikan galur/varietas gandum dari berbagai negara. Pengalaman menunjukkan, pengembangan gandum subtropis di Indonesia hanya terbatas di dataran tinggi yang luasnya juga terbatas. Selain itu, lahan pegunungan umumnya rentan terhadap erosi dan gandum kalah kompetitif dengan sayuran dataran tinggi. Oleh karena itu, program pemuliaan gandum di Indonesia diarahkan pada perakitan varietas unggul tropis yang mampu beradaptasi di dataran rendah sampai sedang.

Sejumlah wilayah di Indonesia mempunyai prospek bagi pengembangan gandum, mulai dari dataran rendah sampai dataran tinggi yang memiliki suhu rendah pada periode tertentu. Daerah tertentu di Soe, NTT (100 m dpl) dan Merauke, Papua (50 m dpl) cocok untuk pengembangan gandum. Penelitian Ashari *et al.* (2012) di Muneng, Probolinggo, dan Ngajum, yang terletak pada ketinggian 300 m dpl serta Tumpang, Malang, dan Dau, Batu pada ketinggian 600 m dpl Analisis gabungan dari varians menunjukkan bahwa interaksi genotipe dan lingkungan berpengaruh nyata terhadap hasil gandum (Tabel 6). Hasil gandum pada ketinggian 300 m dpl sekitar 15% lebih rendah dibandingkan ketinggian 600 m dpl.

KONSORSIUM PENELITIAN GANDUM

Dalam upaya percepatan pelepasan varietas unggul baru gandum, Badan Litbang Pertanian merintis kerja sama konsorsium penelitian dengan melibatkan beberapa institusi seperti Badan Litbang Pertanian (Balai Penelitian Tanaman Serealia, Balai Besar Biogen), perguruan tinggi (IPB, UNAND dan UKSW) serta PATIR-BATAN. Penelitian konsorsium diarahkan untuk membentuk varietas gandum tropis unggul baru melalui kegiatan pemuliaan konvensional maupun non-konvensional yang adaptif di daerah dataran rendah sampai menengah.

Kerja sama konsorsium penelitian gandum membawa hasil pada tahun 2013 dengan dilepasnya dua varietas unggul baru gandum, yaitu Guri-1 dan Guri-2. Guri merupakan singkatan dari Gandum untuk Rakyat Indonesia. Kedua varietas ini dilepas Badan Litbang Pertanian pada Tahun 2013. Varietas Guri-1 merupakan persilangan galur KAUZ*2//SAP/MON/3/KAUZ CRG969-2Y-010M-OY-OHTY yang diintroduksi dari CIMMYT pada tahun 2001. Varietas ini beradaptasi

Tabel 6. Hasil uji beberapa kultivar gandum di dataran rendah dan medium, 2011.

Genotipe	Hasil (t/ha)					
	Dataran rendah (300 m dpl.)			Dataran medium (600 m dpl.)		
	Muneng	Ngajum	Rataan	Tumpang	Dau	Rataan
G-1	1,95	2,13	2,04	1,58	2,10	1,84
G-3	0,98	2,00	1,49	1,50	1,66	1,58
G-16	1,93	1,14	1,53	1,86	1,75	1,80
G-17	1,45	2,35	1,90	1,28	1,80	1,54
G-18	0,93	0,98	0,95	1,18	1,84	1,51
G-19	1,52	1,62	1,57	1,64	1,75	1,69
G-20	0,96	0,85	0,90	1,28	1,87	1,57
G-21	1,45	1,58	1,51	1,03	2,19	1,61
H-1	1,47	1,57	1,52	1,59	1,80	1,69
H-8	1,69	1,60	1,64	1,66	1,66	1,66
H-9	1,72	1,41	1,56	1,10	1,61	1,35
H-14	1,96	1,82	1,89	1,68	1,95	1,81
H-16	1,59	1,58	1,58	1,68	1,85	1,76
H-19	1,66	1,80	1,73	1,36	1,53	1,44
H-20	1,64	1,53	1,58	1,74	1,84	1,79
H-21	1,26	1,64	1,45	1,38	1,64	1,51
No. 28	2,05	2,22	2,13	2,20	2,18	2,19
No.162	1,53	1,23	1,38	1,72	2,00	1,86
No.185	0,94	1,30	1,12	0,94	1,94	1,44
No.38	1,42	1,57	1,49	1,84	2,08	1,96
No.40	1,03	0,91	0,97	1,32	2,07	1,69
No.42	1,10	1,14	1,12	1,54	2,30	1,92
No.80	1,47	1,67	1,57	1,34	2,05	1,69
No.82	1,56	1,77	1,66	1,54	2,23	1,88
No.85	1,10	1,05	1,07	2,05	2,16	2,10
No.91	1,60	1,10	1,35	1,56	1,69	1,62
No.142	0,94	1,40	1,17	1,44	2,04	1,74
Nias	2,01	1,42	1,71	1,35	2,13	1,74
Dewata	1,38	1,67	1,52	1,80	1,97	1,88
Selayar	1,08	1,26	1,17	1,50	1,11	1,30
Rataan			1,48			1,71

Sumber: Ashari *et al.* (2012)

pada daerah dengan ketinggian > 1.000 m dpl, umur agak dalam yaitu 134 hari, potensi hasil tinggi mencapai 7,4 t/ha, dengan rata-rata hasil 5,8 t/ha, tetapi peka penyakit karat dan hawar daun. Varietas Guri-2 merupakan persilangan galur CAZO/KAUZ//KAUZCMBW90Y3284-OTOPM-4Y-010M-010Y-6M-015YOY-OHTY juga diintroduksi dari CIMMYT pada tahun 2001. Umur panen varietas ini 133 hari, potensi hasil mencapai 7,2 t/ha dengan rata-rata hasil 5,6 t/ha. Varietas ini juga peka terhadap penyakit karat dan hawar daun serta beradaptasi pada daerah dengan ketinggian > 1.000 m dpl (Tabel 7).

Pada tahun 2014 konsorsium gandum kembali berhasil melepas empat varietas unggul gandum, yaitu Guri-3 Agritan, Guri-4 Agritan, Guri-5 Agritan dan

Tabel 7. Deskripsi empat varietas unggul baru gandum.

Deskripsi	Varietas					
	Guri-1 Intro-duksi CIMMYT	Guri-2 Intro-duksi CIMMYT	Guri-3 Agritan Intro-duksi CIMMYT	Guri-4 Agritan Intro-duksi CIMMYT	Guri-5 Agritan Seleksi tipe simpang varietas Dewata	Guri-6 UNAND Intro-duksi Slavakia
Asal						
Umur berbunga (hari)	67	68	69	67	65	66
Umur panen (hari)	134	133	125	123	126	123
Jumlah malai/m ²	376	357	391	404	362	329
Panjang malai (cm)	9,8	9,2	9,9	10	10	9,4
Jumlah biji/malai (butir)	46	43,3	39	41	39	36
Warna biji	Oranye keabu-abuan	Oranye keabu-abuan	Oranye keabu-abuan	Kuning ke-coklatan	Kuning ke-coklatan	Kuning ke-coklatan
Bobot 1000 biji (g)	43,2	42,9	38,1	36,8	37,5	36,8
Rata-rata hasil (t/ha)	5,8	5,6	3,7	3,8	3,4	3,2
Potensi hasil (t/ha)	7,4	7,2	7,5	8,6	5,1	5,3
Kandungan protein (%)	13,4	14,2	14,1	11,3	14,3	13,8
Kandungan gluten (%)	28,5	34,8	38,0	25,2	38,3	35,6
Kadar abu (%)	1,7	1,6	1,4	1,7	1,5	1,4
Ketahanan	Peka penyakit karat dan hawar daun	Peka penyakit karat dan hawar daun	Tahan penyakit hawar daun	Tahan penyakit hawar daun	Tahan penyakit hawar daun	Tahan penyakit hawar daun
Keterangan	Adaptif pada >1.000 m dpl	Adaptif pada >1.000 m dpl	Adaptif pada >1.000 m dpl	Adaptif pada >1.000 m dpl	Adaptif pada >600 m dpl	Adaptif pada >600 m dpl
Tahun dilepas	2013	2013	2014	2014	2014	2014

Sumber: Puslitbang Tanaman Pangan (2015)

Guri-6 UNAND. Dibandingkan Guri-1 dan Guri-2, varietas Guri-3 Agritan dan Guri-4 Agritan sudah lebih tahan penyakit hawar daun walaupun wilayah adaptasinya pada ketinggian 1.000 m dpl Varietas Guri-5 Agritan dan Guri-6 UNAND, di samping tahan penyakit hawar daun juga mampu beradaptasi pada dataran menengah, sekitar 600 m dpl

KESIMPULAN

Penelitian tanaman gandum dilaksanakan sejak tahun 1981 di Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukarami (sekarang BPTP Sumatera Barat). Pada tahun 1993 dihasilkan dua varietas gandum nasional Nias dan Timor dengan produktivitas 2 t/ha di lahan sawah dataran tinggi. Sejak tahun 1994 penelitian gandum

dilaksanakan di Balai Penelitian Tanaman Jagung dan Serealia di Maros, Sulawesi Selatan. Pada tahun 2003 Badan Litbang Pertanian melepas varietas Selayar dan varietas Dewata pada tahun 2004 dengan produktivitas 2-3 t/ha dan adaptif dataran tinggi.

Dalam upaya percepatan pelepasan varietas unggul baru gandum tropis, Badan Litbang Pertanian merintis kerja sama konsorsium penelitian gandum dengan perguruan tinggi dan BATAN. Kerja sama konsorsium penelitian membuat hasil pada tahun 2013 dengan dilepasnya dua varietas unggul baru gandum, yaitu Guri-1 dan Guri-2. Kedua varietas ini masih peka terhadap penyakit karat dan hawar daun serta beradaptasi pada daerah dengan ketinggian >1.000 m dpl

Pada tahun 2014 konsorsium penelitian gandum kembali berhasil melepas empat varietas unggul gandum, yaitu Guri-3 Agritan, Guri-4 Agritan, Guri-5 Agritan dan Guri-6 UNAND. Varietas Guri-3 Agritan dan Guri-4 Agritan sudah lebih tahan terhadap penyakit hawar daun walaupun daya adaptasinya tetap pada lokasi dengan ketinggian 1.000 m dpl Varietas Guri-5 Agritan dan Guri-6 UNAND, selain tahan penyakit hawar daun juga mampu beradaptasi dengan baik pada dataran medium sekitar 600 m dpl Hal ini merupakan salah satu kemajuan dari penelitian gandum di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, M. O., Z. Zaini, D. Sukma, K. Kariyasa, dan H. Kasim. 1993. Potensi dan prospek pengembangan terigu di Provinsi Timor Timur: Analisis Keunggulan Komparatif. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. 68 hal.
- Agri Xchange. 2016. Major importing countries of wheat. Comtrade, United Nations. Agriexchange.apeda.gov.in/product_profile/major-importing-countries. 15 Maret 2016.
- Al-Khatib, K. and G.M. Paulsen. 1990. Photosynthesis and productivity during high temperature stress of wheat cultivars from major world regions. *Crop Sci.* 30:1127-1132.
- Ashari, S., B. Waluyo, I. Yulianah, N. Kendarini and M. Jusuf. 2012. Stability of wheat genotypes adapted in tropical medium and lowland. *Agrivita* 34(1):1-9
- Azwar, R. 1984. Analysis of morpho-agronomic traits and genotype-environment interaction in wheat grown in the tropics. Unpublished Ph.D. Thesis. University of the Philippines at Los Banos, Philippines.
- Azwar, R., T. Danakusuma, dan A.A. Darajat, 1989. Prospek Pengembangan Terigu di Indonesia. *Dalam Risalah Simposium II Penelitian Tanaman Pangan*, Ciloto, 21-23 Maret 1988, Buku II, Hal 227-239. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan-Bogor.
- Cossani, C. M. and M. P. Reynolds. 2012. Physiological Traits for Improving Heat Tolerance in Wheat. *Plant Physiol.* 160:1710–1718
- Feldman, M. 1979. Wheat, *Triticum* spp. In *Evolution Crop Plant*. N.W. Simmonds (ed.). Longman, New York.

- Gutiérrez-Rodríguez, M., M.P. Reynolds, and A. Larqué-Saavedra. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. II: Traits associated with genetic gains in yield. *Field Crop Res.* 66:51-62.
- Heyne, K. 1927. De nuttige planten van Nederlandch Indie. II. 2e druk. p. 282-284. Dpt. Landbouw, Nijverheiden Handel. Buitenzorg.
- Jusuf, M., A. Kaher, D. Jamin, H. Bahar, Harmel, Asmaniar, L. Bahri, dan Dasmal, 1992. Penampilan Galur Harapan Terigu Punjab 81 dan Thai 88. *Dalam* Risalah Seminar Balitan Sukarami, Vol 1, hal 142-154
- Klages, K.H.W. 1958. Ecological Crop Geography. McMillan New York. 2nd Eds.
- Puslitbang Tanaman Pangan. 2009. Deskripsi varietas unggul palawija 1918-2009. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan.
- Puslitbang Tanaman Pangan. 2015. Deskripsi varietas unggul tanaman pangan 2009-2014. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan.
- Puspita, A.A.D. 2009. Analisis Daya saing dan Strategi Pengembangan Agribisnis Gandum Lokal di Indonesia. [Skripsi]. Bogor. Fakultas Ekonomi dan Manajemen Institut Pertanian Bogor.
- Saryono. 1992. Pola distribusi angin munson Timor di wilayah IBT. *Dalam* Prosiding Simposium Meterologi Pertanian III. Iklim, Teknologi dan Pembangunan Pertanian Berkelanjutan di Indonesia Bagian Timur. Perhimpunan Meterologi Pertanian Indonesia, Malang, 20-22 Agustus 1991. Hal 142-150.
- Sattar, M.A., and A.C. Gaur. 1989. Effect of Vamycorrhiza and phosphate dissolving microorganism on the yield and phosphorus uptake of wheat (*Triticum vulgare*) in Bangladesh. *Bangladesh J. Agric. Res.* 14(3):233-239.
- Shah, A.S., S.M. Shah, W. Mohammad, M. Shafi, H. Nawaz, S. Shehzadi, and M. Amir. 2010. Effect of integrated use of organic and inorganic nitrogen sources on wheat yield. *Sarhad J. Agric.* 26(4):559-563.
- Simanjuntak, B.H. 2002. Prospek Pengembangan Gandum (*Triticum aestivum* L) di Indonesia. Seminar Nasional Pengembangan Gandum. Direktorat Serelia-Direktorat Jenderal Bina Produksi Tanaman Pangan Departemen Pertanian, di Tosari, Pasuruan, Jawa Timur pada 3-5 September 2002.
- Zaini, Z., M. Jusuf, dan A. Kaher. 1991. Potential for Wheat Production in Indonesia. Pages 55-64 In Saunders, D.A. (ed). Wheat for the Nontraditional Warm Areas. A Proceeding of the International Conference, July 29 - August 1991, CYMMIT, Mexico D.F. UNDP-CIMMYT.
- Zaini, Z. 1995. Low external input sustainable agriculture. A case study of East Timor, Indonesia. Proc. Low External Input Sustainable Agriculture (LEISA) at PCARRD Los Banos, Laguna-Philippines. November 27-30, 1995.
- Zaini, Z., Erythrina, and K. Kariyasa. 1996. Low external input sustainable agriculture, Maubisse, East Timor, Indonesia. *IAARD Journal* 18(2):31-36.

Asal Usul dan Taksonomi Tanaman Gandum

Muhammad Azrai, Nining Nurini Andayani, dan A. Haris Talanca
Balai Penelitian Tanaman Serealia

PENDAHULUAN

Gandum (*Triticum spp*) merupakan bahan pangan serealia yang pertama kali dibudidayakan umat manusia, bersamaan dengan dimulainya usaha bercocok tanam dan memelihara hewan ternak seperti sapi dan biri-biri (Harlan 1992, Charmet 2011, Zohary and Hopf 2000). Fieldman *et al.* (1995) mengemukakan bahwa manusia telah melakukan budi daya gandum lebih awal daripada tanaman padi ataupun jagung. Saat ini, gandum telah menjadi pangan pokok di lebih dari 40 negara dan telah dikonsumsi oleh hampir seluruh penduduk dunia (Williams 1993). Gandum berkembang di wilayah subtropis dan mediteran seperti Rusia, Amerika Serikat, sebelah selatan Kanada, bagian utara sampai tengah China, Turki, India, dan Australia (Nevo *et al.* 2002).

Gandum pada awalnya diintroduksikan ke Indonesia awal abad XVIII pada masa pemerintahan kolonial Belanda. Selain Belanda, bangsa Portugis juga mengintroduksikan gandum untuk memenuhi kebutuhan pokok masyarakat Portugis yang tinggal di Pulau Timor. Di Indonesia, tanaman gandum dibudidayakan di daerah dengan ketinggian >900m dpl dengan suhu udara optimum rata-rata 22-24°C (Leonard dan Martin 1963).

Asal usul dan awal mula domestikasi tanaman gandum tidak diketahui secara pasti, dan terdapat berbagai macam penafsiran. Kajian aspek biologi dan arkeologi (fosil) sangat membantu menjelaskan asal usul dan awal mula domestikasi tanaman gandum oleh umat manusia. Budi daya gandum pada zaman prasejarah cepat berkembang karena sifat tanaman yang mampu menyerbuk sendiri, dan seiring dengan waktu, masyarakat telah mempunyai kemampuan melakukan seleksi sendiri untuk perbaikan hasil (Nevo *et al.* 2002).

Sejarah menunjukkan bahwa gandum merupakan salah satu tanaman penting sejak 7500 tahun sebelum masehi (Nestbitt 1999). Pada era tersebut gandum ditanam dalam jumlah terbatas di bagian tenggara Turki dan menyebar ke Jordania. Hasil penggalian arkeologi juga menunjukkan asal gandum di sekitar laut Mediterania dan Laut Merah, di wilayah Turki, Siria, Irak dan Iran pada tahun 7500-7300 SM (Weiss *et al.* 2006). Spesies gandum kuno kemudian menyebar ke benua Asia, Eropa, dan Amerika. Gandum memegang peranan penting dalam peradaban umat manusia karena merupakan sumber pangan. Lo Giudice dan Bongomono (2011) menyatakan bahwa gandum telah dibudidayakan oleh masyarakat China pada tahun 2700 sebelum masehi.

Penelitian dan pengembangan gandum secara internasional dilaksanakan oleh CIMMYT (*International Maize and Wheat Improvement Center*). Selain gandum, CIMMYT juga melakukan penelitian dan pengembangan jagung.

CIMMYT bekerja sama dengan sejumlah organisasi internasional yang saat ini menyimpan 40.000 aksesori *Triticeae* termasuk *bread wheat*, *durum wheat* dan *triticale* (gandum hasil persilangan dengan rye). Koleksi plasma nutfah gandum dikumpulkan dari berbagai benua dan digunakan untuk kegiatan pemuliaan untuk membentuk varietas unggul baru.

Tulisan ini membahas evolusi, awal penyebaran, taksonomi, dan variasi spesies tanaman gandum.

EVOLUSI TANAMAN GANDUM

Gandum yang banyak dibudidayakan saat ini adalah spesies modern yang telah mengalami evolusi panjang, yang dimulai sejak zaman prasejarah. Konstruksi genom gandum agak rumit, karena adanya spesies *Triticum* yang diploid (dua set kromosom), tetraploid (empat set kromosom) dan ada yang hexaploid (enam set kromosom). Proses evolusi awal gandum dimulai dari persilangan antara gandum diploid liar (*Triticum uartu*) dengan goat grass 1 (*Aegilops speltoides*). Persilangan gandum diploid liar ($2n = 2x = 14$) dengan genom AuAu mengalami proses hibridisasi yang memiliki genom B yang berkerabat dekat dengan goat grass ($2n = 2x = 14$) dengan genom BB sekitar 300.000-500.000 tahun yang lalu (Huang *et al.* 2002, Dvorak and Akhunov 2005).

Hibridisasi antara gandum diploid liar (AuAu) dengan goat grass 1 menghasilkan spesies baru, yaitu gandum emmer liar (*T. dicoccoides*) yang memiliki kromosom $2n = 4x = 28$, dengan genom AuAuBB (Dvorak *et al.* 1993). Hasil penggalian arkeologi menunjukkan gandum liar emmer di Israel dan Iran. Sekitar 10.000 tahun yang lalu, manusia telah mulai melakukan budi daya gandum emmer liar (Peng *et al.* 2011). Proses hibridisasi dan seleksi yang berlangsung secara alami maupun dengan campur tangan manusia menghasilkan generasi kedua spesies gandum baru, yaitu gandum durum atau macaroni (*Triticum durum*) dan spelt (*T. spelt*). *Triticum durum* diperoleh dari proses seleksi dan mutasi gandum emmer yang telah dibudidayakan. Gandum Spelt diperoleh dari proses hibridisasi antara emmer yang telah dibudidayakan dengan spesies goat grass (*Aegilops tauschii*), yang kemudian menghasilkan generasi awal gandum spelt (*T. spelta*) $2n = 6x = 42$ dengan genom AuAuBBDD.

Proses mutasi yang terjadi pada gandum spelt, setelah beratus generasi ditanam menghasilkan spesies gandum modern, yaitu *Triticum aestivum* ($2n = 42$ kromosom) dengan genom AABBDD. Spesies ini merupakan gandum yang paling banyak ditanam di dunia dan digunakan sebagai bahan baku roti, karena mempunyai kadar protein yang tinggi. Gandum ini mempunyai kulit luar berwarna cokelat, biji keras, setiap spikelet terdiri atas 2-5 butir bulir/biji, dan daya serap air tinggi (Charmet 2011). Selain spesies *Triticum aestivum*, gandum macaroni (*Triticum durum*) juga banyak ditanam saat ini, khususnya untuk bahan baku macaroni dan roti yang membutuhkan tepung gandum dengan daya mengembang yang rendah (Nevo *et al.* 2002).



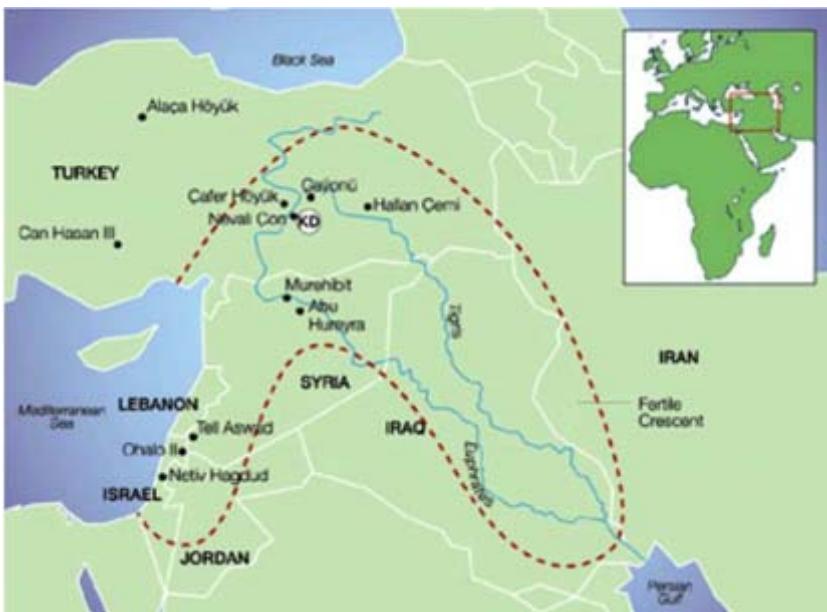
Gambar 1. Malai beberapa spesies gandum: A) emmer liar, B) emmer domestikasi, C) gandum durum, D) common wheat.

Sumber: Dubcovsky dan Dvocak (2007).

AWAL PENYEBARAN TANAMAN GANDUM

Domestikasi spesies tanaman merupakan hasil dari serangkaian proses seleksi dan adaptasi yang membuat tanaman menjadi lebih adaptif, dan kemudian dibudidayakan oleh manusia (Brown 2000). Kegiatan pertanian pada periode domestikasi dicirikan oleh perubahan pola hidup dari mengambil hasil alam secara berpindah menjadi pola bercocok tanam dan beternak. Hal ini telah dilakukan di Fertile crescent, wilayah berbentuk lekukan seperti bulan sabit yang subur yang meliputi wilayah Jordania, Lebanon, Turki, Syria, Irak, dan Israel pada 9600 sampai 8000 tahun sebelum masehi (Salamini *et al.* 2002). Berdasarkan proses evolusi tanaman gandum, hanya ditemukan dua jenis gandum yang didomestikasi dan diseleksi oleh manusia, yaitu gandum einkorn liar (diploid) dan emmer liar (tetraploid).

Budi daya gandum jenis einkorn liar pertama kali dilakukan di pegunungan Karacadag, di bagian tenggara Turki (Heun *et al.* 1997). Keberadaan spesies einkorn teridentifikasi pada zaman Neolitik pada tahun 8600 SM di Cayonu dan tahun 8400 SM di Abu Hureyra. Seiring waktu, spesies einkorn kemudian terseleksi secara alami dan mengalami pergantian okupasi wilayah oleh spesies gandum tetraploid dan hexaploid. Einkorn saat ini masih ditanam dalam luasan sangat terbatas, untuk dijadikan pakan ternak di beberapa negara mediteran (Nesbitt and Samuel 1996, Perrino *et al.* 1996).



Gambar 2. Wilayah fertile crescent yang merupakan awal mula domestikasi spesies gandum
Sumber: Charmet (2011).

Gandum jenis emmer liar awalnya ditemukan di selatan Levant, berdasarkan penemuan di Iran sekitar tahun 9600 SM (Colledge and Conolly 2007). Selanjutnya spesies ini dibudidayakan secara luas di wilayah lain, seperti Yunani, Ciprus dan India pada 6500 SM. Spesies ini kemudian meluas ke Jerman dan Spanyol pada 5000 SM. Masyarakat Mesir kuno telah mengembangkan produk roti dalam skala besar dengan bahan baku gandum (Diamond 1997).

Pada tahun 3000 SM atau 2000 SM, gandum telah masuk ke Inggris dan Skandinavia. Satu millennium kemudian atau tahun 2000 SM, gandum menyebar ke China. Di China, budi daya gandum telah dilakukan pada tahun 2700 SM. Gandum pertama kali masuk Amerika bagian utara seiring dengan perpindahan dari arah Spanyol dan Inggris pada abad ke-16.

Saat ini gandum telah menjadi tanaman penting di banyak negara, terutama di wilayah subtropics, yang dijadikan andalan untuk pemenuhan kebutuhan pangan. Luas tanam gandum dunia saat ini mencapai lebih dari 700 juta hektar (FAO 2013).

TAKSONOMI TANAMAN GANDUM

Tanaman gandum tidak hanya mempunyai kompleksitas dalam aspek genomik (diploid, tetraploid, hexaploid) tetapi juga mempunyai spesies yang sangat banyak. Hal ini menyebabkan pencatatan sejarah klasifikasi gandum lebih lambat dibandingkan dengan jagung dan sorgum.

Catatan sejarah menunjukkan bahwa yang pertama kali melakukan deskripsi tertulis tentang gandum adalah Linnaeus pada tahun 1753 (Clark and Bayles 1942). Linnaeus saat itu mendeskripsikan tujuh spesies gandum yaitu *T. aestivum*, *T. hybernium*, *T. turgidum*, *T. spelta*, *T. monococcum*, *T. repens* dan *T. caninum*. Linnaeus kemudian membagi common wheat menjadi dua spesies, yaitu spesies untuk musim semi (*T. aestivum*) yang dicirikan oleh adanya bulu (*awn*) dan spesies musim dingin (*T. hybernium*) dengan ciri bulu yang kurang (*awnless*).

Pada kurun waktu 1753-1866 tercatat sejumlah nama yang melakukan deskripsi gandum di antaranya Lamarks (1786), Villars (1787), Schrank (1789), Despontaines (1800), Seringe (1819), dan Metzger (1824) dengan melakukan penambahan spesies atau penggabungan beberapa spesies menjadi satu. Selanjutnya Heuze pada tahun 1827 mengklasifikasikan gandum kedalam tujuh spesies, dimana dari 700 spesies yang dikumpulkan, 602 di antaranya masuk ke dalam spesies *T. aestivum*, termasuk common wheat (Clark and Bayles 1942).

Selama periode 1850-1875, Koernieke bersama dengan Werner membuat sistem klasifikasi yang paling lengkap diantara sistem klasifikasi yang telah dibuat sebelumnya (Clark and Bayles 1942). Penggunaan bahasa latin telah diadopsi dalam penamaan grup botani gandum. Sistem klasifikasi Koernieke dan Werner juga menjelaskan dengan rinci tentang sejarah, sinonim, dan lokasi dimana spesies diperoleh. Spesies gandum yang diklasifikasikan adalah sebagai berikut: compactum (21 spesies), turgidum (26 spesies), durum (24 spesies), spelta (12 spesies), dicoccum (20 spesies), polonicum (21 spesies) dan monococcum (4 spesies). Flaksberger pada tahun 1935 melakukan studi yang lebih luas dengan mendeskripsikan asal dan klasifikasi spesies dan varietas gandum di seluruh dunia.

Diantara semua catatan sejarah klasifikasi tanaman gandum sebelumnya, sistem klasifikasi yang dibuat oleh Koernieke dan Werner pada tahun 1855 paling lengkap, yang selanjutnya menjadi dasar dalam pembuatan sistem klasifikasi modern. Pengembangan sistem klasifikasi modern berdasarkan jenis ploiditas gandum pada tahun 1920 yang kemudian membaginya ke dalam tiga tingkatan ploiditas (diploid, tetraploid dan heksaploid). Terdapat beberapa sistem klasifikasi yang banyak dipakai saat ini, namun sistem yang dipakai di tingkat internasional adalah monograf taksonomi tritikum yang dibuat oleh Dorofeev *et al.* (1979). Selain itu, sistem klasifikasi berbasis genetik dipopulerkan oleh Van Slageren pada tahun 1994.

Hierarki taksonomi tanaman gandum secara umum adalah :

Kingdom	: Plantae
Class	: Monocotyledoneae
Sub class	: Liliopsida
Ordo	: Poales
Family	: Poaceae
Sub family	: Pooideae
Tribe	: Triticeae
Genus	: Triticum
Species	: <i>T. aestivum</i>

Gandum termasuk kelas Monocotyledoneae (tumbuhan biji berkeping satu) dengan subclass Liliopsida, dari ordo Poales, yang dicirikan oleh bentuk tanaman ternal dengan siklus hidup semusim. Family poaceae atau lebih dikenal sebagai *Gramineae* (rumput-rumputan) memiliki ciri khas berakar serabut, batang berbuku, dan daun sejajar dengan tulang daun. Gandum merupakan tanaman serealia yang termasuk ke dalam family poaceae dengan tribe triticeae (Nevo *et al.* 2002).

VARIASI SPESIES GANDUM

Tanaman gandum setidaknya memiliki 23 spesies (Tabel 1). Data USDA (2002) menunjukkan tanaman gandum tidak hanya mempunyai kompleksitas dalam aspek genetik tanaman (diploid, tetraploid, hexaploid), tetapi juga mempunyai spesies yang sangat banyak sehingga menyulitkan dalam penamaannya. Secara umum penamaan spesies dibagi menjadi dua skema, (1) penamaan model sederhana/tradisional, dan (2) penamaan berdasarkan kekerabatan genetik (Tabel 2).

Dalam satu spesies gandum, peneliti maupun petani membagi lagi setiap kultivar berdasarkan waktu tanam, kandungan nutrisi, kualitas gluten dan warna biji sebagai berikut:

1. Berdasarkan waktu/musim tanam, yaitu gandum musim semi (spring wheat) dan gandum musim dingin (winter wheat) (Bridgwater and Aldrich 1966).
2. Berdasarkan kandungan protein/tekstur, gandum dibagi menjadi soft apabila kandungan protein 10%, dan hard apabila kandungan protein mencapai 15%.

Tabel 1. Kerabat spesies gandum berdasarkan penamaan tradisional.

No	Spesies	No	Spesies
1	<i>T. aestivum</i>	13	<i>T. macha</i>
2	<i>T. aethiopicum</i>	14	<i>T. militinae</i>
3	<i>T. araraticum</i>	15	<i>T. monococcum</i>
4	<i>T. boeticum</i>	16	<i>T. polonicum</i>
5	<i>T. chartlicum</i>	17	<i>T. spelta</i>
6	<i>T. compactum</i>	18	<i>T. sphaerococcum</i>
7	<i>T. dicoccoides</i>	19	<i>T. timopheevii</i>
8	<i>T. dicoccon</i>	20	<i>T. turanicum</i>
9	<i>T. durum</i>	21	<i>T. turgidum</i>
10	<i>T. ispananicum</i>	22	<i>T. urartu</i>
11	<i>T. karamyschevii</i>	23	<i>T. vavilovii</i>
12	<i>T. zhukovskyi</i>		

Sumber: Dorofeev *et al.*(1979)

Tabel 2. Kerabat spesies gandum berdasarkan taksonomi genetik.

No	Genome Nama		No	Genome Nama	
1	A ^m	<i>Triticum monococcum</i> L. subsp. <i>aegilopoides</i>	11	BA ^u	<i>Triticum turgidum</i> L. subsp. <i>turanicum</i>
2	A ^u	<i>Triticum urartu</i> Turmanian	12	BA ^u	<i>Triticum turgidum</i> L. subsp. <i>carthlicum</i>
3	A ^m	<i>Triticum monococcum</i> L. subsp. <i>monococcum</i>	13	GA ^m	<i>Triticum timopheevii</i> (Zhuk.) Zhuk. subsp. <i>armeniacum</i>
4	BA ^u	<i>Triticum turgidum</i> L. subsp. <i>dicoccoides</i>	14	GA ^m	<i>Triticum timopheevii</i> (Zhuk.) Zhuk. subsp. <i>timopheevii</i>
5	BA ^u	<i>Triticum turgidum</i> L. subsp. <i>dicoccum</i>	15	BA ^{uD}	<i>Triticum turgidum</i> L. subsp. <i>spelta</i> (L.)
6	BA ^u	<i>Triticum ispananicum</i> Heslot.	16	BA ^{uD}	<i>Triticum turgidum</i> L. subsp. <i>macha</i>
7	BA ^u	<i>Triticum turgidum</i> L. subsp. <i>paleocolcicum</i>	17	BA ^{uD}	<i>Triticum vavilovii</i>
8	BA ^u	<i>Triticum turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i>	18	BA ^{uD}	<i>Triticum aestivum</i> L. subsp. <i>aestivum</i>
9	BA ^u	<i>Triticum turgidum</i> L. subsp. <i>turgidum</i>	19	BA ^{uD}	<i>Triticum aestivum</i> L. subsp. <i>compactum</i>
10	BA ^u	<i>Triticum turgidum</i> L. subsp. <i>polonicum</i>	20	BA ^{uD}	<i>Triticum aestivum</i> L. subsp. <i>sphaerococcum</i>

Sumber: Aligari and Brandham (2001)

3. Berdasarkan kandungan gluten, gandum dibagi menjadi gandum roti (bread wheat) yang digunakan untuk adonan yang elastis, dan gandum durum yang umumnya tidak elastis dan digunakan untuk pasta (spageti, macaroni).
4. Berdasarkan warna biji, gandum dibagi menjadi merah, putih dan kuning. Warna merah muncul karena adanya zat fenolik pada lapisan kulit.

Spesies gandum yang paling banyak ditanam saat ini adalah *T. aestivum* dan *T. durum*. *T. aestivum* kadang-kadang juga disebut gandum roti, spesies gandum yang paling banyak ditanam di dunia (mencapai 95%) dan banyak digunakan sebagai bahan baku roti. Biji gandum juga dapat diolah untuk alkohol. Kulit luar (bran) gandum banyak digunakan sebagai bahan baku konsentrat pakan ternak. Gandum (*T. aestivum*) kaya vitamin E dan asam lemak esensial. Ciri-ciri gandum *T. aestivum* adalah mempunyai kulit luar berwarna cokelat, biji keras, dan daya serap air tinggi.

Gandum durum atau kadang-kadang disebut gandum macaroni (*T. durum*) adalah satu-satunya spesies tetraploid yang masih dibudidayakan saat ini. Negara penghasil gandum durum saat ini adalah Timur Tengah, Amerika Utara, dan Eropa Barat. Durum dalam bahasa latin berarti keras, dan spesies ini memiliki biji paling keras. Bagian endosperm gandum durum berwarna kuning dan memiliki kulit berwarna cokelat. Walaupun kandungan protein gandum durum sangat tinggi tetapi kadar glutennya rendah sehingga daya mengembangnya juga rendah. Oleh karena itu, gandum ini tidak digunakan

dalam pembuatan produk roti tetapi pada olahan yang berbentuk pasta seperti macaroni, spaghetti, dan produk pasta lainnya.

Gandum durum diolah menjadi berbagai macam produk olahan dan menjadi sumber pangan utama. Di Timur Tengah dan Afrika bagian utara, gandum durum diolah menjadi roti bulat berdiameter 20 cm dan bertekstur agak keras. Di Eropa, gandum durum digunakan untuk pizza. Di Amerika Serikat, gandum durum umumnya digunakan untuk spaghetti dan macaroni.

PENUTUP

Gandum merupakan salah satu jenis tanaman yang pertama kali di domestikasi oleh umat manusia pada sekitar 10.000 tahun yang lalu di wilayah Fertile crescent, meliputi Jordania, Lebanon, Turki, Syria, Irak dan Israel. Pada saat itu telah terjadi perubahan pola hidup umat manusia dari ladang berpindah menjadi pola bercocok tanam dan beternak.

Secara umum, gandum yang dibudidayakan manusia saat ini hanya dua jenis yaitu gandum roti (*T. aestivum*) yang meliputi 95% produksi gandum dunia dan gandum durum (*T. durum*) yang meliputi 5% dari produksi gandum dunia. Kedua spesies gandum tersebut telah mengalami proses evolusi yang panjang sejak zaman prasejarah. Proses evolusi tanaman gandum agak rumit karena faktor ploiditi, dimana adanya spesies diploid ($2n = 14$ kromosom), tetraploid ($2n = 28$ kromosom) dan hexaploid ($2n = 42$ kromosom). Faktor ploiditi sangat penting karena spesies dengan ploiditi yang sama mempunyai tingkat kekerabatan yang lebih dekat di bandingkan dengan ploiditi yang berbeda.

Jumlah spesies gandum saat ini tercatat 23 spesies. Pencatatan klasifikasi gandum dilakukan dengan dua cara, yaitu berdasarkan penamaan tradisional dan informasi genetiknya. Dalam satu spesies, gandum masih dibedakan lagi berdasarkan waktu tanam (musim dingin dan musim semi) kandungan nutrisi, kualitas gluten dan warna biji.

DAFTAR PUSTAKA

- Aligari, P.D.S. and P.E. Brandham (eds) (2001). Wheat taxonomy: the legacy of John Percival (Linnean Special Issue 3 ed.). London: Linnean Society. p. 190.
- Bridgwater, W. and B. Aldrich. 1966. The Columbia-viking desk encyclopedia. Columbia University. p. 1959.
- Brown. A. H. D. 2000. The genetic structure of crop landraces and the challenge to conserve them in situ on farms. In: Genes in the field: on-farm conservation of crop diversity (Eds). Brush S. B., p. 29-48. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Charmet, G. 2011. Wheat domestication: lessons for the future. Comptes Rendus Biologies 334 (2011): 212-220. Elsevier.

- Clark and Bayles. 1942. Classification of wheat varieties grown in the United States in 1949. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Colledge and J. Connelly. 2007. The origins and spread of domestic crops in Southwest Asia and Europe. Left Coast Press, Walnut Creek, California.
- Dubcovsky and Dvocak. 2007. Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication, Science 316:1862-1866.
- Dvorak, J., P. Terlizzi, H.B. Zhang, and P. Resta. 1993. The evolution of polyploid wheats: identification of the A genome donor species. Genome, 36:21-31.
- Dvorak, J. and E. Akhunov. 2005. Tempos of gene locus deletions and their relationship to recombination rate during diploid and polyploidy evolution in the *Aegilops-Triticum* alliance. Genetics 17: 323-332.
- Dorofeev, V.F., A.A. Filatenko, E.F. Migushova, R.A. Udachin, and M.M. Jakudzi. 1979. Wheat. Flora of cultivated plants. Vol. 1. Kolos. Leningrat, USSR.
- FAO. 2013. Statistical database of food crops. Food Agriculture Organization, Rome Italy. Electronic page <http://faostat.org>.
- Harlan, J.R. 1992. Crop and man. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America. Madison.
- Heun, M., R. Schäfer-Pregl, D. Klawan, R. Castagna, M. Accerbi, B. Borghi, and F. Salamini. 1997. Site of einkorn wheat domestication identified by DNA fingerprinting. Science 278:1312-1314.
- Huang, S., A. Sirikhachornkit, X. Su, J. Faris, B. Gill, R. Haselkorn and P. Gornicki. 2002. Genes encoding plastid acetyl-CoA carboxylase and 3-phosphoglycerate kinase of the *Triticum/Aegilops* complex and the evolutionary history of polyploid wheat. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 99: 8133-8138.
- Leonard, W.H. and T.H. Martin. 1963. Cereal crops. Mac Millan Co., New York.
- LoGiudice, P. and P. Bongiorno. 2011. Why you need wheat germ. <http://www.InnerSourceHealth.com>.
- Nestbitt, M. 1999. When and where did domesticated cereals first occur in southwest Asia?. In: R.T.J. Cappers & S. Bottema, (Eds.). The dawn of farming in the Near East. Studies in Early Near Eastern Production, Subsistence, and Environment 6, 2002 (1999). Berlin, ex oriente.
- Nesbitt, M. and D. Samuel. 1996. From staple crop to extinction? The archaeology and history of hulled wheats. In: Padulosi S, Hammer K, Heller J. (Eds.): Hulled wheats, promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 4: proceedings of the first international workshop on hulled wheats. Castelvecchio Pascoli, Tuscany.
- Nevo, E., A.B. Korol, A. Beiles, and T. Fahima. 2002. Evolution of wild emmer and wheat improvement: population genetics, genetic resources, and genome organization of wheat's progenitor, *Triticum dicoccoides*. Springer, Berlin. p. 364.
- Peng, J., D. Sun, and E. Nevo. 2011. Wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides*, occupies a pivotal position in wheat domestication. AJCS 5:1127-1143 Pogna NE, Autran JC, Mellini F.
- Perrino, P., G. Laghetti, L.F. D'Antuono, M. Ajlouni, M. Camberty, A.T. Szabo, and K. Hammer. 1996. Ecogeographical distribution of hulled wheat species. In: Hulled wheats. Proceedings of the first international workshop on Hulled Wheats, 21-22 July 1995, Castelvecchio Pascoli, Tuscany, Italy. S. Padulosi, K. Hammer and J.

- Heller. (Eds.): Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 4. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Salamini, F., H. Ozkan, A. Brandolini, R. Schafer-Pregl, and W. Martin. 2002. Genetics and geography of wild cereals domestication in the Near East, *Nat. Rev. Genet.* 3(2002):429-441.
- USDA. 2002. Wheat: genetic, market overview, policy and baseline. <http://ers.usda.gov/topics/crops/wheat/background.aspx>
- Williams, P.C. 1993. The world of wheat. In: *Grains and oilseeds: handling, marketing, processing*. Canadian International Grains Institute, Winnipeg, Manitoba, Canada. p. 557-602.
- Weiss, E., M.E. Kislev, and A. Hartmann. 2006. Autonomous cultivation before domestication. *Science* 312:1608-1610.
- Zohary, D. and M. Hopf. 2000. Domestication of plants in the old world. Oxford University Press, Oxford.

Struktur dan Komposisi Biji dan Nutrisi Gandum

Suarni
Balai Penelitian Tanaman Serealia

PENDAHULUAN

Gandum (*Triticum aestivum* L.) merupakan tanaman serealia dari famili Poaceae (Gramineae) yang berasal dari daerah subtropis. Keragaman penggunaan, kandungan nutrisi, komponen pangan fungsional dan kualitas penyimpanannya yang tinggi menjadikan gandum sebagai bahan makanan pokok lebih dari sepertiga populasi dunia (Porter 2005). Gandum atau terigu merupakan bahan baku produk makanan olahan seperti: roti, mie, pasta, pizza, biskuit dan lainnya (Bushuk and Rasper 1994).

Kebutuhan gandum sebagai bahan baku produk makanan olahan di Indonesia semakin meningkat. Konsumsi terigu nasional naik 8,8% pada tahun 2010 dibanding tahun lalu, yaitu 2,37 juta ton pada tahun 2009 menjadi 2,93 juta ton pada tahun 2010 (Bogasari 2011). Masyarakat Indonesia mengonsumsi terigu dalam berbagai produk olahan, tetapi belum memproduksi gandum, sehingga harus mengimpornya dalam jumlah besar dari negara pengekspor, termasuk Australia, Amerika Serikat, dan Rusia.

Penelitian di Indonesia menunjukkan gandum yang dibudidayakan di dataran tinggi memberikan hasil lebih dari 3,0 t/ha, dan menurun di dataran rendah. Evaluasi terhadap galur-galur introduksi dan juga seleksi dari populasi bersegregasi (Dahlan *et al.* 2003a). Di Malino pada ketinggian 1350 m dpl, gandum memberikan hasil 3-5 t/ha (Hamdani *et al.* 2002, Dahlan *et al.* 2003b). Di Boyolali 675 m dpl, gandum hanya memberikan hasil 0,71-2,34 t/ha. Hasil gandum di dataran tinggi pun bervariasi, bergantung pada kondisi lingkungan tumbuh, seperti curah hujan (Betty dan Dahlan 1989), kesuburan tanah, temperatur, dan serangan hama dan penyakit (Azwar *et al.* 1988 *dalam* Hamdani *et al.* 2002). Cekaman panas pada fase akhir pertumbuhan sering menjadi faktor pembatas produksi gandum di beberapa negara (Yang *et al.* 2002).

Mutu gandum bergantung pada jenis gandum dan lingkungan tumbuh yang dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu gandum keras (*hard wheat*) dan gandum lunak (*soft wheat*). Di daerah yang mempunyai dua musim terdapat gandum musim panas (*hard spring*) dan gandum musim dingin (*hard winter*). Gandum merah (*soft red wheat*) dan gandum putih (*white wheat*) dikelompokkan sebagai gandum lunak.

Biji gandum memiliki kandungan gizi yang cukup tinggi, diantaranya karbohidrat 60-80%, protein 10-20%, lemak 2-2,5%, mineral 4-4,5% dan sejumlah vitamin lainnya (Pomeranz 1971, Šramková *et al.* 2009). Dalam pembuatan makanan, hal yang harus diperhatikan ialah ketepatan penggunaan jenis tepung terigu. Tepung terigu dengan kandungan protein 12-14% ideal untuk bahan

baku roti dan mie, 10,5-11,5% untuk biskuit, pastry/pie dan donat. Untuk gorengan, cake, dan wafer dapat menggunakan gandum dengan kadar protein 8-9%. Jadi, semua tepung terigu belum tentu sesuai dengan produk makanan yang akan dibuat (Bogasari 2011). Keunggulan mutu protein terigu adalah kemampuan membentuk gluten yang diperlukan untuk berbagai produk terutama roti, mie, dan cake. Sifat fisikokimia spesifik tersebut tidak dimiliki oleh tepung serealia lainnya. Tulisan ini memaparkan struktur dan komposisi biji dan nutrisi gandum.

STRUKTUR DAN KOMPOSISI BIJI GANDUM

Biji gandum terdiri atas tiga bagian, yaitu lembaga (germ), endosperm, dan dedak (Eliasson and Larsson 1993). Susunan alami biji gandum adalah dedak 15% (epidemis, epicarp, endocarp, testa dan lapisan aleuron), germ 2,5%, dan endosperm 82,5% (US Wheat Assosiates 1981). Komposisi tersebut mendekati hasil penelitian Belderok *et al.* (2000) yang melaporkan biji gandum terdiri atas germ 2-3%, dedak 13-17%, dan endosperm 80-85% basis kering. Komposisi kimia biji gandum disajikan pada Tabel 1.

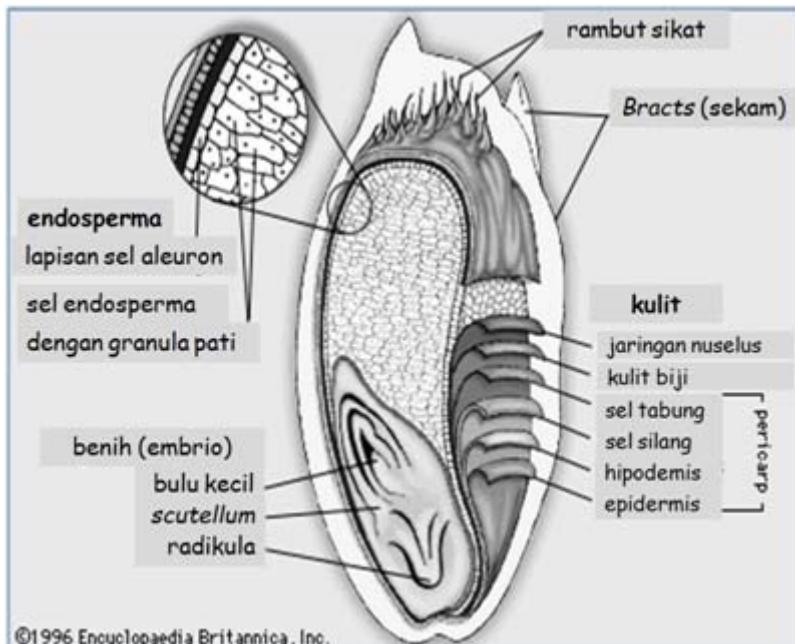
Protein biji gandum terkonsentrasi pada bagian germ sekitar 23%, sedangkan lemak relatif tinggi sekitar 10%, walaupun proporsi dari biji utuh gandum hanya 2-3%. Proporsi endosperm pada biji utuh gandum 80-85%, tidak mengandung lemak, protein hanya 7%. Pada bagian ini kadar karbohidrat biji gandum sekitar 79%. Bagian dedak dengan proporsi 13-17% mengandung protein 16%, lemak 3%, karbohidrat sekitar 63%. Terlihat dedak biji gandum masih mengandung gizi tinggi, hal ini berhubungan dengan proses biji gandum menjadi tepung terigu. Komponen gizi tepung gandum relatif berkurang dari biji utuh, karena terkikis dan sebagian berada dalam limbah dedak (Tabel 1).

Morfologi biji gandum umumnya terdiri atas kernel berbentuk oval dengan panjang 6-8 mm dan diameter 2-3 mm, memiliki tekstur yang keras seperti serealia lainnya. Biji gandum memiliki tiga komponen penting (Gambar 1).

Tabel 1. Komposisi kimia bagian biji gandum.

Struktur	Proporsi (%)	Protein (%)	Lemak (%)	Karbohidrat (%)
Biji utuh*	-	10-20	2 -2,5	65-80
Dedak**	13-17	16	3	63
Endosperm**	80-85	7	0	79
Germ**	2-3	23	10	52
Tepung gandum**	80-82	13,7	1,87	72,57

Sumber: Pomeranz (1971), Šramková *et al.* (2009)*, Olsen (2007)**
<https://en.wikipedia.org/wiki/endosperm>, https://en.wikipedia.org/wiki/wheat_flour



Gambar 1. Struktur Biji gandum (Encyclopaedia Britannica, <http://www.britannica.com>)

Komponen pertama adalah kulit luar (bran), merupakan kulit luar gandum dengan proporsi 14,5% dari total keseluruhan biji gandum. Bran terdiri atas lima lapisan, yaitu epidermis (3,9%), epikarp (0,9%), endokarp (0,9%), testa (0,6%), dan aleuron (9%). Bran memiliki granulasi yang lebih besar dibanding pollard, memiliki kandungan protein dan kadar serat tinggi sehingga baik dikonsumsi ternak besar. Komponen serat kasar pada dedak gandum didominasi oleh arabino-xylan 66,5% dan selulosa 15% (Lu *et al.* 2000). Jaroni *et al.* (1999) melaporkan konsumsi ransum yang tinggi serat (β -glucan dan arabino-xylan) akan meningkatkan kekentalan digesta sehingga laju digesta dalam saluran pencernaan menurun yang berakibat turunnya konsumsi ransum. Oleh sebab itu, dedak gandum sesuai untuk pakan ternak besar, tetapi untuk ransum unggas sebaiknya diberi perlakuan pengolahan sebelum digunakan. Perlakuan enzim kasar asal *A. niger* dan *T. viride* pada dedak gandum dapat menurunkan kandungan serat kasar dan meningkatkan nilai energi metabolismis dedak. Penggunaan dedak gandum hasil olahan enzim kasar dalam ransum dapat memberikan pengaruh terhadap konversi ransum ayam broiler (Ramli *et al.* 2005).

Epidermis merupakan bagian terluar biji gandum, mengandung banyak debu yang apabila terkena air akan menjadi liat dan tidak mudah pecah (Belderok *et al.* 2000). Fenomena ini yang dimanfaatkan pada penggilingan gandum menjadi tepung terigu agar lapisan epidermis yang terdapat pada biji

gandum tidak hancur dan tidak mengotori tepung terigu yang dihasilkan. Kebanyakan protein yang terkandung dalam bran adalah protein larut (albumin dan globulin).

Komponen kedua adalah endosperma (endosperm), merupakan bagian terbesar dari biji gandum (80-83%) yang banyak mengandung protein, pati, dan air. Pada proses penggilingan, bagian ini akan diubah menjadi tepung terigu dengan tingkat kehalusan tertentu. Pada bagian ini terdapat zat abu yang kandungannya akan semakin kecil jika mendekati inti dan akan semakin besar jika mendekati kulit.

Komponen ketiga adalah lembaga (germ), terdapat pada biji gandum dengan proporsi 2,5-3%. Lembaga merupakan cadangan makanan yang mengandung banyak lemak dan terdapat bagian yang selnya masih hidup, bahkan setelah pemanenan. Di sekeliling bagian yang masih hidup terdapat sedikit molekul glukosa, mineral, protein, dan enzim. Pada kondisi yang lembab akan terjadi perkecambahan, yaitu biji gandum akan tumbuh menjadi tanaman yang baru (Kent 1966). Perkecambahan merupakan salah satu hal yang harus dihindari pada tahap penyimpanan biji gandum. Perkecambahan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya kondisi kelembaban yang tinggi, suhu yang relatif hangat, dan kandungan oksigen yang tinggi (Singh and Singh 2001).

Intisari gandum adalah lembaga yang merupakan embrio pada tanaman gandum dengan warna cokelat keemasan dan berbentuk serpihan (Shellenberger 1971). Murtini *et al.* (2005) yang menginformasikan dari hasil penelitiannya, bahwa bila berat biji gandum lebih besar maka kandungan endosperm tinggi dan tepung yang dihasilkan lebih banyak. Pada produksi tepung terigu, intisari gandum sering kali dihilangkan pada saat proses pemurnian biji. Manfaatnya adalah untuk mengantisipasi kandungan minyak nabati yang tinggi pada intisari gandum, sehingga menghilangkannya akan mencegah tepung terigu tidak mudah teroksidasi, tidak cepat tengik, dan memperpanjang umur simpan.

KOMPOSISI GIZI BIJI GANDUM

Komposisi kimia termasuk komponen proksimat gandum relatif tidak berbeda dengan serealia lainnya. Informasi komposisi kimia proksimat gandum cukup banyak tersedia. Keragaman data pada masing-masing komponen gizi dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan pertanaman (Pomeranz 1971). Secara umum, pengaruh suhu tinggi terhadap perkembangan bulir pada serealia termasuk gandum meliputi laju perkembangan bulir yang lebih cepat, penurunan bobot bulir, biji keriput, berkurangnya laju akumulasi pati, perubahan komposisi lipid dan polipeptida (Stone 2001). Komposisi kimia proksimat sejumlah galur dan varietas gandum yang telah dilepas Badan Litbang Pertanian (Nias, Dewata, dan Selayar) disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi gizi gandum beberapa varietas/galur gandum.

Varietas/galur	Protein (%)	Lemak (%)	Abu (%)	Air (%)	Karbohidrat (%)
KAUZ / RAYON	15,09	1,42	1,83	11,9	69,76
FANGGO / SERI	14,76	1,48	1,70	12,0	70,06
Altar 84/AE-sq.(219)3* ESDA	14,22	1,41	1,53	11,2	71,64
IAS 62/ALDAN*S KAUZ	14,69	1,61	1,69	12,0	70,01
CBD-16	14,13	1,76	1,81	12,7	69,60
CBD- 17	15,64	1,30	1,71	12,2	69,15
CBD- 20	14,03	1,38	1,73	11,3	71,56
CBD- 23	14,85	1,82	1,80	11,8	69,73
CPN-01	14,60	2,51	1,54	12,4	68,95
DEWATA	14,49	1,81	1,74	11,8	70,16

Sumber: Suarni dan Hamdani (2009)

Kadar Abu

Rata-rata kadar abu galur/varietas gandum 1,70% dengan kisaran 1,54-1,83%, terendah pada CPN-01 dan tertinggi pada Kauz/Rayon. Komponen abu merupakan sumber mineral pada bahan pangan, tetapi pada kadar tinggi berpengaruh terhadap tampilan warna tepung terigu yang dihasilkan (Winarno 2002). Kadar abu pada biji gandum akan turun dalam prosesing menjadi tepung terigu. Misalnya pada varietas Dewata, dari 1,54% pada biji turun menjadi 0,67% setelah jadi tepung terigu. Pada varietas Nias, 1,36% dari biji menjadi 0,66% setelah jadi tepung terigu. Pada varietas Selayar, 1,58% dari biji menjadi 0,57% setelah jadi tepung terigu. Hal ini disebabkan kandungan mineral/abu terkonsentrasi 60-65% pada aleuron layer, sisanya pada endosperm. Pada saat prosesing, bagian aleuron terikis terikis terikut menjadi limbah. Sejumlah galur/varietas gandum menunjukkan beragam kadar protein, abu, lemak dan berat gluten (Tabel 3).

Protein

Kadar protein galur/varietas gandum yang diteliti berkisar antara 12,7-16,8%, terendah pada galur PICUS/4/CS5A dan tertinggi pada galur BAW 898 (Suarni dan Hamdani 2009). Kadar abu berkisar antara 1,4-2,6, terendah pada varietas Dewata dan tertinggi pada galur PASTOR/2*SITTA. Tingginya kadar abu galur/varietas gandum tersebut menunjukkan tingginya kandungan mineralnya. Kandungan lemak galur/varietas gandum berkisar antara 1,44-2,05%, terendah pada galur KAUZ/WEAVER dan tertinggi pada galur VEE/PJN//2*TUI. Berat gluten gandum berkisar antara 25,2-41,4%, terendah pada galur W462/VEE/KOEL/3/PEG/MRL/BUC dan tertinggi pada galur PFAU/WEAVER.

Kadar protein biji gandum dengan varietas yang sama menunjukkan konsentrasi yang berbeda, hal ini dapat diakibatkan perbedaan iklim, kondisi lahan, pertumbuhan yang kurang optimal. Sehubungan dengan hal tersebut, kadar protein varietas Selayar dan Dewata lebih rendah dibanding hasil penelitian di atas (Sihotang *et al.* 2015). Sebelumnya Murtini *et al.* (2005) meneliti protein

Tabel 3. Kadar abu, protein, dan gluten sejumlah galur/varietas biji gandum.

Galur/varietas	Abu (%)	Protein (%)	Gluten (%)
DEBEIRA	1,6	12,8	26,4
BAW 898	1,7	16,8	36,1
KANCHAN	1,8	15,5	33,7
HP 1731	1,6	14,1	28,3
HP 1744	1,8	15,8	36,4
VEE/PJN//2*TUI	1,5	14,4	32,0
PFAU/WEAVER	1,6	15,8	41,3
CAZO/KAUZ//KAUZ	1,6	14,2	34,8
WL 6718//2*PRL/VEE #6	1,5	14,3	29,6
W462/VEE/KOEL/3/PEG/MRL/BUC	1,5	13,7	27,8
OASIS/SKAUZ//4*BCN	1,6	14,8	31,2
KAUZ/WEAVER	1,7	14,8	28,9
KAUZ*2/BOW/KAUZ	1,5	15,4	32,0
TAM 2001 TUI	1,7	14,0	29,2
W462/VEE/KOEL/3/PEG/MRL/BUC	1,7	12,4	25,2
LAJ3302/2*MO88	2,0	15,3	28,3
PASTOR/2*SITTA	2,6	16,0	32,4
PICUS/4/CS5A	2,1	11,3	25,6
OASIS/KAUZ//4*BCN	1,7	12,7	26,2
OPATA/RAYON//KAUZ	1,7	13,2	26,7
OASIS/STAR/3*STAR	1,7	14,1	30,8
KAUZ*2//SAP/MON/B/KAUZ	1,7	13,4	28,5
RAYON F 89	2,0	14,3	31,9
KAUZ*2/BOW//KAUZ	1,9	13,4	29,1
SELAYAR	1,6	13,6	31,4
NIAS	1,4	12,9	31,1
DEWATA	1,7	14,5	31,0

Sumber: Suarni dan Hamdani (2009).

biji gandum varietas Selayar, Nias dan Dewata tidak beda jauh dengan hasil penelitian Suarni dan Hamdani (2009).

Protein merupakan salah satu cadangan makanan yang terdapat dalam biji gandum dan banyak terdapat di bagian endosperm biji. Protein berguna menunjang pertumbuhan biji selama proses berkecambah, sehingga jenis protein yang dibutuhkan selama proses perkecambahan adalah protein terlarut (dapat dihidrolisis dengan mudah oleh protease). Biji gandum mengandung beberapa jenis protein penting, yaitu albumin, globulin, gliadin, dan prolamin, yang tersimpan pada endosperm sebagai cadangan makanan dan sewaktu-waktu dirombak untuk proses perkecambahan (Sramkovaa *et al.* 2009).

Kandungan protein merupakan salah satu tolok ukur yang sangat penting untuk mengetahui katagori gandum. Pada biji gandum terkandung protein 10-20%. Rata-rata kadar protein biji gandum yang diteliti adalah 14,65%, dengan kisaran 14,03-15,64%, tertinggi pada CBD-17 dan terendah pada CBD-20 (Tabel 2). Angka ini relatif sama dengan kadar protein gandum varietas Selayar, Nias, dan Dewata berkisar antara 12,9-14,5% (Tabel 3).

Tabel 4. Komposisi asam amino penyusun protein terigu dan tepung sorgum.

Asam amino	Terigu (%)	Sorgum (Isiap Dorado) (%)
Alanin	0,49	0,85
Arginin	0,73	0,32
Asam aspartat	0,56	0,69
Asam glutamat	3,83	1,58
Glisin	0,56	0,26
Isoleusin	0,43	0,28
Lisin	0,38	0,18
Fenilalanin	0,61	0,27
Prolin	1,51	0,29
Serin	0,32	0,38
Treonin	0,36	0,15
Tirosin	0,39	0,22
Valin	0,55	0,49
Leusin	0,88	1,39

Sumber: Suarni (2004).

Perubahan kadar protein dari biji gandum menjadi tepung terigu relatif kecil. Misalnya varietas Dewata, dari 14,0% pada biji menjadi 13,7% pada tepung terigu. Pada varietas Selayar dari 13,6% pada biji menjadi 13,1% pada tepung terigu. Pada varietas Nias dari 12,9% pada biji menjadi 13,4% pada tepung terigu (Tabel 3). Perubahan komposisi nutrisi biji gandum setelah menjadi tepung terigu akibat proses penepungan, sehingga kehilangan kandungan serat pangan, fitosterol pada produk tepung terigu (Pomeranz 1971). Perubahan komposisi protein dan nutrisi lainnya terjadi sejak fase pengisian biji hingga panen, dan umur panen berpengaruh terhadap kadar protein biji (Daniel and Triboi 2002).

Salah satu faktor yang menentukan mutu protein bahan pangan adalah komponen asam amino penyusunnya. Kandungan asam amino esensial relatif lebih tinggi pada terigu dibanding tepung sorgum (Tabel 4). Pada terigu, asam amino lisin 0,38%, lebih tinggi dibanding tepung sorgum yang hanya 0,18%. Kadar asam amino fenilalanin tepung terigu adalah 0,61%, lebih tinggi dibanding tepung sorgum dengan kadar 0,18%. Kadar prolin pada terigu adalah 1,51%, lebih tinggi dari tepung sorgum yang hanya 0,29%.

Kadar asam glutamat terigu adalah 3,83%, lebih tinggi dibanding tepung sorgum yang hanya 1,58%. Meskipun asam glutamat bukan termasuk asam amino esensial, namun berpengaruh terhadap sifat sensori produk olahan, terutama dari segi rasa. Hal ini ditunjukkan oleh hasil uji organoleptik dari segi rasa roti tawar dengan bahan tepung sorgum yang hanya dapat mensubstitusi terigu hingga 20% (Suarni dan Patong 2002).

Dalam pembuatan makanan, hal yang perlu diperhatikan adalah ketepatan penggunaan jenis tepung terigu. Tepung terigu dengan kadar protein 12-14% ideal untuk bahan roti dan mie, 10,5-11,5% untuk biskuit, pastry dan donat, sedangkan untuk gorengan, cake dan wafer sebaiknya dengan kadar protein 8-9%.

Lemak

Lemak dalam bahan makanan merupakan komponen esensial yang dibutuhkan tubuh, tetapi berpengaruh terhadap umur simpan bahan pangan tersebut. Biji gandum mengandung lemak 2-2,5% (bk) dengan konsentrasi berkisar antara 25-30% pada bagian germ (Winarno 2002, Didin 2008). Kisaran kadar lemak 1,82-2,51% dengan rata-rata 1,65 (Tabel 2). Lemak biji gandum terdiri atas campuran trigliserida, yaitu senyawa gliserol dan tiga asam lemak berupa fosfatidikolin kolin, etanolamin fosfatidikolin, dan fosfatidikolin serin, serta 32 turunan lyosophosphatidyl, di mana ada satu grup hidroksil bebas pada bagian gliserol. Komposisi lemak gandum sangat berpengaruh pada kualitas tepung. Biji gandum yang berkualitas tinggi antara lain memiliki kandungan lemak yang rendah. Biji gandum yang dikecambahkan selama beberapa jam akan menghasilkan tepung rendah lemak dan dapat digunakan sebagai makanan diet. Dalam keadaan tertentu, biji gandum perlu dikecambahkan untuk menghasilkan tepung rendah lemak yang diolah menjadi makanan diet. Selain itu, selama proses tersebut terjadi penurunan kandungan senyawa antinutrisi, seperti tripsin inhibitor, tanin, pentosan, dan asam fitat (Handoyo *et al.* 2006, Handoyo 2008). Perkecambahan selama beberapa jam menyebabkan menurunnya kandungan lemak pada biji gandum DNS 14 (jenis Dark Northen Spring). Kandungan lemak tertinggi terdapat pada tanpa perkecambahan (kontrol) sebesar 2,11% dan terendah pada lama perkecambahan 32 jam yaitu 1,84% (Indaryati 2011). Selama perkecambahan, lemak terhidrolisis menjadi asam lemak dan gliserol dengan bantuan enzim lipase. Menurut Pranoto *et al.* (1990), hasil perombakan lemak berupa asam lemak bebas dan gliserol kemudian dipindahkan ke embrio. Menurut Miyake *et al.* (2004), perkecambahan dapat menurunkan kadar lemak pada *buck wheat* dan gandum. Semakin lama waktu perkecambahan, semakin berkurang ketersediaan lemak dalam biji gandum.

Bagian lembaga biji gandum mengandung protein dan lemak bermutu tinggi sebagai pangan fungsional (Matz 1992). Lemak lembaga gandum terdapat pada komponen fitosterol 1,3-1,7% (Formo *et al.* 1979). Marliyati *et al.* (2005) telah mengekstrak lemak lembaga gandum dengan nisbah pelarut heksan : etanol 1:3 (v/v) dengan rendemen 15,8%. Mengekstrak komponen fitosterol dari lemak tersebut menghasilkan rendemen tertinggi dengan nisbah pelarut heksan : etanol 82:18 (v/v) yaitu 1,37% atau 11,70% terhadap lipida. Suplementasi sterol lembaga gandum ke dalam margarin dapat mengimbangi kolesterol yang terkandung dalam bahan makanan tersebut (Marliyati *et al.* 2010).

Fitosterol mempunyai sifat antiaterogenik, sehingga mengonsumsi fitosterol dalam jumlah yang banyak dapat menekan penyerapan kolesterol dalam tubuh sehingga akan meningkatkan ekskresinya (Hui 1996). Intervensi secara klinis menunjukkan kadar kolesterol total dan LDL (Low Density Lipid) dapat mencegah penyakit jantung koroner (Cleghorn *et al.* 2003).

Karbohidrat

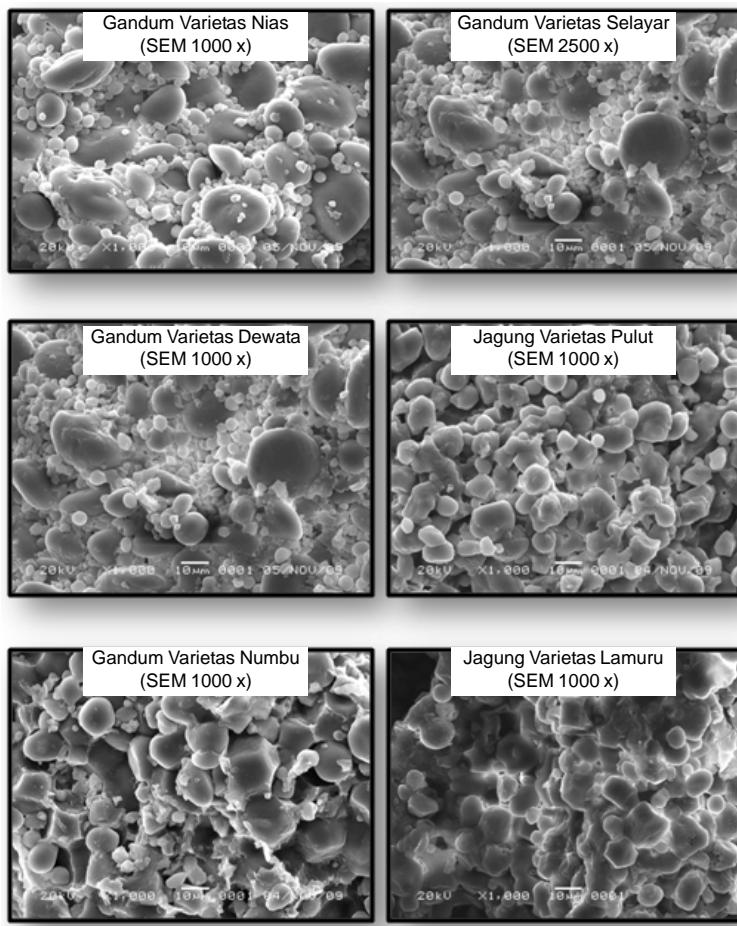
Gandum merupakan komoditas serealia sumber karbohidrat. Sebagian besar komposisi karbohidrat gandum adalah pati. Gandum dan serealia lainnya menyimpan energi dalam bentuk pati. Jumlah pati yang terkandung dalam sebutir gandum bervariasi antara 60-75% dari total bobot kering. Kekurangan pati gandum adalah tidak dapat diekstrak seperti pati jagung dan sorgum, karena matriks proteininya sangat kuat, bahkan membentuk gluten yang apabila ditambahkan air.

Pati gandum terbentuk pada benih dalam bentuk butiran, memiliki dua jenis granula pati, besar (25-40 μm) lenticular dan kecil (5-10 μm) yang bulat. Menurut Stoddard (1999), pati dengan ukuran granula yang kecil baik untuk dijadikan bahan baku makanan. Pati gandum dengan ukuran granula yang sempit atau seragam akan menghasilkan produk yang lebih baik. Granula lenticular terbentuk selama 15 hari pertama setelah penyerbukan. Butiran kecil, representating sekitar 88% dari total butiran, muncul 10-30 hari setelah penyerbukan (Belderok *et al.* 2000). Glenn dan Saunders (1990) mengamati bentuk dan ukuran granula pati gandum menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) beberapa genotipe gandum. Hasilnya terdapat perbedaan ukuran, tetapi hanya memiliki dua jenis granula pati.

Ukuran granula pati gandum, jagung, dan sorgum dengan menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 2. Terlihat perbedaan bentuk dan ukuran antara granula pati terigu, pati jagung dan pati sorgum. Bentuk granula pati varietas gandum Selayar, Nias, dan Dewata relatif sama, hanya ukurannya yang berbeda (Suarni *et al.* 2009).

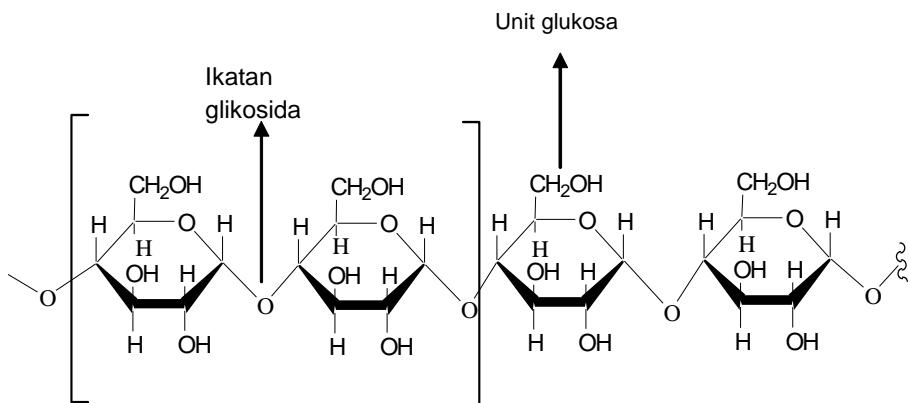
Secara kimiawi, pati merupakan polimer glukosa yaitu amilosa dan amilopektin. Pati gandum yang normal biasanya mengandung 20-30% amilosa dan 70-80% amilopektin (Belderok *et al.* 2000, Suarni dan Hamdani 2009). Pati biji gandum terbentuk dari dua jenis polimer glukosa yaitu amilosa dan amilopektin (Satorre and Slafer 1999). Amilosa merupakan rantai unit-unit D-glukosa yang panjang dan tidak bercabang, digabungkan oleh ikatan $\alpha(1 \rightarrow 4)$, sedangkan amilopektin memiliki struktur bercabang. Ikatan glikosidik yang menggabungkan residu glukosa yang berdekatan dalam rantai amilopektin ialah ikatan $\alpha(1 \rightarrow 6)$, tetapi titik percabangan amilopektin merupakan ikatan $\alpha(1 \rightarrow 6)$.

Bobot molekul amilosa dan amilopektin bergantung pada asal sumber botaninya. Amilosa merupakan komponen dengan rantai lurus, sedangkan amilopektin adalah komponen dengan rantai bercabang. Amilosa merupakan polisakarida berantai lurus berbentuk heliks dengan ikatan glikosidik α -1,4 (Gambar 3). Jumlah molekul glukosa pada rantai amilosa bervariasi antara 250-350 unit. Amilopektin merupakan polisakarida bercabang dengan ikatan glikosidik α -1,4 pada rantai lurus dan ikatan α -1,6 pada percabangan (Gambar 4). Titik percabangan amilopektin lebih banyak dibanding amilosa (Dziedzic and Kearsley 1995).

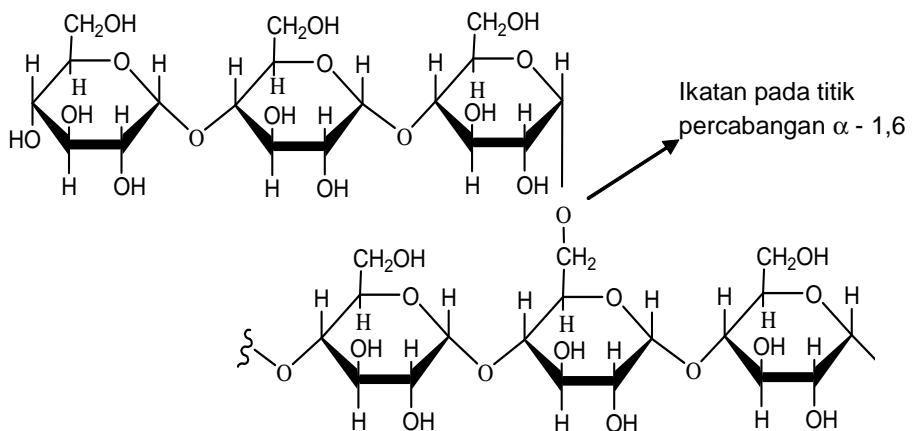


Gambar 2. Bentuk dan ukuran granula pati gandum, jagung, dan sorgum
Sumber: Suarni *et al.* (2009).

Salah satu komponen karbohidrat gandum yang bersifat pangan fungsional adalah serat pangan yang sampai saat ini paling banyak digunakan dalam makanan fungsional. Serat dedak gandum dan gum adalah contoh serat makanan yang sering ditambahkan ke dalam makanan fungsional. Serat makanan yang larut dalam air seperti *polydextrose* digunakan dalam minuman fungsional. Manfaat fisiologis produk yang diberi serat makanan antara lain mengatur fungsi-fungsi usus, mencegah penyakit *divertikulosis*, *konstipasi*, mengendalikan kolesterol darah, mengatur kadar gula darah, mencegah obesitas dan mengurangi risiko kanker kolon (Irawan dan Wijaya 2002). Keberadaan serat makanan dalam menu sehari-hari dapat menjaga dan meningkatkan fungsi saluran cerna serta menjaga kesehatan tubuh, terutama untuk menghindari berbagai penyakit degenaratif, seperti obesitas, diabetes melitus, dan penyakit kardiovaskuler (Sardesai 2003).



Gambar 3. Rumus struktur amilosa (Dziedzic and Kearsley 1995).



Gambar 4. Rumus struktur amilopektin (Dziedzic and Kearsley 1995).

Berdasarkan kemampuannya untuk larut dalam air, serat makanan dikelompokkan ke dalam serat larut (*soluble fiber*) dan serat tidak larut (*insoluble fiber*). Serat larut meliputi pektin, gum, α -glukan, selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Wildman 2000). Diperkirakan sepertiga serat makanan total (*total dietary fiber/TDF*) adalah serat makanan larut, sedangkan yang terbanyak adalah serat tidak larut (Gordon 1989). Nilai kecukupan asupan serat makanan yang dianjurkan untuk orang Indonesia dewasa adalah 20-35 g/hari. Walaupun nilai kecukupan yang dianjurkan cukup tinggi, hasil survei menunjukkan asupan rata-rata serat makanan orang dewasa Indonesia hanya 10,5 g/hari (Direktorat Gizi Masyarakat 2000).

Mineral dan Vitamin

Bahan makanan yang dikonsumsi termasuk terigu kekurangan zat besi, Zn, dan pro. vit A (Sramkovaa *et al.* 2009). Rodriguez *et al.* (2011) menginformasikan bahwa biji gandum memiliki kandungan mineral fosfor (2370 ± 333 mg/kg), natrium (102 ± 52 mg/kg), kalium (4363 ± 386 mg/kg), kalsium (351 ± 62 mg/kg), magnesium (1163 ± 155 mg/kg), besi ($40,0 \pm 5,5$ mg/kg), tembaga ($2,68 \pm 0,93$ mg/kg), seng ($32,1 \pm 2,9$ mg/kg), mangan ($22,1 \pm 3,5$ mg/kg), dan selenium ($67,7 \pm 40,4$ µg/kg). Gandum kaya vitamin B kompleks. Di antara sumber vitamin B, kadar riboflavin lebih tinggi daripada beras pecah kulit, tiamin setara dengan beras pecah kulit, sedangkan kadar niasin tertinggi pada gandum, dan riboflavin setara dengan sorgum tetapi lebih rendah dibanding jagung (Tabel 5). Komoditas serealia termasuk sumber mineral kalsium relatif tinggi dengan kisaran 25-35 mg/100g, gandum setara dengan beras pecah kulit, sorgum terendah dan jiwawut tertinggi.

Kelebihan sorgum adalah mengandung kadar besi yang lebih tinggi dibanding serealia lainnya. Kandungan besi gandum adalah 3,5 mg/100 g masih termasuk tinggi, tetapi akan turun drastis dalam bentuk terigu, akibat terkikis pada setiap tahapan proses pengolahan dari gandum menjadi terigu. Hal ini juga terjadi pada komponen mineral dan vitamin lainnya.

SIFAT FISIKOKIMIA GANDUM DAN TERIGU

Sifat fisiko kimia gandum dan terigu perlu diketahui karena merupakan landasan dalam menentukan produk yang akan dihasilkan. Sifat fisiko kimia gandum dan terigu dari varietas Selayar, Dewata dan Nias disajikan pada Tabel 6.

Terigu adalah produk dari biji gandum setelah melalui proses cukup panjang. Pada pabrik pengolahan gandum menjadi terigu, kegiatan uji sifat fisiko kimia sampel setiap produksi merupakan keharusan sehingga menjadi pekerjaan rutin. Kualitas tepung terigu dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti *moisture* (kadar air), *ash* (kadar abu), dan beberapa parameter fisik lainnya seperti *water absorption*, *development time*, *stability*, dan parameter fisikokimia lainnya (Glenn and Saunders 1990, Uthayakumaran and Lukow 2003).

Tabel 5. Kandungan mineral dan vitamin sorgum dan serealia lain (per 100 g, kadar air 12%).

Komoditas	Tiamin (mg)	Riboflavin (mg)	Niasin (mg)	Kalsium (mg)	Zat besi (mg)
Sorgum	0,38	0,15	4,3	25	5,4
Beras pecah kulit	0,41	0,04	4,3	33	1,8
Jagung	0,38	0,20	3,6	26	2,7
Gandum	0,41	0,10	5,1	30	3,5
Jiwawut	0,42	0,19	1,1	35	3,9

Sumber: Direktorat Gizi, Dep. Kes. RI (1992).

Tabel 6. Komposisi kimia, gluten, sifat fisiko kimia gandum dan terigu dari varietas Selayar, Dewata dan Nias.

Parameter	Selayar		Dewata		Nias	
	Gandum	Terigu	Gandum	Terigu	Gandum	Terigu
Air (%)	11,83	13,5	11,3	11,8	11,7	12,5
Protein (%)	13,6	13,1	14,0	13,7	12,9	13,4
Abu (%)	1,56	0,57	1,54	0,67	1,36	0,66
Gluten basah (%)	31,4	32,2	31,0	35,0	31,1	34,1
Waktu jatuh (detik)	302	315	125	212	240	273
Uji berat (kg/hl)	82,6	-	82,3	-	80,8	-
Berat 1000 biji (gr)	48,8	-	46,87	-	44,8	-
Rendemen tepung (%)	-	80,3	-	80,9	-	79,2
Nilai warna	-	3,,3	-	1,8	-	3,2
Maltosa (%)	-	3,3	-	4,1	-	3,2
Daya Serap Air (%)	-	68,3	-	73,9	-	72,4
Waktu pengembangan (menit)	-	3,9	-	3,5	-	3,0
Stabilitas (menit)	-	3,6	-	3,5	-	2,7
Toleransi (BU)	-	65	-	80	-	100
Extensibilitas (mm)	-	180	-	160	-	180
Resistansi ekstensi (BU)	-	115	-	110	-	75
Area (cm ²)	-	36,9	-	28,8	-	31,0

Sumber: Suarni dan Hamdani (2009).

Moisture adalah kadar air tepung terigu yang mempengaruhi kualitas tepung. Bila jumlah kadar air melebihi standar maksimum maka memicu terjadinya penurunan daya simpan tepung terigu karena cepat rusak, berjamur, dan bau apek.

Ash adalah kadar abu pada tepung terigu yang mempengaruhi proses dan hasil akhir produk, antara lain warna produk (warna *crumb* pada roti, warna mie) dan tingkat kestabilan adonan. Semakin tinggi kadar abu semakin buruk kualitas tepung, sebaliknya semakin rendah kadar abu semakin baik kualitas tepung. Tingginya kadar abu suatu bahan menunjukkan tingginya komponen mineral.

Water Absorption (daya serap air) adalah kemampuan tepung terigu menyerap air. Kemampuan daya serap air tepung terigu berkang bila kadar air dalam tepung (*moisture*) terlalu tinggi atau disimpan pada tempat yang lembab. Daya serap air bergantung pada produk yang akan dihasilkan, dalam pembuatan roti umumnya diperlukan daya serap air yang lebih tinggi daripada pembuatan mie dan bisuit.

Developing Time adalah kecepatan tepung terigu dalam pencapaian keadaan *develop* (kalis). Bila waktu pengadukan adonan kurang sempurna, disebut *under mixing*, menyebabkan volume adonan tidak maksimal sehingga tekstur/remah roti kasar, roti terlalu kenyal, aroma roti asam, roti cepat keras, permukaan kulit roti pecah dan tebal. Sebaliknya, bila kelebihan pengadukan adonan, disebut *over mixing*, menyebabkan volume roti melebar, kurang

mengembang, remah roti kasar, warna kulit roti pucat, permukaan roti mengecil, permukaan kulit roti terdapat banyak gelembung dan roti kurang kenyal.

Stability adalah kemampuan tepung terigu untuk menahan stabilitas adonan agar tetap sempurna meskipun telah melewati waktu develop (kalis). Stabilitas tepung pada adonan dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain kandungan protein, kualitas protein, dan zat tambahan (*additive*).

Gluten

Gluten merupakan campuran protein antara dua jenis protein gandum yaitu glutenin dan gliadin. Protein dibedakan menjadi (1) larut yaitu albumin-globulin dan (2) tidak larut yaitu gliadin-glutenin, perbandingan senyawaan tersebut dalam kondisi yang baik untuk membentuk gluten. Glutenin memberikan sifat yang tegar dan gliadin memberikan sifat yang lengket, sehingga mampu memerangkap gas yang terbentuk selama proses pengembangan adonan (Winarno 2002). Dias *et al.* (2011) menjelaskan bahwa gluten dibentuk dari gliadin dan glutenin, gluten mempunyai peranan penting dalam pembentukan struktur, secara fungsional dapat meningkatkan nilai *baking expansion* karena bersifat hidrofilik. Gluten dapat merenggangkan ikatan antar molekul sehingga air akan masuk ke dalam molekul pati, akibatnya terjadi peningkatan volume dan pengembangan granula pati pada saat pemanggangan, serta kemampuan gluten mengikat molekul air dengan ikatan hidrogen yang kuat, dapat meningkatkan daya kembang produk akhir.

Kualitas produk bakery/roti, mi dan sejenisnya bergantung pada kualitas terigu. Terigu mempunyai kelebihan dibanding tepung yang lainnya, terletak pada sifat pembentukan gluten. Gluten bersama pati gandum akan membentuk struktur dinding sel (*building block*) yang menghasilkan remah produk. Sifat spesifik tersebut kurang dimiliki oleh serealia lainnya, termasuk jagung, sorgum, jowawut dan padi, tetapi menjadikannya tidak sesuai dengan penderita alergi gluten.

Gluten menyebabkan penyakit intoleransi terhadap gluten (celiac disease). Kondisi tersebut ditandai oleh terjadinya radang mukosa usus halus sehingga tidak dapat berfungsi secara normal. Gluten terdapat pada gandum, gandum hitam, dan barley. Untuk menghindari konsumsi gluten dapat mengkonsumsi produk lain yang berasal dari beras, jagung, dan sorgum (Winarno 2002, Steven 2004). Pemberian enzim protease mengakibatkan penurunan kandungan protein alergenik pada tepung terigu. Perombakan oleh enzim protease juga terhadap protein alergenik menjadi asam amino bebas dan protein sederhana, maka kandungannya lebih rendah. Tepung gandum rendah protein alergenik hasil dari metode *pre-germinated wheat flour* sesuai bagi penderita alergi, sehingga dapat mengonsumsi makanan yang dibuat dari gandum (Handoyo 2008).

Penelitian Suarni dan Zakir (2001) menunjukkan kandungan gluten sorgum sangat rendah <1% dengan mutu yang kurang baik, sehingga tepung sorgum

hanya mampu mensubstitusi 15-20% terigu untuk produk roti dan sejenisnya. Kandungan gluten pada gandum dan terigu dari beberapa galur dan varietas dapat dilihat pada (Tabel 3 dan 6).

Kemampuan daya bentuk produk dari terigu ditentukan oleh mutu dan jumlah glutennya. Jenis terigu yang dibuat dari gandum keras (*hard wheat*) mengandung protein yang bermutu baik (>10,5%) sesuai untuk pembuatan roti. Jenis terigu dari gandum lunak (*soft wheat*) dengan kandungan protein <10% digunakan untuk membuat *cake*, *cookies*, pastel (U.S. Wheat Associates 1983). Gluten gandum dapat diekstrak dan telah dikomersialkan, dibutuhkan pada adonan berbasis tepung yang kurang memiliki gluten, dengan produk yang memerlukan elastisitas adonan dan pengembangan volume olahan pada pemanggangan. Gluten gandum (wheat gluten/WG) diekstrak dari bagian endosperm dengan komposisi protein-lemak-pati. Gluten gandum komersial memiliki komposisi 72,5% protein (77,5% berat kering), 5,7% lemak, 0,7% abu, 6,4% air, karbohidrat, pati, dan komponen lainnya (Clodualdo *et al.* 1994).

PENUTUP

Informasi karakter struktur biji, komposisi kimia, sifat fisiko kimia dan fungsional serta mutu nutrisi gandum setiap varietas diperlukan sebagai rujukan oleh pemulia gandum dalam merakit varietas unggul. Hal ini juga diperlukan untuk diversifikasi pangan dan sebagai landasan bagi industri pangan dalam memilih bahan baku/varietas dan pengolahan yang sesuai dengan produk yang diinginkan. Dedak gandum mengandung serat kasar yang tinggi, berpotensi sebagai bahan pakan ternak besar, sedangkan untuk ternak unggas memerlukan perlakuan pengolahan sebelum digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Belderok, B., H. Mesdag, and D.A. Donner. 2000. Bread-making quality of wheat. Springer, New York.
- Betty, Y. A. dan M. Dahlan. 1989. Penampilan galur-galur terigu pada beberapa waktu tanam. Dalam Adisarwanto *et al.* (eds.): Risalah Seminar Hasil Penelitian Tanaman Pangan Balitran. Malang. Hlm. 137-140.
- Bogasari. 2011. Seputar Tepung Terigu. PT ISM Bogasari Flour Mills, Jakarta.
- Bushuk, W., and Rasper, V.F. 1994. Wheat: Production, Properties, and Quality. Chapman & Hall. United Kingdom.
- Clodualdo, C.M., S. Bassi, and J.M. Hesser. 1994. Wheat gluten in food and non-food systems. Midwest Grain Products. Inc. International Wheat Gluten Association. Research Dep. Technical Bulletin. 16(6):1-8.
- Dahlan, M., Rudijanto, J. Mardianto, dan M. Jusuf. 2003. Usulan pelepasan varietas gandum: Hahn/2#Weaver dan DWR 162. Balitsereal. Maros. 21 hlm.

- Daniel, C. and E. Triboi. 2002. Changes in wheat protein aggregation during grain development: Effects of temperatures and water stress. *Eur. J. Agron.* 16:1-12.
- Dias, A. R. G., Zavareze, E.D.R., Elias, M. C., Helbig, E., Silva, D.B.D dan Ciacco, C.F. 2011. Pasting, Expansion and Textural Properties of Fermented Cassava Starch Oxidized with Sodium Hypochlorite. *Carbohyd. Polym.* 84: 268-275.
- Didin. 2008. Terigu bergizi kaya nutrisi. www/myeflour.blogspot.com/2008/06.
- Direktorat Gizi Masyarakat. 1992. Komposisi nutrisi bahan pangan. Dep. Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta.
- Direktorat Gizi Masyarakat. 2000. Pedoman pemantauan konsumsi gizi. Dep. Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta.
- Dziedzic, S.Z. dan Kearsley M.W. 1995. The technology of starch production. In: S.Z. Dziedzic and M.W. Kearsley (Eds.). *Handbook of Starch Hydrolysis Products and Their Derivatives* Blackie Academic and Professional, London.
- Eliasson, A.C., K. Lorson. 1993. Cereal in breadmaking. Marcel Dekker. Inc. New York. p. 241-256.
- Formo, M.W., E. Jungermann, F.A. Norris, and N.O.V. Sonntag. 1979. Bailey Industrial oil and fat products. 1(4rd) edition. John Wiley and Sons. Inc. Canada.
- Glenn, G.M. and R.M. Saunders. 1990. Physical and structural properties of wheat endosperm Associated with Grain Texture. *67(2):176-182*.
- Gordon. 1989. Functional properties and physiological action of total dietary fiber. *Cereal Food World* 34(7): 515-517.
- Hamdani, M., Sriwidodo, Ismail, dan Marsum Dahlan. 2002. Evaluasi galur terigu introduksi dari CIMMYT. Prosiding Kongres IV dan Simposium Nasional Perhimpunan Ilmu Pemuliaan Indonesia. Fakultas Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Handoyo, T., Maeda, T., Urisu, A., Adachi, T., and Morita, N. 2006. Hypoallergenic buckwheat flour preparation by Rhizopus oligosporus and its application to soba noddle. *Food Res. Int.* 39: 598-605.
- Handoyo, T. 2008. Kandungan gamma-amino butyric acid dan protein alergenik selama perkecambahan biji gandum. Prosiding Seminar Nasional Pangan. Yogyakarta.
- Hui, Y.H. 1996. Bailey industrial oil and fat products. 1(5rded. Vol.3). Edible Oil and Fat products. Product and Application Technology. John Wiley & Sons. Inc. New York.
- Indaryati, D.A. 2011. Perubahan kualitas nutrisi biji gandum selama pra-perkecambahan. Skripsi. Fak. Pertanian Univ. Jember. 32 hlm.
- Irawan, D. and C.H. Wijaya. 2002. The potencies of natural food additives as bioactive ingredients. Prosiding Kolokium Nasional Teknologi Pangan. Semarang. 24 Juni 2002.
- Jaroni, D., S.E. Scheideler, M. Beck and C. Wyatt. 1999. The effect of dietary wheat midds and enzyme supplementation on late egg production efficiency, egg yields and composition in two strain of leghorns. *Poult. Sci.* 78: 841-847.
- Lu., Z.X, K.Z. Walker, J.G Moir, T. Mascara, and K.O'Dea. 2000. Arabinoxylan fiber, a by product of wheat flour processing, reduces the postprandial glucose response in normoglycemic subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* 71: 1123-1128.
- Marliyati, S.A., H. Syarieff, D. Muchtadi, L.K. Darusman, dan Rimbawa. 2005. Ekstraksi dan analisis fitosterol lembaga gandum (*Triticum sp.*). *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan* 16(1):1-12.

- Marliyati, S.A., H. Syarie, D. Muchtadi, L.K. Darusman, dan Rimbawa. 2010. Suplementasi sterol lembaga gandum (*Triticum sp.*) pada margarin. Jurnal Teknologi dan Industri Pangan 20(1):73-79.
- Matz, Z.A. 1992. Bakery technology and engineering (3rded). Van Nostrand Reinhold. New York.
- Miyake, K., R. Morita, T. Handoyo, T. Maeda, dan N. Norita. 2004. Characterization of graded buckwheat flours and some properties of germinated „Mancan buckwheat grains. Fagopyrum. 21: 91-97.
- Murtini, E. S. Susanto. T. Kusumawardani. R., 2005. Karakterisasi sifat fisik, kimia dan fungsional tepung gandum lokal varietas Selayar, Nias, dan Dewata. J. Tek. Pert.. 6 (1): 57-64.
- Olsen. 2007. "Endosperm: Developmental and Molekuler Biology" ISBN 3-540-71234-8 <https://en.wikipedia.org/wiki/endosperm>, <https://.wikipedia.org/wiki/wheat%20flour>
- Pomeranz, Y. 1971. Composition and functionality of wheat flour components dalam Y. Pomeranz. Wheat Chemistry and Technology. The AACC. Ind., St. Paul.
- Porter J.R. 2005. Rising temperatures are likely to reduce crop yields. Nature 436:174.
- Pranoto, H.S, W.Q Mugnisjah, E. Muniarti. 1990. Biologi benih. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ramli, N., R.A. Haryodi, dan D.G. Dinata. 2005. Evaluasi kualitas nutrien dedak gandum hasil olahan enzim yang diproduksi *Aspergillus niger* dan *Trichoderma viride* pada ransum ayam broiler. Media Peternakan 28(3):124-129.
- Rodriguez, L. H., Morales, D. A., Rodriguez, E. R. dan Romero, C. D. 2011. Minerals and trace elements in a collection of wheat landraces from the canary islands. J. Food Composition and Analysis. 24:1081-1090.
- Sardesai, V. 2003. Introduction to clinical nutrition. Marcel DekkerInc., New York. p. 339-354.
- Sattore, E.H. and G.A., Slafer. 1999. Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination. Food Product Press. Binghamton, NY.
- Sihotang, SNJ., Z. Lubis, Ridwansyah. 2015. Karakteristik fisikokimia dan fungsional tepung gandum yang ditanam di Sumatera Utara. J. Rekayasa Pangan dan Pert. 3(3): 330-337.
- Singh, S.S. and B.B. Singh. 2001. IARI wheats for evergreen revolution. Indian Agricultural Research Justitute New Delhi, India.
- Sramkovaa, Z., E. Gregovab, and E. Sturdika. 2009. Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. Acta Chimica Slovaca 2(1):115-138.
- Steven, P. 2004. The Spectrum of Distrractions. Autism, OCD, Asperger's, and ADD. The four ways we feel compelled to master our world.
- Stoddard, F.L. 1999. Survey of starch particle size distribution in wheat and related species. Journal Cereal Chemistry. 76(1):145-149.
- Stone, P. 2001. The effects of heat stress on cereal yield and quality. In: Basra AS. (Eds.), Crop Responses and Adaptation to Temperature Stress. Binghamton NY: Food Products Press. hlm 243-291.
- Suarni dan M. Zakir. 2001. Studi sifat fisikokimia tepung sorgum sebagai bahan substitusi terigu. Jurnal Penelitian Pertanian 20(2):58-62.

- Suarni dan R. Patong. 2002. Tepung sorgum sebagai bahan substitusi terigu. Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan 21(1):43-47.
- Suarni. 2004. Komposisi asam amino penyusun protein beberapa serealia. Jurnal Stigma 12(3):352-355.
- Suarni dan M. Hamdani. 2009. Karakterisasi nutrisi dan sifat fisikokimia beberapa galur dan varietas unggul gandum. Prosiding Seminar Nasional Balai Besar Pascapanen. Bogor. hlm. 24-31.
- US Wheat Assosiates. 1981. Pedoman pembuatan roti dan kue (terjemahan). Jakarta: Djambatan, hlm. 1-10.
- Uthayakumaran, S. and O.M. Lukow. 2003. Functional and multipleend-use characterisation of canadian wheat using a reconstituteddough system. J. Sci. Food Agric. 83: 889-898.
- Wildman, R.E.C. and D.M. Medeiros. 2000. Carbohydrates. Dalam Advanced human nutrition. New York:CRC press. Boca Ratun. p. 88-97.
- Winarno. 2002. Kimia Pangan. Gramedia Jakarta.
- Yang, J., R.G. Sears, B.S. Gill, and G.M. Paulsen. 2002. Quantitative and molecular characterization of heat tolerance in hexaploid wheat. Euphitica 126: 275-282.

Morfologi dan Fase Pertumbuhan Gandum

Aviv Andriani dan Muzdalifah Isnaini
Balai Penelitian Tanaman Serealia

PENDAHULUAN

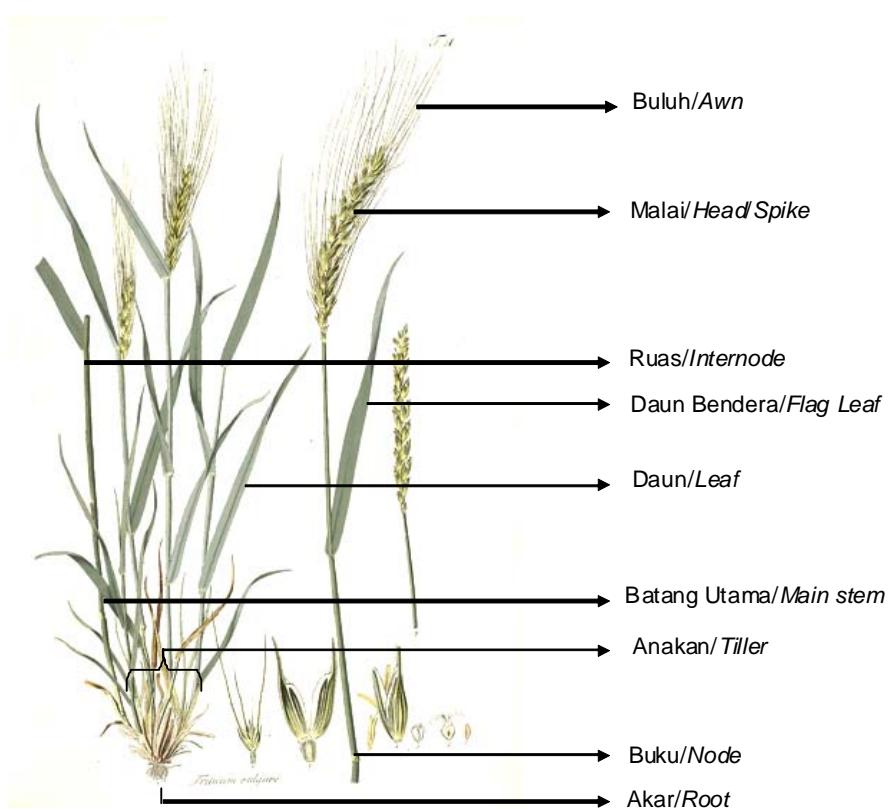
Gandum di Indonesia merupakan tanaman pendatang, karena komoditas ini merupakan serealia dari daerah yang memiliki suhu musim panas yang hangat dan musim dingin yang dingin, seperti wilayah beriklim dingin (temperate), mediterania, subtropis, dan wilayah-wilayah tropis dengan ketinggian di atas 1.000 m dpl (Percival 1921, Elias 1995, OECD 1999, Nevo *et al.* 2002). Gandum di daerah subtropis berdasarkan waktu tanamnya ada dua jenis, yaitu gandum musim dingin (*winter wheat*) dan gandum musim panas (*spring wheat*). Gandum yang ditanam di daerah semi-arid di kawasan mediteran yang bersuhu dingin adalah jenis *spring wheat*. Seiring dengan perkembangan program pemuliaan tanaman gandum, saat ini gandum sudah dapat dikembangkan di Indonesia yang beriklim tropis (Elias 1995, OECD 1999, Hamdani *et al.* 2002, Shewry 2009).

Pada awal evolusinya, gandum merupakan tanaman diploid yang kemudian berkembang menjadi tanaman poliploid melalui proses persilangan alami dengan kerabat liarnya sejak ribuan tahun yang lalu. Gandum yang saat ini dikembangkan di seluruh dunia 95% adalah gandum hexaploid (*Triticum aestivum* L., $2n=6x=42$, AABBDD), atau dikenal sebagai gandum roti (*bread wheat*), dan 5% sisanya adalah gandum tetraploid (*Triticum turgidum* L., $2n=4x=28$, AABB) yang lebih dikenal dengan gandum durum (*durum wheat*) (Nevo *et al.* 2002, Shewry 2009). Gandum durum merupakan bahan baku pasta, seperti spaghetti dan macaroni, sedangkan gandum biasa merupakan bahan baku roti, cake, dan camilan.

Tulisan ini membahas morfologi dan fase pertumbuhan gandum yang diharapkan dapat menambah khasanah ilmu pengetahuan tanaman pangan ini.

MORFOLOGI

Gandum durum dan gandum roti, secara genetik berbeda namun secara morfologi mirip, yang membedakan adalah kandungan proteinnya. Gandum durum memiliki kandungan protein yang lebih tinggi daripada gandum roti (Pauly *et al.* 2013). Gandum merupakan tanaman kelompok serealia, satu famili dengan padi, jagung, hanjeli, dan sorgum. Dalam sistem taksonomi tumbuhan, gandum termasuk dalam keluarga *Poaceae* atau lebih dikenal sebagai *Gramineae* (rumput-rumputan), dengan ciri khas berakar serabut, batang berbuku, dan daun sejajar dengan tulang daun. Secara umum morfologi tanaman gandum terdiri atas akar, batang, daun, anakan, bunga dan biji (Gambar 1).

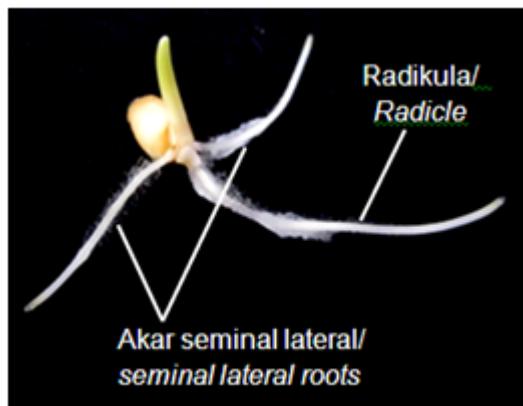


Gambar 1. Tanaman gandum dan bagian-bagiannya.
Sumber: dimodifikasi dari Host *et al.* (1805)

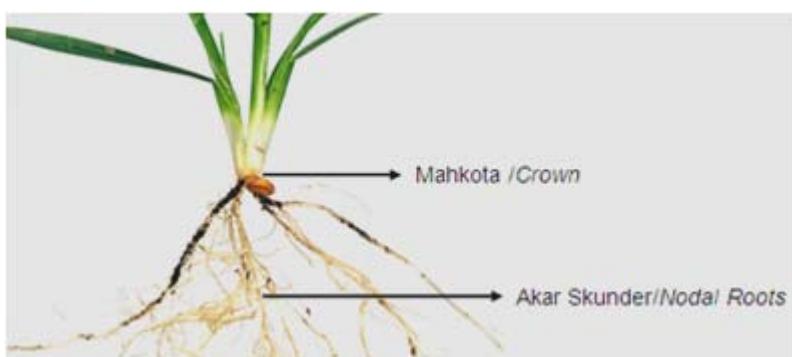
Akar

Sebagaimana tanaman serealia lainnya, sistem perakaran gandum adalah perakaran serabut. Terdapat dua tipe perakaran gandum, yaitu akar primer (*seminal root*) dan akar skunder (*nodal root*). Akar primer terdiri atas radikula (*radicle*) dan akar seminal lateral (*lateral seminal roots*) (Gambar 2). Akar primer berkembang dari primordial akar yang tumbuh pada saat biji gandum berkecambahan, pada saat masih embrio, setidaknya terdapat enam akar primordial, yang terdiri atas satu akar radikula (*radical*) dan dua pasang akar seminal lateral. Pada saat perkecambahan akar primordial (radikula dan seminal) menembus kelereng dan akan tumbuh memanjang hingga kurang lebih 2 m, akar kemudian digantikan oleh akar skunder (*crown/adventitious*) (Gambar 3) (Percival 1921, Kirby 2002).

Akar sekunder berkembang pada saat tanaman mulai membentuk anak atau telah memiliki empat daun. Akar skunder tumbuh pada buku mahkota



Gambar 2. Akar primer gandum pada 4 HST.



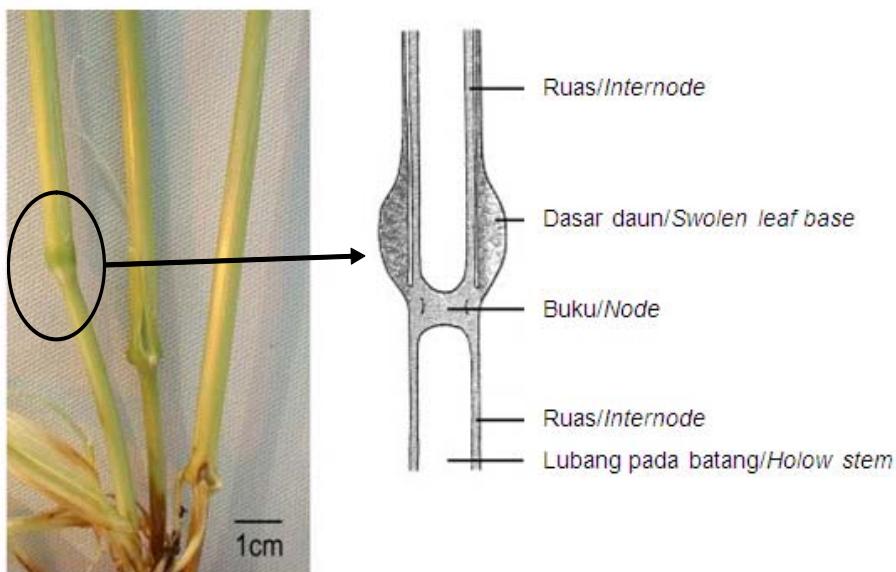
Gambar 3. Akar sekunder gandum
Sumber: dimodifikasi dari Cattlin (2011).

(*crown nodes*) yang terletak pada buku ke-3-7 paling bawah dari tunas utama dan anakan. Pada buku yang lebih atas, setiap buku terdapat 5-6 akar (Percival 1921, Kirby 2002). Akar akan memanjang hingga kedalaman 2 m, bergantung pada jenis tanah (Kirby 2002, Australian Government 2008). Pada musim dingin (*winter wheat*), perakaran gandum bisa mencapai 2,2 m, namun pada musim semi (*spring wheat*) hanya sekitar 1,1 m (Kirby 2002, Thorup-Kristensen *et al.* 2009). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh umur gandum musim dingin lebih lambat, yaitu 280-350 hari, sedangkan gandum musim panas 120-145 hari (Weaver 1926, FAO 2013). Kepadatan perakaran gandum dalam tanah kurang dari $0,5 \text{ cm}^3$ pada setiap 1cm^3 tanah (Atta *et al.* 2013). Jaringan meristem pada akar gandum terletak pada 2-10 mm di setiap ujung akar (Anderson and Garlinge 2000). Jumlah akar skunder akan terus bertambah seiring dengan pertambahan jumlah anakan (Weaver 1926). Laju pertumbuhan akar 1,0-1,5 cm/hari (Anderson and Garlinge 2000). Anakan akan membentuk akar sendiri pada saat memiliki setidaknya tiga daun (Australian Government 2008).

Batang

Batang gandum berupa jerami yang tegak, berbentuk silinder dan memiliki permukaan yang halus, tersusun atas beberapa buku dan ruas (Gambar 4). Ruas dan buku pada tanaman gandum berkisar antara 8-16. Buku batang gandum umumnya keras, berfungsi sebagai tempat tumbuhnya daun, akar, anakan dan malai, juga sebagai perantara keluar masuknya hara tanaman dan fotosintat. Jarak antara dua buku disebut ruas. Sebagaimana ruas-ruas jerami pada batang padi, ruas pada batang gandum juga berlubang di tengahnya, namun pada beberapa varietas ada yang berisi empulur yang lembut.

Batang gandum terbungkus oleh pelepas daun guna menunjang batang agar tetap tegak sehingga tidak mudah rebah. Ruas pada batang bawah umumnya lebih pendek dari ruas yang ada di ujung tanaman, bahkan berhimpitan satu sama lain, membentuk mahkota (*crown*). Mahkota ini tersusun atas 8-14 buku dan ruas, ruas pada mahkota hanya berukuran beberapa millimeter, sedangkan 4-7 ruas terakhir akan tumbuh lebih panjang. Ruas paling panjang pada batang gandum adalah ruas terakhir (*peduncle*), yang berfungsi menopang malai. Pemanjangan ruas terakhir berhenti pada saat anthesis. Ukuran batang bergantung pada varietas dan lingkungan tumbuh. Pemanjangan ruas dimulai pada saat tanaman mulai dewasa. Batang juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan fotosintat untuk pengisian biji. Pada saat malai mulai muncul, kandungan karbohidrat pada batang gandum mencapai 25-40% dari bahan kering total (Percival 1921, Anderson and Garlinge 2000, Kirby 2002, Australian Government 2008).

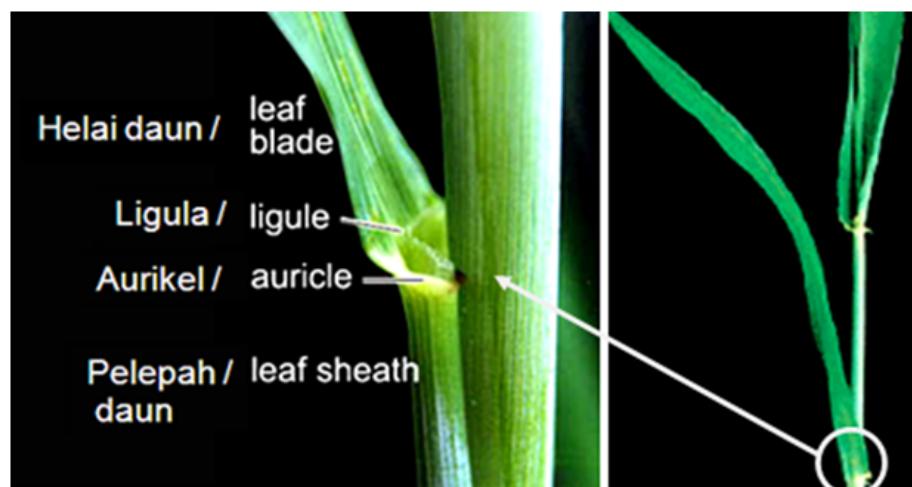


Gambar 4. Batang gandum
Sumber: dimodifikasi dari Winfied (2014).

Daun

Daun gandum berbentuk pita sejajar tulang daun, tersusun atas helai daun (*leaf blade*), pelepas daun (*leaf sheath*), ligula (*ligule*) dan aurikel (*auricle*) (Gambar. 5). Bagian dasar pelepas daun melekat pada buku dan menyelimuti batang. Pelepas daun berfungsi melindungi batang dari cuaca ekstrim dan menopang batang agar tidak mudah rebah. Batang gandum bagian bawah tertutup oleh pelepas yang saling tumpang tindih, sehingga batang tidak terlihat. Namun pada ruas terakhir, pelepas daun akan menutupi bakal malai sebelum malai pecah. Setelah malai pecah/muncul dan ruas terakhir memanjang, hanya sebagian batang yang akan tertutup oleh pelepas (Percival 1921, Anderson and Garlinge 2000, Kirby 2002).

Pada ujung pelepas daun terdapat helai daun. Helai daun gandum memiliki permukaan yang licin, kadang terdapat sedikit bulu tipis. Pada beberapa varietas, tepi daun juga berambut. Bagian bawah daun umumnya lebih halus dari sisi bagian atas. Ukuran daun beragam, semakin ke atas semakin lebar, namun akan memendek pada lima daun terakhir. Rata-rata daun gandum berukuran 5-10 cm. Daun yang terakhir muncul adalah daun bendera. Pada pertemuan antara daun dan pelepas terdapat aurikel. Aurikel berbentuk kurva yang melekat pada dasar setiap helai daun, berwarna hijau muda atau merah muda, dengan bagian tepi berambut atau juga berambut, aurikel melekat pelepas dengan batang. Pada daun yang lebih atas, aurikel melekat lebih kuat dari pada daun bagian bawah. Ligula pada daun gandum merupakan struktur membran tipis yang melekat pada batang, berfungsi mencegah air hujan, debu dan serangga masuk ke dalam pelepas dan batang gandum. Ligula umumnya tidak berwarna,



Gambar 5. Daun gandum.

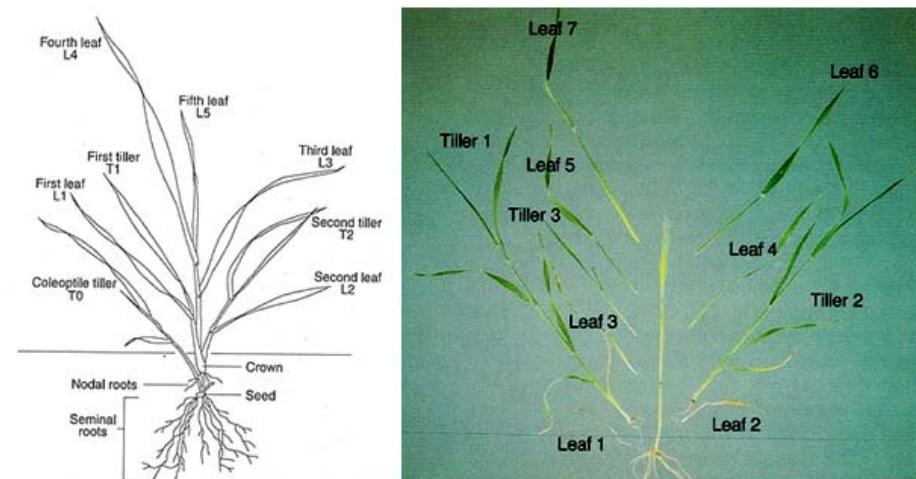
Sumber: dimodifikasi dari: 1. Rawson and Macperson. 2000.
2. Anderson *et al.* (2013).

dengan pinggir yang tidak rata dan sedikit berjumbai. Ukuran ligula berkisar antara 3-4 mm, semakin ke bawah letak daun semakin pendek ukuran ligula. (Percival 1921, Anderson and Garlinge 2000, Kirby 2002, Australian Government 2008).

Anakan

Anakan tanaman gandum merupakan cabang lateral yang tumbuh dari pangkal daun pada batang utama. Anakan memiliki struktur yang sama dengan batang utama dan membentuk malai, meski tidak semua anakan mampu menghasilkan malai. Anakan yang terbentuk umumnya sejumlah pangkal daun yang terdapat pada buku mahkota. Anakan yang terbentuk dari batang utama disebut anakan primer (*primary tiller*), yang menghasilkan anakan skunder (*secondary tiller*). Pada bagian koleoptil juga kadang tumbuh anakan, yang disebut anakan koleoptil (*coleoptile tiller*) (Gambar 6) (Anderson and Garlinge 2000, Kirby 2002, Australian Government 2008).

Anakan umumnya mulai tumbuh pada saat daun ke-3 telah berkembang sempurna dan daun ke-4 muncul dari batang utama. Anakan pertama (T1) tumbuh di bawah ligula daun pertama, begitu seterusnya. Anakan primer mampu membentuk anakan sendiri yang disebut dengan anakan skunder. Pertumbuhan anakan ini terhenti setelah terjadi perpanjangan ruas. Jumlah anakan bergantung pada varietas dan kondisi lingkungan. Jumlah anakan produktif gandum musim dingin pada kondisi optimal adalah 2-3 batang per tanaman. Pada kondisi suhu hangat, jumlah anakan yang muncul akan lebih



Gambar 5. Anakan gandum

Sumber: dimodifikasi dari:

1. Ranson (2006).
2. North Dakota State University Agriculture (2014).

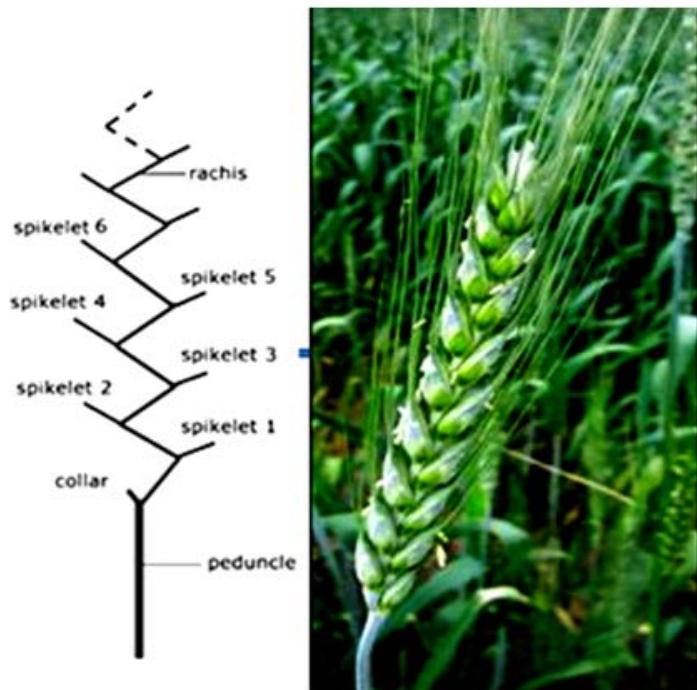
banyak daripada suhu dingin. Di Indonesia dengan suhu yang lebih hangat, jumlah anakan produktifnya rata-rata 4 batang. Anakan juga memberikan kontribusi bagi batang utama dalam menghasilkan karbohidrat dan hasil biji. Bahkan pada kondisi tercekam, anakan sangat berperan dalam mengurangi kerugian hasil, terutama bila batang utama gagal membentuk malai atau rusak. Jumlah populasi optimal setiap 930 cm^2 adalah 30-35 tanaman dengan 70 anakan. Namun pada kondisi kekurangan nutrisi, anakan cenderung tidak berhasil membentuk malai karena terjadi kompetisi antara batang utama dan anakan dalam mendapatkan cahaya dan unsur hara serta fotosintat (Percival 1921, Anderson and Garlinge 2000, Kirby 2002, Conley *et al.* 2003, Australian Government 2008, Puspita *et al.* 2013, Wahyu *et al.* 2013, Wirawan *et al.* 2013).

Bunga

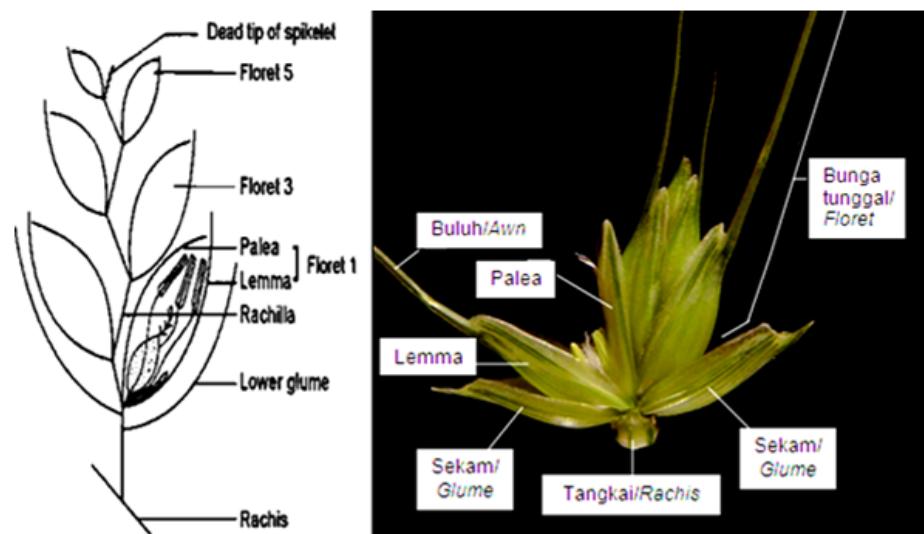
Pembungaan pada tanaman gandum bersifat determinate, artinya pertumbuhan vegetatif terhenti pada saat pembungaan. Bunga gandum merupakan sekelompok bunga yang tersusun dalam malai (*ear/spike*) (Gambar 6). Pada setiap malai terdapat beberapa spikelet (*spikelet*) (Gambar 7), dan setiap spikelet terdiri atas beberapa bunga tunggal (*floret*) (Gambar 8) (Percival 1921, de Vreis 1971, Allan 1980, Australian Government 2008, Kirby 2002, Anderson and Garlinge 2000).

Malai gandum tersusun atas spikelet dan tangkai malai (*rachis*). Pada tangkai malai utama terdapat beberapa ruas yang pendek sebagai tempat tumbuhnya spikelet. Terdapat dua baris spikelet pada tangkai malai utama (*main axis/rachis*), yang tersusun saling berhadapan. Distribusi spikelet beragam dari sangat rapat hingga longgar, bergantung pada varietas. Beberapa varietas memiliki spikelet yang longgar di bagian pangkal dan sangat rapat pada ujungnya. Spikelet yang berada paling ujung malai disebut spikelet terminal (*terminal spikelet*). Spikelet terminal pada beberapa varietas tidak berkembang dengan baik, bahkan tidak ada, selain itu juga ditemukan spikelet yang tidak berkembang normal pada pangkal malai. Dalam setiap malai terdapat 5-30 spikelet (Percival 1921, Allan 1980, Australian Government 2008, Kirby 2002, Anderson and Garlinge 2000).

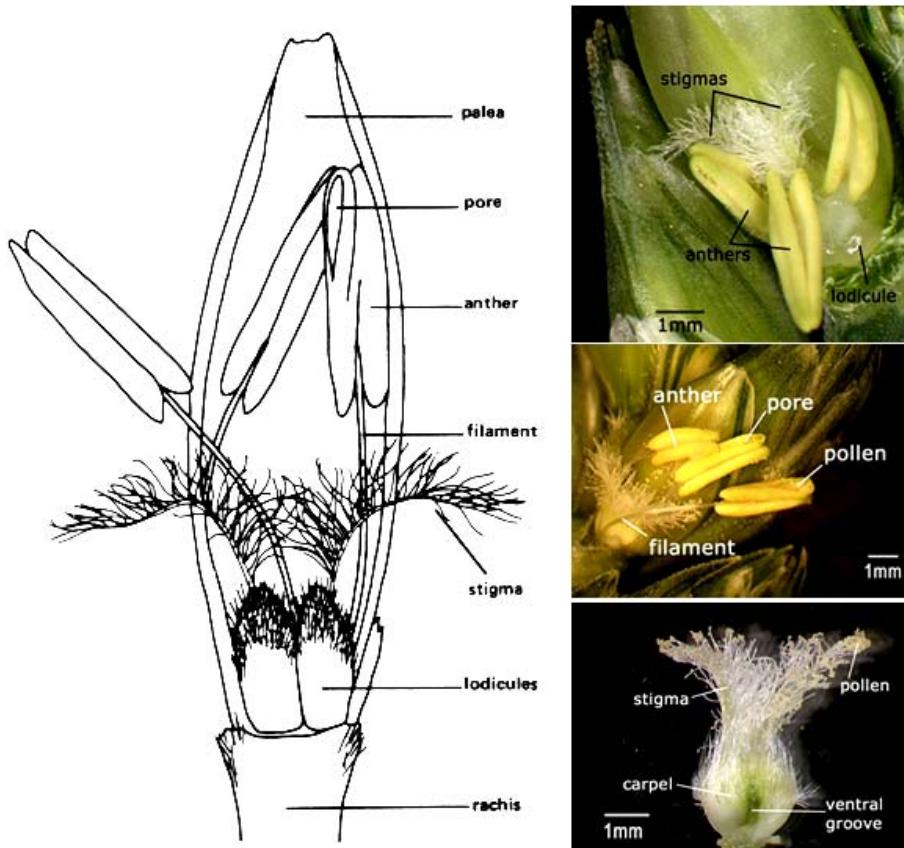
Spikelet merupakan kumpulan dari bunga tunggal (*floret*), yang tersusun pada tangkai malai skunder (*sub-rachis/rachilla*). Setiap spikelet memiliki 2-9 floret yang susunannya mirip dengan spikelet, namun lebih padat. Bagian paling bawah spikelet adalah dua buah sekam. Sekam pada bagian paling bawah disebut *lower glume*, sedangkan sekam yang berada di atasnya disebut *upper glume*, keduanya tersusun berhadapan, sehingga menutup sejumlah bunga tunggal yang ada pada spikelet. Sekam umumnya memiliki struktur keras, pada saat masih muda berwarna hijau hingga keunguan, dan pada saat masak fisiologis berwarna putih, cokelat, merah atau hitam, bergantung pada varietas. Pada ujung spikelet juga sering terdapat 1-2 bunga tunggal yang abnormal akibat tidak sempurnanya perkembangan benang sari dan bakal biji (Percival 1921, Allan 1980, Australian Government 2008, Kirby 2002, Anderson and Garlinge 2000).



Gambar 6. Malai gandum
Sumber: dimodifikasi dari: Winfied (2014).



Gambar 7. Spikelet bunga gandum
Sumber: dimodifikasi dari: 1. Illinois State University (2015).
2. Kirby (2002).



Gambar 8. Bunga tunggal gandum.

Sumber: dimodifikasi dari: 1. NIIR Board of Consultants & Engineers (2006).
2. Winfied (2014).

Bunga tunggal (*floret*) gandum terbungkus oleh dua buah sekam yang disebut *lemma* dan *palea*. Lemma adalah sekam paling luar dari bunga tunggal, ujung dari lemma umumnya memiliki bulu (*awn*). Ukuran bulu pada lemma beragam, mulai sangat panjang hingga sangat pendek bahkan gundil (tanpa bulu), bergantung pada varietas. Bulu yang terdapat pada bagian tengah malai umumnya paling panjang di antara bulu pada bagian yang lain. Warna bulu bervariasi, mulai dari putih, merah hingga hitam. Bentuk bulu juga beragam dari lurus hingga seperti spiral (Percival 1921, Allan 1980, Kirby 2002, Anderson and Garlinge 2000). Pada gandum yang ditanam di daerah kering atau tercekan kekeringan, buluh berperan dalam membantu proses fotosintesis, bahkan mampu menyumbang 10-20% bobot kering biji, karena daun mengalami pengeringan (*scenescence*) dengan cepat. Pada kondisi suhu udara yang rendah dan curah hujan tinggi, pengaruh bulu terhadap fotosintesis tidak nyata (Paulsen

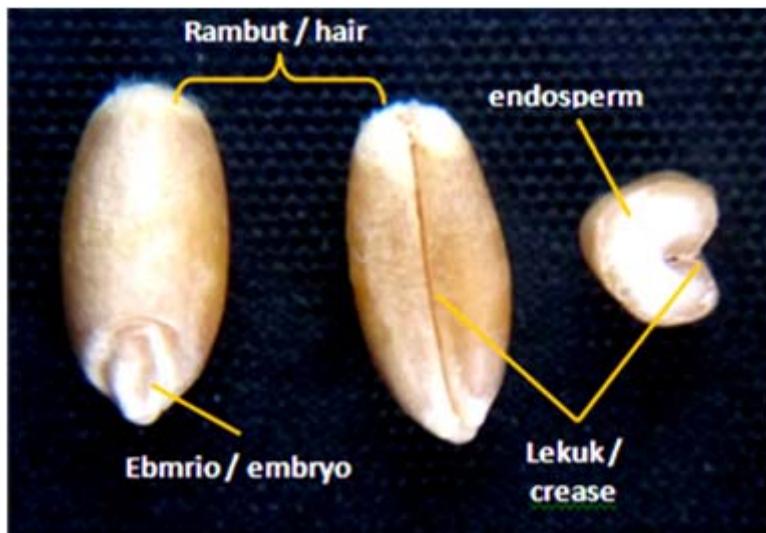
1997). Palea merupakan sekam yang terletak di atas lemma, keduanya menyelimuti bagian reproduksi bunga. Umumnya palea memiliki tekstur yang lebih lembut dari lemma (Percival 1921, Allan 1980, Kirby 2002, Anderson and Garlinge 2000).

Dalam setiap bunga tunggal yang normal terdapat tiga benang sari (*filament*) dan satu putik (*stigma*). Benang sari gandum memiliki tangkai sari (*stamen*) yang melekatkannya pada dasar bunga. Pada saat masih muda, tangkai sari berukuran 2-3 mm, namun tumbuh dengan cepat pada saat kepala sari mulai masak, pada saat bunga mekar ukurannya menjadi 7-10 mm, sehingga kotak sari akan terjuntai keluar dari lemma dan palea. Benang sari pada gandum masing-masing berukuran panjang 3-4 mm dan lebar 0.5-1 mm, memiliki dua kotak sari (*locule*) berbentuk *bi-lobed* (dua tabung kembar). Pada masing kotak sari terdapat 1.000-3.800 serbuk sari (*pollen*). Pollen yang telah masak (*mature*) akan mendesak kotak sari dan keluar dari kotak sari melalui lubang (*pore*). Pollen berbentuk bulat, agak oval atau bahkan tidak beraturan dengan diameter 57-65 μ . Putik bunga gandum tersusun atas kepala putik yang bercabang dan berbulu, dan ovarium (*ovary*). Ovarium pada bunga gandum terdapat dalam dua lodikula (*lodicules*) (Percival 1921, de Vreis 1971, Allan 1980, Australian Government 2008, Kirby 2002, Anderson and Garlinge 2000).

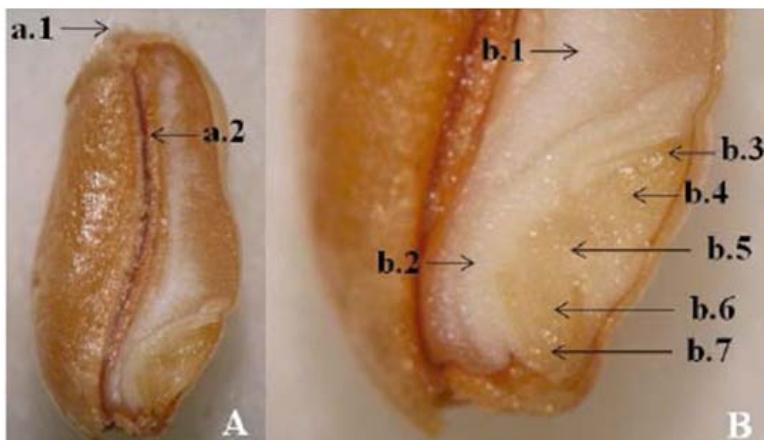
Biji

Bagian tanaman gandum yang memiliki nilai ekonomi tinggi adalah bijinya. Bagi tanaman gandum, biji merupakan alat perkembangbiakan, karena dalam biji terdapat embrio (*embryo*) yang akan tumbuh menjadi tanaman yang baru. Biji gandum kelempeng satu dan keras sehingga sering disebut kariopsis (*caryopsis*). Jumlah biji yang terbentuk dalam setiap spike bila semua bakal biji terserbusi dan tumbuh normal mencapai lima biji/spike, sedangkan jumlah spike bisa mencapai 20 spike/malai, namun jumlah biji per malai 10-60 biji. Panjang biji 3-8 mm, dengan bobot 1.000 biji berkisar antara 15-44 g. Bobot biji gandum akan menurun bila suhu udara dan suhu tanah meningkat. Dengan bobot 1.000 biji 15-44 g, kebutuhan benih dalam 1 ha sekitar 50 kg (Percival 1921, Kirby 2002, Hossain *et al.* 2013, Wahyu *et al.* 2013, Wirawan *et al.* 2013). Biji gandum pada sisi belakang (*dorsal*) membulat dan halus, sedangkan bagian depan (*ventral*) terdapat lekuk (*crease*), dan pada bagian ujung terdapat rambut halus. Embrio terdapat pada bagian pangkal biji sisi bagian atas yang tertutup oleh lapisan skutellum (*scutellum*) (Gambar 9).

Biji gandum terdiri atas embrio dan skutellum (*germ*), 3% dari bobot biji, 14% lapisan dedak/bekatul (*bran*), dan yang paling banyak adalah endosperma (*endosperm*), 83% dari total bobot biji (Percival 1921, Kirby 2002, Australian Government 2008) (Gambar 10).



Gambar 9. Biji gandum.



Gambar 10. Penampang biji gandum.

Keterangan: a.1) rambut/hair, a.2) pericarp, b.1) endosperma/endosperm
 b.2) skutelum/scutellum, b.3) koleoptil/coleoptiles
 b.4) plumula/plumule, b.5) mesokotil/mesocotyl
 b.6) radikula/radical, b.7) koleriza/coleoriza

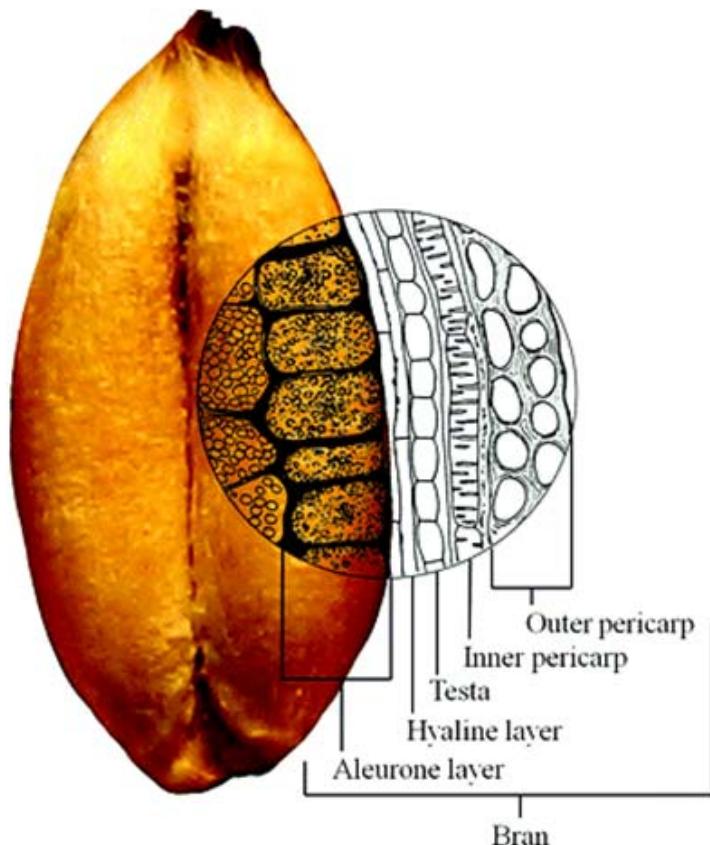
Sumber: Carvalha *et al.* (2013).

Pada bagian terluar dari biji gandum terdapat lapisan dedak/bekatul (*bran*) yang tersusun atas tiga lapisan yaitu 1) pericarp, 2) testa dan 3) aleuron (Percival 1921, Anderson and Garlinge 2000, Australian Government 2008) (Gambar 11). Pericarp merupakan bagian terluar dari lapisan dedak, berupa lapisan dengan ketebalan $45-50 \mu$, yang tersusun atas 4-5 lapisan sel, yaitu satu lapis sel epidermis

luar, tiga lapis sel parenkim, dan satu lapis sel epidermis dalam. Di bawah pericarp terdapat testa yang merupakan dua lapis sel panjang, sel pertama tidak berwarna sedang sel berikutnya memiliki warna, sehingga biji yang masak akan berwarna putih, krem, cokelat, merah atau hitam. Aleuron merupakan lapisan antara dedak dengan endosperm, pada aleuron terdapat lapisan lilin dan minyak (Percival 1921, Anderson and Garlinge 2000).

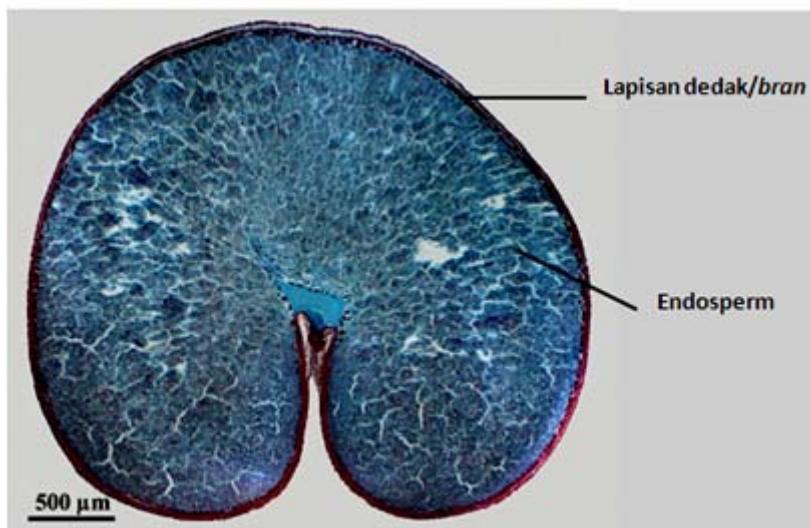
Endosperm merupakan bagian yang paling banyak dari biji gandum, tersusun atas pati (*starch*), protein, dan gluten (*gluten*). Dalam pati/tepung gandum terdapat banyak vitamin dan mineral yang bermanfaat bagi pertumbuhan kecambah dan bagi manusia sebagai bahan pangan (Percival 1921, Anderson and Garlinge 2000) (Gambar 12).

Embrio yang terlindungi oleh skutelum disebut *germ* atau mata tunas. Skutelum yang menyelimuti embrio memiliki ketebalan 2,5-3 mm, memisahkan embrio dari endosperma, merupakan jaringan yang termodifikasi dari kotiledon pada tanaman biji berkeping dua. Skutelum berfungsi pula sebagai tempat

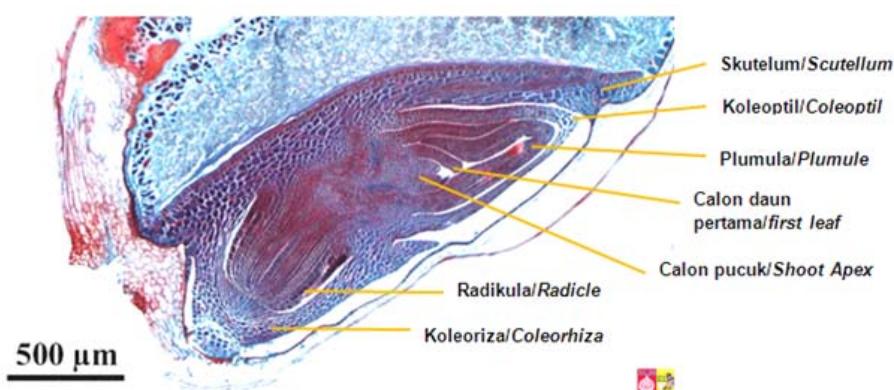


Gambar 11. Bagian dari lapisan dedak.
Sumber: Anson *et al.* (2012).

sekresi enzim-enzim yang dibutuhkan biji saat berkecambah dan mengabsorbsi gula dari hasil pemecahan pati pada endosperm. Embrio gandum tersusun atas bakal tunas (*plumule*) dan bakal akar (*radicule*) (Percival 1921, Anderson and Garlinge 2000, Kirby 2002) (Gambar 13). Bakal tunas gandum sudah memiliki empat primordial daun dan primordial tunas (*primordial shoot apex*). Bakal akar juga sudah memiliki primordial akar primer (*radicle*) dan primordial akar seminal (*seminal root*) (Percival 1921, Kirby 2002).



Gambar 12. Endosperm pada biji gandum.
Sumber: modifikasi dari Pierson (2014).



Gambar 13. Embrio pada biji gandum.
Sumber: modifikasi dari Pierson (2014)

FASE PERTUMBUHAN GANDUM

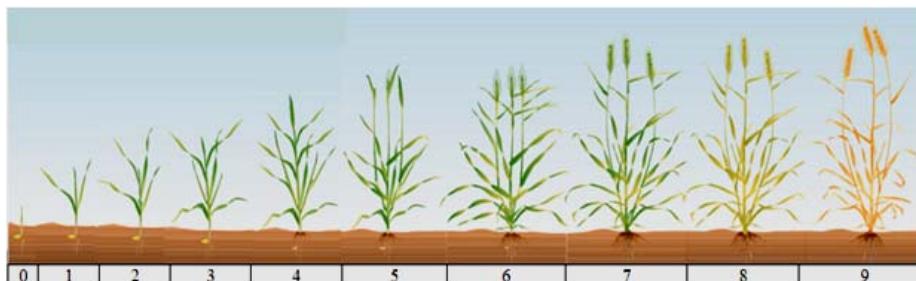
Fase pertumbuhan tanaman gandum sama dengan fase pertumbuhan serealia berbiji kecil lainnya seperti oat, barley, rye, dan padi (Large 1945, Zadoks *et al.* 1974). Waktu yang dibutuhkan dalam setiap fase pertumbuhan bergantung pada varietas, unsur hara, suhu dan kelembaban, serta dipengaruhi oleh hama dan penyakit. Terdapat beberapa teori yang menjelaskan fase-fase pertumbuhan tanaman gandum, mulai dari perkecambahan hingga masak fisiologis. Beberapa teori tentang fase pertumbuhan gandum antara lain yang dikemukakan oleh Feekes (1941), Haun (1973), dan Zadoks (1974).

Feekes (1941) membagi fase-fase pertumbuhan gandum berdasarkan perubahan fisik tanaman, mulai dari muncul daum pertama hingga masak fisiologis. Teori fase pertumbuhan ini umumnya digunakan membantu dalam pengendalian hama, penyakit dan gulma (Large 1954, Simmons *et al.* 1995). Fase pertumbuhan ini sering digunakan tetapi kurang populer karena kurang terperinci (Simmons *et al.* 1995).

Fase pertumbuhan gandum yang dikembangkan Haun (1993) berdasarkan pertumbuhan atau jumlah daun. Satu unit fase pertumbuhan ditandai oleh pertumbuhan atau pertambahan daun baru. Fase pertumbuhan ini juga kurang terinci dalam menjelaskan fase pertumbuhan anakan dan fase perkembangan biji, sehingga kurang praktis untuk pengamatan di lapangan, karena diperlukan ketelitian dalam menentukan status dari fase pertumbuhan yang sedang diamati (Haun 1973, Simmons *et al.* 1995).

Teori fase pertumbuhan gandum yang paling banyak digunakan dalam menentukan fase pertumbuhan gandum karena mampu menjelaskan pertumbuhan gandum secara lebih terinci dan mudah diaplikasikan di lapangan adalah yang diuraikan oleh Zadoks (1974). Fase pertumbuhan ini menggunakan dua digit angka, digit pertama menjelaskan fase pertumbuhan utama, sedangkan digit kedua menjelaskan fase pertumbuhan yang sedang terjadi (Zadoks *et al.* 1974, Simmons *et al.* 1995).

Fase pertumbuhan gandum dikembangkan oleh Feekes (1941), Haun (1973), dan Zadoks (1974), masing-masing memiliki skala yang berbeda. Feekes (1941) membagi skala pertumbuhan gandum dalam 11 fase, Haun (1973) 15 fase utama dan Zadoks (1974) 10 fase utama. Berdasarkan dari ketiga teori tersebut maka secara umum fase pertumbuhan gandum terbagi dalam 10 fase utama, yaitu fase 0=perkecambahan, fase 1=pertumbuhan kecambah, fase 2=pertumbuhan anakan, fase 3=perpanjangan batang, fase 4=bunting, fase 5=pembungaan, fase 6=antesis, fase 7=masak susu, fase 8=masak adonan, dan fase 9=pemasakan biji (Gambar 14).



Gambar 14. Tahap-tahap pertumbuhan dan perkembangan gandum.

- Keterangan:
- 0 = fase perkecambahan
 - 1 = fase pertumbuhan kecambah
 - 2 = pertumbuhan anakan
 - 3 = perpanjangan batang
 - 4 = bunting
 - 5 = pembungaan
 - 6 = antesis
 - 7 = masak susu
 - 8 = masak adonan
 - 9 = pemasakan biji

Sumber: dimodifikasi dari Poole (2005).

Fase Perkecambahan

Fase perkecambahan biji gandum (Tabel 1), diawali dengan proses imbibisi air dan oksigen oleh biji. Tahap ini sangat bergantung pada kelembaban tanah dan suhu lingkungan tumbuh, sehingga persiapan lahan sangat penting (Paulsen 1997, Anderson and Garlinge 2000, Australian Government 2008, CIMMYT 2014). Air dan oksigen dibutuhkan untuk memecah karbohidrat menjadi gula, yang dibutuhkan oleh primordial akar dan tunas untuk tumbuh sebelum mampu mendapatkan nutrisi dari lingkungan tumbuhnya (Anderson and Garlinge 2000). Hama utama pada fase ini adalah tikus dan burung yang memakan biji (CIMMYT 2014).

Tahap setelah imbibisi adalah fase perkecambahan biji yang masih berada dalam tanah. Bagian pertama muncul yang dari biji berkecambah adalah radikula (*radicle*), akan tumbuh pertama, kemudian diikuti oleh koleoptil (*coleoptiles*) (Gambar 15a). Pada umumnya koleoptil akan muncul ke permukaan tanah dalam waktu 1-2 hari, bergantung pada kedalaman penanaman biji dan kondisi lingkungan. Munculnya koleoptil ke permukaan tanah disebut *seed emergence*. Kecambah muncul pada permukaan tanah 5-7 hari bila kondisi lingkungan kurang mendukung dan ditanam terlalu dalam. Kecambah yang tumbuh 4-5 hari umumnya kurang toleran cekaman kekeringan (Paulsen 1997, Anderson and Garlinge 2000, Australian Government 2008, Nur *et al.* 2010).

Tabel 1. Fase perkecambahan gandum.

Zadoks (1974)		Haun (1973)	Feekes (1941)	Keterangan
Digit 1	Digit 2			
0	0	-	-	Biji kering
	1	-	-	Mulai terjadi imbibisi
	2	-	-	Proses imbibisi
	3	-	-	Proses imbibisi berakhir
	4	-	-	-
	5	-	-	Radikula muncul dari biji
	6	-	-	-
	7	-	-	Koleoptil muncul dari biji
	8	-	-	-
	9	0.0	-	Daun pertama berada diujung koleoptil

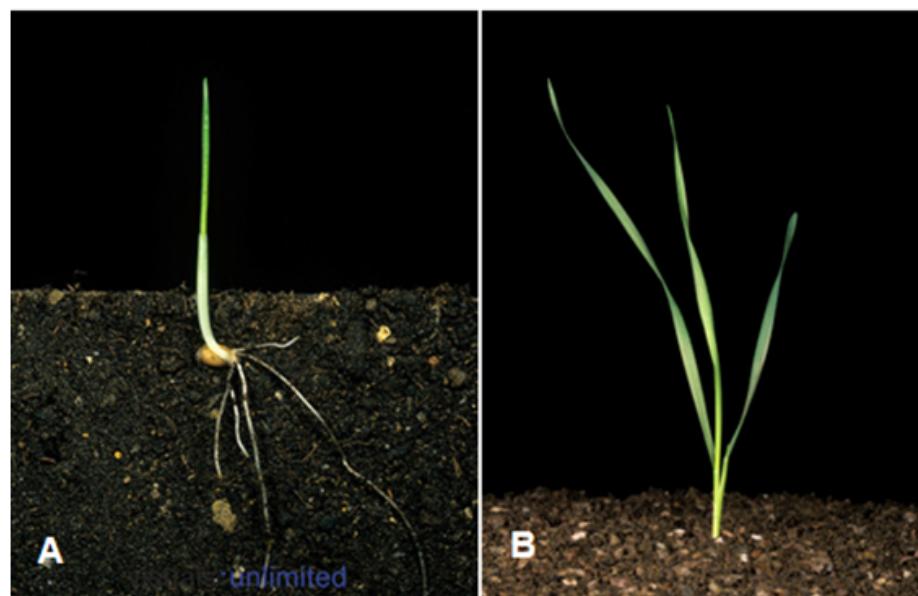


Gambar 15. Fase perkecambahan gandum: (A) fase perkecambahan (*germination*) (Zadoks 0,7) Sumber: Cattlin (2007a). (B) fase munculnya kecambah (*seed emergence*) (Zadoks 0,9) Sumber: Cattlin (2007b).

Fase Pertumbuhan Kecambah (*Seedling Growth*)

Setelah koleoptil muncul ke permukaan tanah maka pertumbuhannya akan terhenti dan dari ujung koleoptil akan muncul daun pertama yang tumbuh dari titik tumbuh (*growing point*) yang masih berada di bawah permukaan tanah (Gambar 16a). Koleoptil berfungsi melindungi daun pertama selama proses menembus permukaan tanah. Fase pertumbuhan kecambah berlangsung hingga terbentuk 5-9 buah daun, bergantung pada varietas dan kondisi

lingkungan (Gambar 16b) (Tabel 2). Varietas berumur dalam memiliki daun yang lebih banyak. Sebagai contoh, gandum musim dingin yang berumur dalam memiliki 11-15 daun. Pada fase ini penyiraman sangat penting karena persaingan dengan gulma masih tinggi dan titik tumbuh masih di bawah permukaan tanah (Paulsen 1997, Simmons *et al.* 1995, Acevedo *et al.* 2002, Anderson and Garlinge 2000, Australian Government 2008, CIMMYT 2014)



Gambar 16. Fase pertumbuhan kecambah gandum: (A) daun pertama muncul dari koleoptil (Zadoks 1,0), Sumber: Cattlin (2007c); (B) daun ke-2 terbuka, daun ke-3 muncul (Zadoks 1,2) Sumber: Cattlin (2007d).

Tabel 2. Fase pertumbuhan kecambah gandum

Zadoks (1974)		Haun (1973)	Feekees (1941)	Keterangan
Digit 1	Digit 2			
1	0	-	1	Daun pertama muncul dari koleoptil
	1	1.0	-	Daun pertama (1) terbuka
	2	1.+	-	Daun kedua (2) terbuka
	3	2.+	-	Daun ketiga (3) terbuka
	4	3.+	-	Daun keempat (4) terbuka
	5	4.+	-	Daun kelima (5) terbuka
	6	5.+	-	Daun keenam (6) terbuka
	7	6.+	-	Daun ketujuh (7) terbuka
	8	7.+	-	Daun kedelapan (8) terbuka
	9	-	-	Daun kesembilan (9) atau lebih terbuka

Fase Pertumbuhan Anakan (*Tillering*)

Anakan adalah tunas yang tumbuh dari tunas buku (*nodal bud*) pada batang utama. Pada fase ini titik tumbuh juga masih di bawah permukaan tanah. Pertumbuhan anakan erat kaitanya dengan laju pertumbuhan daun. Anakan pertama tumbuh pada filokron pertama, yaitu di antara koleoptil dan daun pertama (Gambar 17), pada saat tanaman berumur kurang lebih 30 HST (hari setelah tanam). Filokron (*phylochronus*) merupakan jarak antara daun dan daun berikutnya. Jumlah anakan bergantung pada varietas dan kondisi lingkungan tumbuh. Pertumbuhan daun pada anakan memiliki pola yang sama



Gambar 17. Fase pertumbuhan anakan gandum: (A) anakan pertama mulai muncul (Zadoks 2,1) (B) batang utama dengan tiga anakan (Zadoks 2,3) Sumber: Poole (2005).

Tabel 3. Fase pertumbuhan anakan gandum.

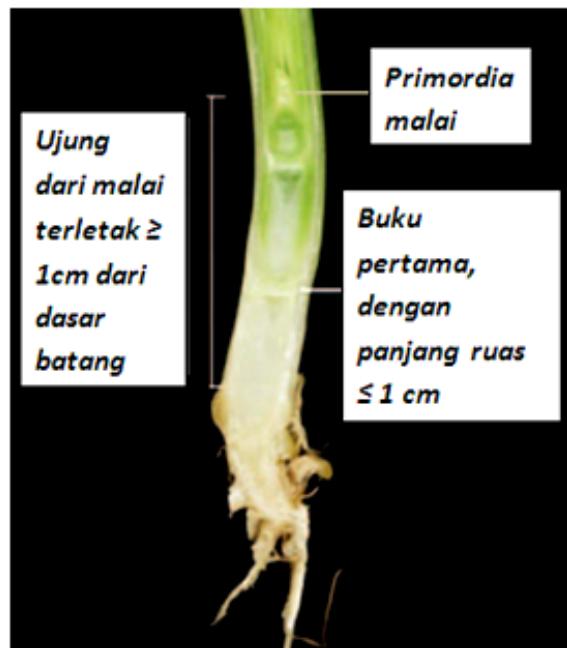
Zadoks (1974)		Haun (1973)	Feekes (1941)	Keterangan
Digit 1	Digit 2			
2	0	-	-	Hanya batang utama
	1	-	2	Batang utama dan 1 anakan
	2	-	-	Batang utama dan 2 anakan
	3	-	-	Batang utama dan 3 anakan
	4	-	-	Batang utama dan 4 anakan
	5	-	-	Batang utama dan 5 anakan
	6	-	3	Batang utama dan 6 anakan
	7	-	-	Batang utama dan 7 anakan
	8	-	-	Batang utama dan 8 anakan
	9	-	-	Batang utama dan 9 anakan atau lebih

dengan batang utama. Anakan yang tumbuh mendekati fase pembungaan akan mati (*scenescence*) terlebih dahulu. Anakan sangat penting bagi tanaman gandum sebagai kompensasi bila jarak tanam terlalu lebar atau bila batang utama gagal berkembang akibat cekaman lingkungan, baik biotik maupun abiotik. Namun cekaman kekeringan atau suhu yang rendah pada fase ini akan menurunkan jumlah anakan. Pada fase ini penyiangan dan pemupukan diperlukan untuk pertumbuhan optimal, terutama pupuk N (Paulsen 1997, Simmons *et al.* 1995, Anderson and Garlinge 2000, Australian Government 2008, Nur *et al.* 2010, CIMMYT 2014).

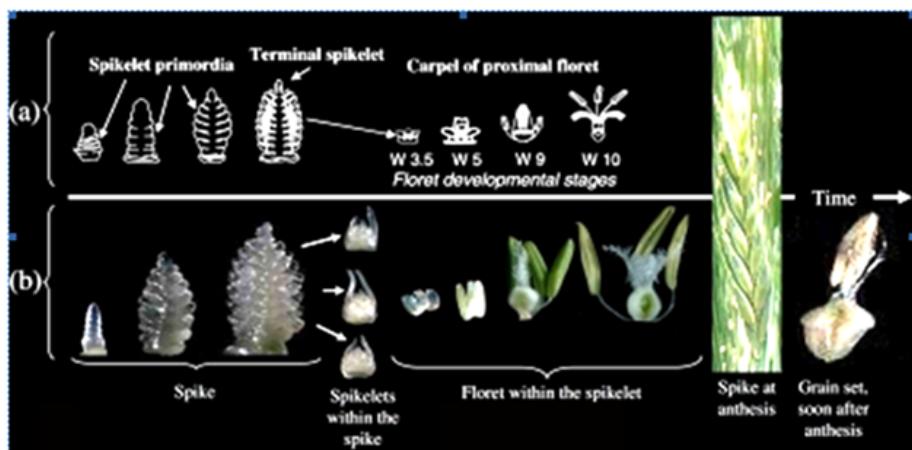
Fase Perpanjangan Batang (*Stem elongation/Jointing*)

Fase perpanjangan batang merupakan proses memanjangnya ruas-ruas pada batang gandum. Fase ini berkaitan dengan laju pertumbuhan daun, anakan, akar dan pembungaan. Fase ini dimulai pada saat jumlah anakan sudah cukup dan primordial bunga sudah berkembang sempurna, dimana benang sari sudah tumbuh dan spikelet terakhir (*terminal spikelet*) juga sudah terbentuk, meski dalam ukuran yang masih sangat kecil tersimpan pada titik tumbuh (Gambar 18 dan 19). Spikelet terakhir terbentuk pada saat tanaman memiliki 7-12 daun. Pada fase ini umumnya batang utama telah memiliki setidaknya lima daun. Fase pemanjangan batang akan berakhir pada saat daun bendera benar-benar terbuka, yang ditandai oleh terlihatnya ligule daun bendera (Tabel 4), namun pertambahan tinggi tanaman masih terus berlangsung hingga tanaman memasuki fase antesis (*anthesis*) (Gambar 20). Bakal malai tumbuh sebelum daun bendera muncul, hingga 10 hari setelah antesis. Pada saat daun bendera belum muncul, pertumbuhan malai lambat. Pada saat ligula daun bendera muncul, pertumbuhan sangat cepat (Paulsen 1997, Simmons *et al.* 1995, Anderson and Garlinge 2000, Acevedo *et al.* 2002, Australian Government 2008).

Pertumbuhan batang mendorong titik tumbuh ke atas permukaan tanah. Ruas yang pertama kali memanjang adalah ruas ke-4 dari bawah (Gambar 21). Pada saat ruas ini memanjang hingga 50% dari ukuran panjangnya, maka ruas di atasnya mulai memanjang (Gambar 22), begitu seterusnya hingga ruas terakhir (*peduncle*), yang membawa malai. *Peduncle* merupakan ruas yang paling panjang pada tanaman gandum. Panjang/tinggi tanaman gandum beragam dari 30-150 cm, bergantung pada varietas dan lingkungan tumbuh. Tinggi tanaman lebih disebabkan oleh ukuran ruas daripada jumlah buku. Tanaman gandum berbatang pendek umumnya lebih toleran rebah. Pada fase ini hara dan air yang cukup sangat penting karena jumlah spikelet dan floret mulai berkembang dan merupakan fase pertumbuhan yang paling cepat, begitu juga laju penyerapan unsur hara yang sangat tinggi, sehingga kekurangan hara dan cekaman lingkungan akan menurunkan hasil, terutama hara N dan air (Paulsen 1997, Simmons *et al.* 1995, Anderson and Garlinge 2000, Acevedo *et al.* 2002, Australian Government 2008, CIMMYT 2014).



Gambar 18. Batang utama dengan primordial malai.
Sumber: dimodifikasi dari Poole (2005).



Gambar 19. Perkembangan primordial malai: (a) perkembangan primordial malai, (b) perkembangan primordial malai gandum hingga antesis.
Sumber: Ferrante *et al.* (2010).

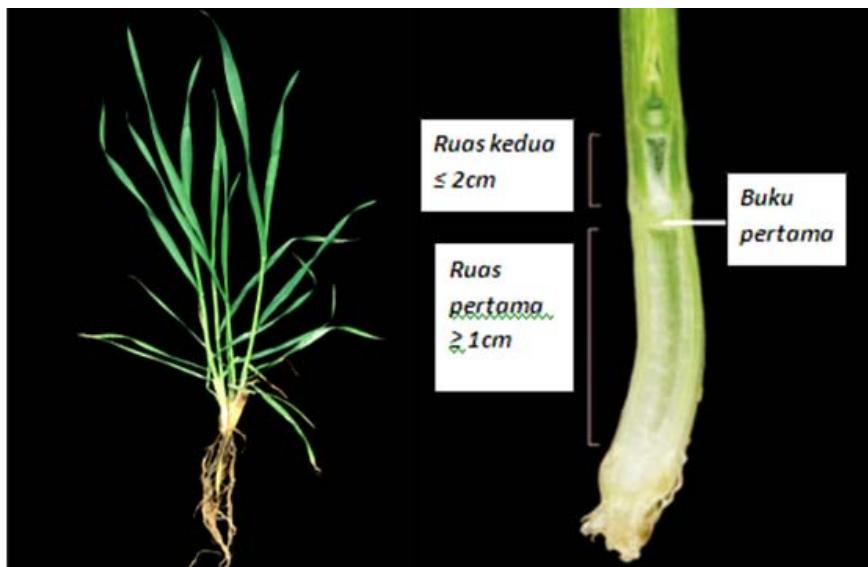
Tabel 4. Fase perpanjangan batang gandum.

Zadoks		Haun	Feekes	Keterangan
Digit 1	Digit 2			
3	0	-	4-5	Pemanjangan batang-pseudo (pseudo-stem)
	1	-	6	Ruas pertama (1) terlihat
	2	-	7	Ruas kedua (2) terlihat
	3	-	-	Ruas ketiga (3) terlihat
	4	-	-	Ruas keempat (4) terlihat
	5	-	-	Ruas kelima (5) terlihat
	6	-	-	Ruas keenam (6) terlihat
	7	-	8	Daun bendera baru muncul
	8	-	-	-
	9	-	9	Ligula (ligule/collar) daun bendera baru muncul



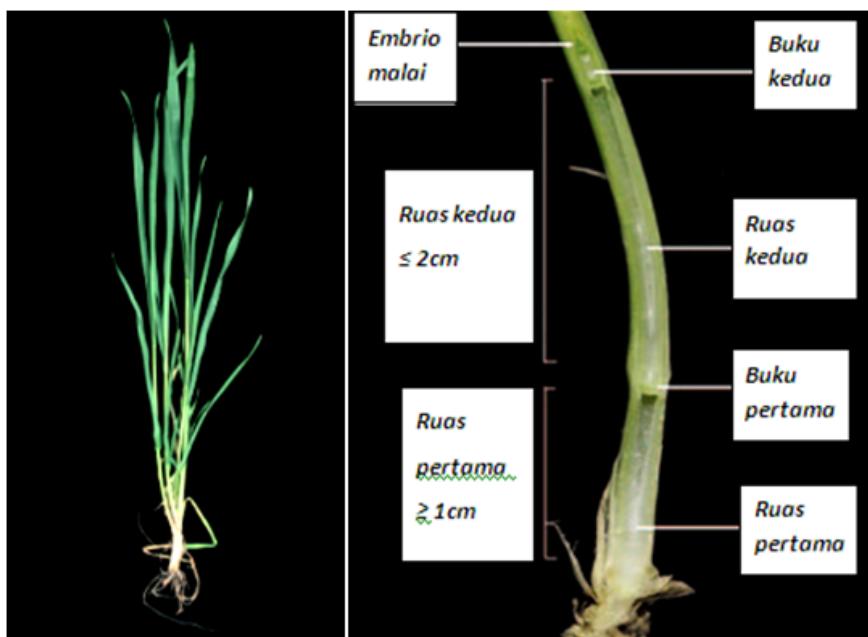
Gambar 20. Fase perpanjangan batang, pada saat daun bendera terlihat: (A) fase munculnya daun bendera (Zadoks 3,7), (B) daun bendera yang baru muncul.

Sumber: dimodifikasi dari
 1. Simmons *et al.* (1995)
 2. Poole (2005)



Gambar 21. Fase perpanjangan batang, ruas pertama: (A) tanaman gandum pada fase pemanjangan ruas pertama (Zadoks 3,1), (B) penampang melintang batang saat pemanjangan ruas pertama.

Sumber: Poole (2005)

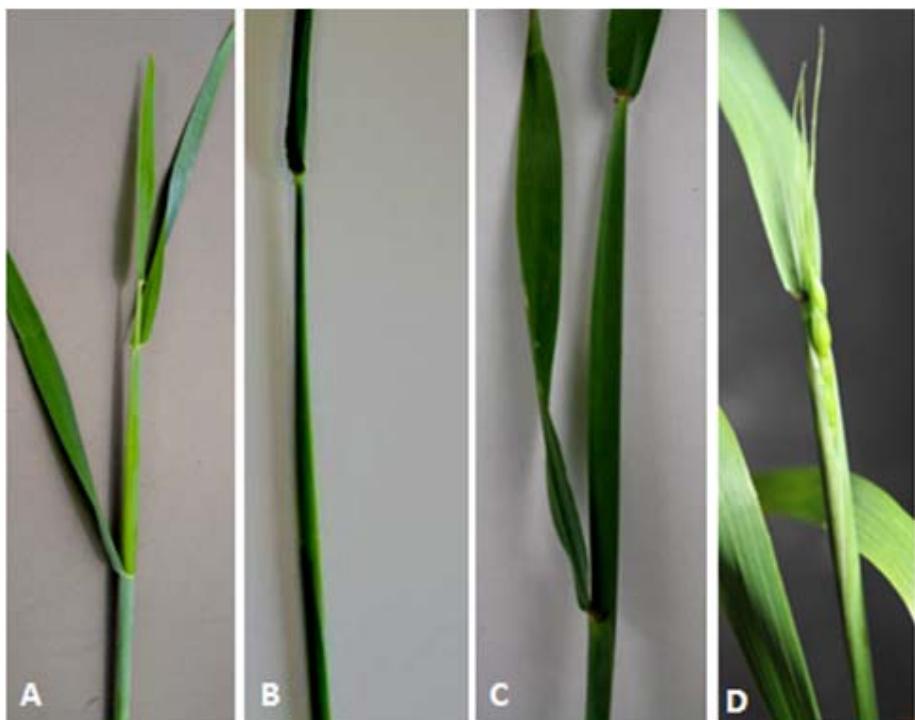


Gambar 22. Fase perpanjangan batang, ruas kedua: (A) tanaman gandum saat fase pemanjangan ruas kedua (Zadoks 3,2), (B) penampang melintang batang saat pemanjangan ruas kedua.

Sumber: Poole (2005).

Fase Bunting (*Bootling*)

Fase bunting tanaman gandum merupakan awal dari fase reproduktif meskipun sebenarnya telah dimulai sebelum tanaman memasuki fase pemanjangan batang. Fase ini ditandai oleh pemanjangan pelepasan daun bendera dan diakhiri oleh munculnya buluh (Gambar 23) (Tabel 5). Pertumbuhan malai pada pelepasan daun mulai cepat pada saat ligula daun bendera terlihat. Pelepasan daun bendera semakin membengkak, akibat dorongan pertumbuhan malai di dalamnya. Pada fase ini cekaman kekeringan, suhu udara yang rendah, dan penyinaran yang terlalu tinggi atau terlalu rendah berpengaruh terhadap jumlah malai pada saat panen, karena pertumbuhan bunga fertile dimulai pada fase ini. Suhu udara yang terlalu rendah atau terlalu tinggi mengakibatkan banyak bunga tunggal (*floret*) yang steril (Simmons *et al.* 1995, Warrington *et al.* 1977, Anderson and Garlinge 2000, Acevedo *et al.* 2002, CIMMYT 2014).



Gambar 23. Fase bunting tanaman gandum:

- A. Pemanjangan pelepasan daun bendera (Zadoks 4.1)
- B. Pelepasan daun mulai terlihat bengkak (Zadoks 4.3)
- C. Pelepasan daun bendera bengkak (Zadoks 4.5)
- D. Buluh mulai terlihat (Zadoks 4.9)

Sumber: dimodifikasi dari berbagai sumber.

Tabel 5. Fase bunting gandum.

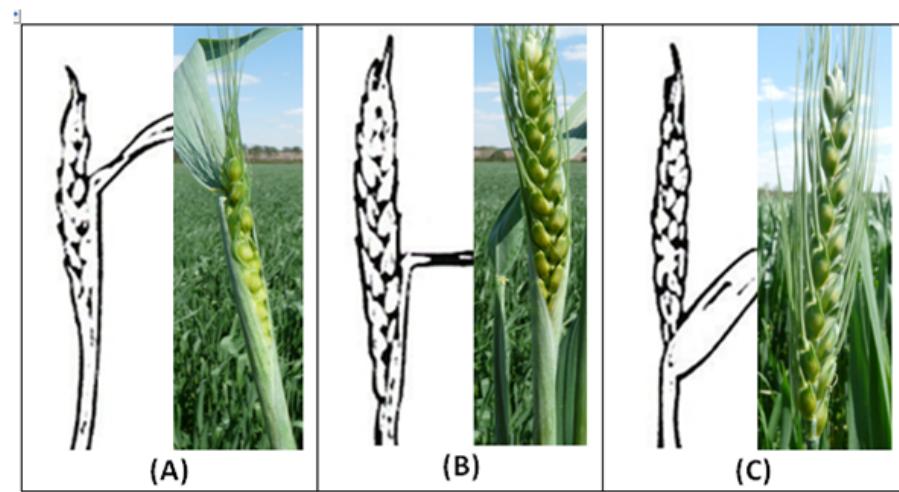
Zadoks (1974)		Haun (1973)	Feekes (1941)	Keterangan
Digit 1	Digit 2			
4	0	8	-	-
	1	9.0	-	Pelepah daun bendera memanjang
	2	-	-	-
	3	-	-	Pelepah daun bendera mulai terlihat bengkak
	4	-	-	-
	5	9.2	10	Pelepah daun bendera bengkak
	6	-	-	-
	7	-	-	Pelepah daun bendera membuka
	8	-	-	-
	9	10.1	10.1	Buluh (<i>awn</i>) terlihat

Fase Pembungaan (*Inflorescence Emergence/Heading*)

Fase pembungaan tanaman gandum diawali oleh munculnya malai dari dalam pelepah daun bendera (Tabel 6) (Gambar 24). Umur berbunga gandum berbeda dengan jagung. Pada jagung, umur berbunga ditentukan jika 50% kotak sari pada poros utama malai telah pecah. Pada gandum, sorgum, padi, oat barley dan rye, umur berbunga adalah jika malai telah 50% keluar dari dalam pelepah daun bendera. Pada fase ini pertumbuhan malai dalam pelepah daun bendera masih terus berlangsung dan semakin cepat, hingga mendekati antesis. Proses perpanjangan ruas terakhir (*peduncle*) juga masih terus berlangsung. Di dalam malai, bunga tunggal juga terus berkembang, beberapa bunga tunggal akan degenerasi/luruh/aborsi akibat persaingan nutrisi antarbunga tunggal (Gambar 25). Bunga yang mengalami degenerasi ada yang luruh/aborsi, atau akan menjadi bunga abnormal. Umumnya bunga abnormal masih memiliki anter tetapi bakal bijinya tidak berkembang. Bunga yang mengalami degenerasi umumnya bunga tunggal yang berada paling jauh dari tangkai malai utama, seperti bunga tunggal yang berada paling ujung (terminal spikelet/floret) dan bunga tunggal yang berada pada pangkal tangkai utama (Gambar 26). Munculnya malai pada batang utama umumnya lebih awal dibanding anakan. Fase ini rentan terhadap kekurangan air. Umur berbunga gandum yang ditanam pada ketinggian di atas 1.000 mdpl antara berkisar 43-65 HST, sedangkan di dataran rendah \leq 500 mdpl berkisar antara 43-65 HST (Paulsen 1997, Simmons *et al.* 1995, Acevedo *et al.* 2002, Nur *et al.* 2010, Wirawan *et al.* 2013, Wahyu *et al.* 2013, CIMMYT 2014).

Tabel 6. Fase pembungaan gandum.

Zadoks (1974)		Haun (1973)	Feekes (1941)	Keterangan
Digit 1	Digit 2			
5	0	10,2	10,1	Spikelet pertama baru saja terlihat
	1	-	-	-
	2	-	10,2	1/4 malai muncul
	3	-	-	-
	4	-	10,3	1/2 malai muncul
	5	10,5	-	-
	6	-	10,4	3/4 malai muncul
	7	10,7	-	-
	8	-	10,5	Malai muncul 100%
	9	11,0	-	-

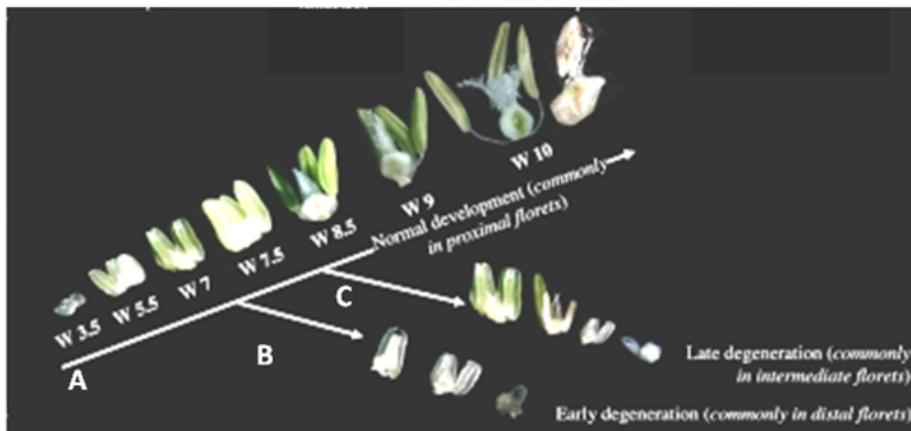


Gambar 24. Fase pembungaan tanaman gandum:

- A. Malai muncul 25% (Zadoks 5.2-5.3)
- B. Malai muncul 50% (Zadoks 5.4-5.5)
- C. Malai muncul 100% (Zadoks 5.8-5.9)

Sumber: dimodifikasi dari:

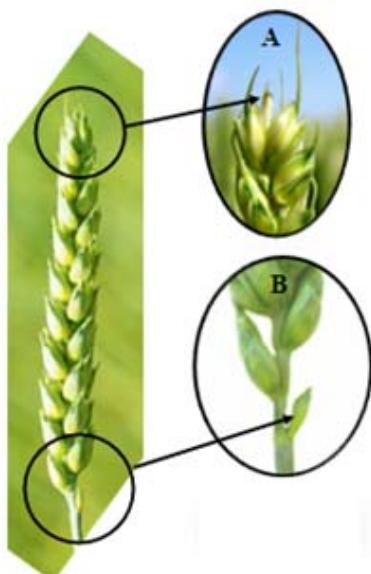
- 1. blog.dynagra.com
- 2. thomascountyag.com



Gambar 25. Tahapan pertumbuhan anter di dalam bunga tunggal (*floret*) gandum:

- Arah panah A menunjukkan tahap perkembangan bunga normal (umumnya yang berada di tengah/dekat dengan tangkai malai utama)
- Arah panah B menunjukkan tahap perkembangan bunga yang mengalami degenerasi pertama (umumnya terjadi pada bunga tunggal yang luruh/aborsi)
- Arah panah C menunjukkan tahap perkembangan bunga yang terakhir mengalami degenerasi (umumnya terjadi pada bunga tunggal yang berada di tengah/terminal spikelet)

Sumber: dimodifikasi dari: Ferrante *et al.* (2010).



Gambar 26. Bunga abnormal pada malai gandum:

- Bunga abnormal pada ujung malai/terminal spikelet
- Bunga abnormal pada pangkal malai

Sumber: dimodifikasi dari: 1. Anonimous (2014a).
2. Anonimous (2014b).

Fase Antesis (*Anthesis*)

Fase antesis merupakan fase pecahnya kotak sari (*anther*) dan tersebarnya serbuk sari keluar kotak sari. Bunga gandum termasuk klestogami, yaitu tanaman menyerbuk sendiri (*self pollination*), di Maros Sulawesi Selatan, kotak sari telah pecah sebelum keluar dari sekam. Pada saat kotak sari keluar dari sekam (*lemma* dan *palea*) merupakan pertanda proses penyerbukan sudah terjadi, 5-7% serbuk sari sudah tersebar di dalam sekam. Kotak sari yang keluar dari sekam berwarna kuning hingga putih (de Vreis 1971, Allan 1980, Paulsen 1997, Simmons *et al.* 1995, Anderson and Garlinge 2000, Acevedo *et al.* 2002, Australian Government 2008).

Fase antesis diawali dengan pecahnya sebuk sari dan diakhiri munculnya kotak sari di seluruh bagian malai (Gambar 27) (Tabel 7). Kotak sari yang pertama pecah adalah kotak sari pada bunga tunggal (*floret*) yang terletak pada 1/2 bagian tengah malai, kemudian bagian atas malai dan terakhir adalah bunga tunggal yang terletak pada bagian paling bawah malai. Proses antesis dari awal hingga malai 100% antesis memerlukan waktu 3-5 hari. Bunga akan mekar setiap waktu pada siang hari, namun kebanyakan terjadi pada pagi hari dan hanya sedikit yang mekar pada siang hari, bergantung pada varietas dan kondisi lingkungan. Bunga tunggal gandum akan mekar hanya dalam waktu 8-60 menit.



Gambar 27. Tahapan pertumbuhan anter di dalam bunga tunggal (*floret*) gandum:
A. Kotak sari pertama muncul di 1/2 pertengahan malai (Zadoks 6.0-6.3)
B. 50% kotak sari sudah keluar dari sekam (Zadoks 6.4-6.5)
C. 100% kotak sari sudah keluar dari sekam (Zadoks 6.8-6.9)

Sumber: dimodifikasi dari: 1. LaBarge and County (2011).
2. University of Nebraska Lincoln (2012).
3. Montana State University (2014).

Tabel 7. Fase antesis bunga gandum .

Zadoks (1974)		Haun (1973)	Feekes (1941)	Keterangan
Digit 1	Digit 2			
6	0	11,4	10,51	Mulai antesis (serbuk sari pecah)
	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-	10,52	50% antesis
	5	11,5		
	6	-	-	-
	7	-	-	-
	8	-	10,54	Antesis 100%
	9	11,6		

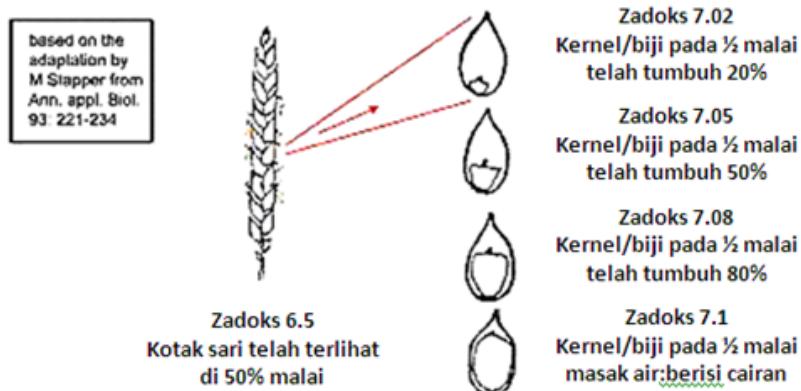
Putik (*stigma*) akan terus reseptif (*receptive*) hingga 13 hari setelah antesis, namun yang paling reseptif adalah 0-3 hari setelah antesis. Viabilitas serbuk sari di udara bebas kurang dari 30 menit (Percival 1921, de Vreis 1971, Allan 1980, Paulsen 1997, Simmons *et al.* 1995, Anderson and Garlinge 2000, Acevedo *et al.* 2002, Australian Government 2008).

Peluang gandum untuk menyerbuk silang adalah $\pm 10\%$, bergantung pada kepadatan populasi dan kondisi lingkungan. Pada kondisi cuaca yang kering dan hangat, peluang menyerbuk silang 3,7-9,7%. Pada kondisi kelembaban udara yang tinggi, peluang menyerbuk silangnya 0,1% dan pada musim dingin 0,1-5,6%. Lebih dari 90% serbuk sari gandum jatuh pada radius 3 m dari tanaman (Acevedo *et al.* 2002, Nevo *et al.* 2002, Australian Government 2008). Cekaman kekurangan air 7 hari menjelang dan saat antesis dapat menurunkan hasil biji per malai (Wardlaw 1971).

Fase Masak Susu (*Milk development*)

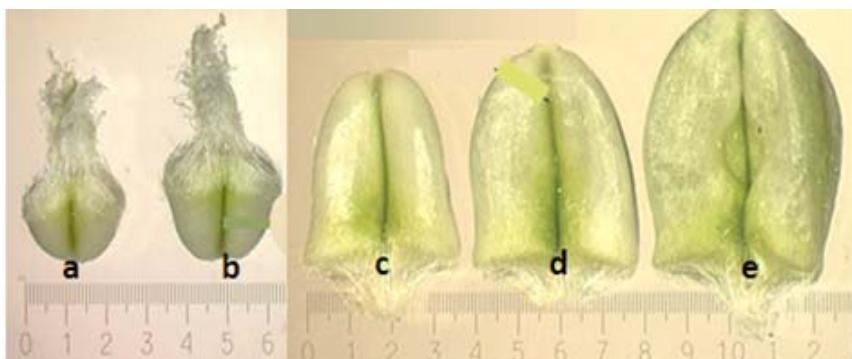
Setelah terjadi proses penyerbukan maka proses pembuahan akan segera dimulai, diawali dengan perkecambahan serbuk sari di atas putik, proses ini terjadi hanya beberapa menit setelah serbuk sari mendarat di atas permukaan putik yang reseptif. Serbuk sari yang berkecambah akan membentuk tabung sari (*pollen tube*). Tabung sari tumbuh 1-2 jam setelah penyerbukan. Proses selanjutnya adalah pembuahan yang terjadi 30-40 jam setelah penyerbukan. (Percival 1921, de Vreis 1971, Australian Government 2008).

Setelah terjadi proses pembuahan maka endosperm (bakal biji/*kernel*) dan embrio pada bakal biji segera berkembang. Laju pertumbuhan biji dan embrio bergantung pada varietas dan lingkungan. Ukuran biji bertambah dengan cepat, 7-14 hari setelah penyerbukan ukuran biji sudah mencapai maksimum, tetapi penimbunan pati belum maksimal, begitu pula pertumbuhan embrio. Ukuran biji muda akan tetap hingga masak fisiologis (Gambar 28 dan 29). (Percival 1921, Paulsen 1997, Simmons *et al.* 1995, Australian Government 2008, Wheat BP 2014).



Gambar 28. Ilustrasi pertambahan ukuran biji gandum.

Sumber: dimodifikasi dari Rawson and Macperson (2011).



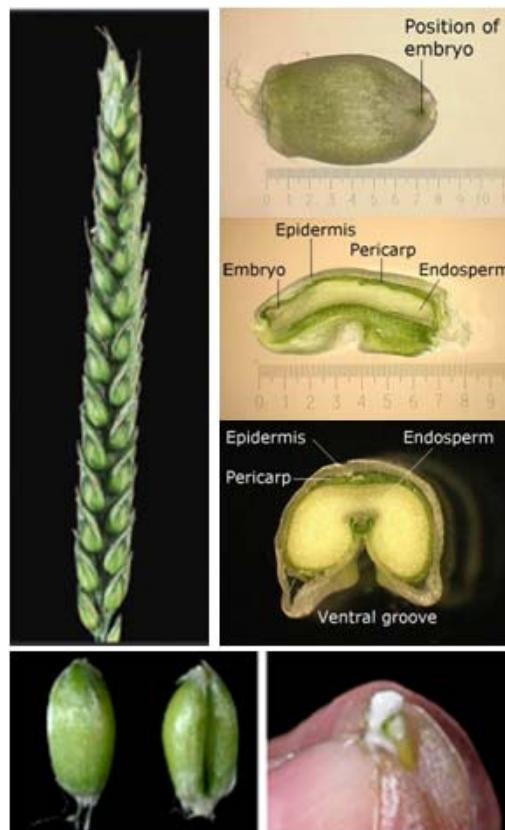
Gambar 29. Ukuran endosperm pada biji gandum setelah penyerbukan (DAP:day after pollination): (a) 1 DAP, (b) 2 DAP, (c), 6 DAP , (d) 8 DAP, (e) 10 DAP.

Sumber: dimodifikasi dari Winfied (2014).

Setelah ukuran endosperm mencapai maksimum, akumulasi pati dan protein segera meningkat dengan cepat. Pada awal akumulasi pati dan protein, endosperm masih berupa cairan, fase ini disebut fase masak susu. Fase masak susu diawali pada saat cairan endosperm masih berupa air hingga berupa cairan yang menyerupai susu (Tabel 8) (Percival 1921, Paulsen 1997, Simmons *et al.* 1995, Australian Government 2008, Herbek and Lee 2009). Pada fase masak susu ini, sekam dan biji masih berwarna hijau, embrio masih dapat dipisahkan dengan mudah dari endosperm, dan jika ditekan biji akan mudah pecah dan berisi cairan seperti susu (Gambar 30). Fase paling awal dari fase masak susu adalah fase masak air (*water ripe*), yaitu endosperm hanya berisi air. Pada fase ini embrio masih sangat kecil, berada pada fase globular. Fase masak air terjadi 4-10 hari setelah pembuahan. Fase selanjutnya adalah masak susu awal (*early milk*), yaitu cairan dalam endosperm tampak seperti susu. Hal ini terjadi karena butiran pati telah terbentuk. Pada fase ini ukuran embrio bertambah tapi masih kecil. Peningkatan kandungan pati mengakibatkan kekentalan cairan dalam

Tabel 8. Fase masak susu pada gandum.

Zadoks (1974)		Haun (1973)	Feekes (1941)	Keterangan
Digit 1	Digit 2			
7	0	-	-	-
	1	12,1	-	Biji (caryopsis/kernel) berisi/masak air (<i>water ripe</i>)
	2	-	-	-
	3	13,0	11,1	Masak susu awal (<i>early milk</i>)
	4	-	-	-
	5	-	-	Masak susu pertengahan (<i>medium milk</i>)
	6	-	-	-
	7	-	-	Masak susu akhir (<i>late milk</i>)
	8	-	-	-
	9	-	-	-



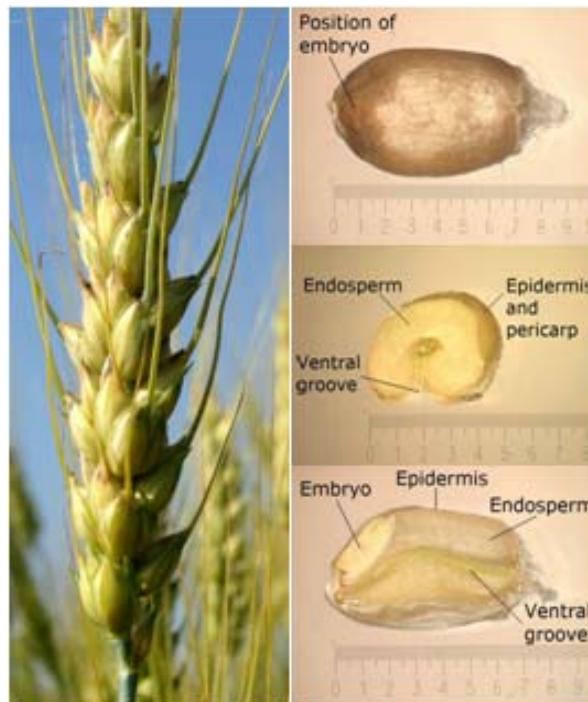
Gambar 30. Biji gandum saat masak susu.

Sumber: dimodifikasi dari: 1. Poole (2005).
2. Winfied (2014).
3. Flint (1990).

endosperm bertambah, pada 11-16 hari setelah pembuahan biji memasuki fase masak susu pertengahan (*medium milk*). Pada fase ini embrio tumbuh dengan cepat. Pada hari ke-16, biji memasuki fase masak susu akhir (*late milk*), pada fase cairan seperti susu yang kental, embrio telah terbentuk sempurna begitu pula dengan skutelum (Percival 1921, Paulsen 1997, Simmons *et al.* 1995, Australian Government 2008, Herbek and Lee 2009).

Fase Masak Adonan (*Dough stage*)

Fase masak adonan merupakan fase akumulasi pati pada endosperm meningkat dengan sangat cepat. Cairan dalam endosperm biji semakin mengental jika ditekan sehingga seperti adonan kue. Oleh karena itu, fase ini disebut sebagai fase masak adonan. Pada fase ini, sekam dan biji akan mulai berubah warna menjadi kekuningan atau pucat (Gambar 31) (Tabel 9). Fase masak adonan diawali dengan fase awal masak adonan (*early dough*) (Gambar 32a). Pada fase ini, akumulasi kandungan air masih banyak tetapi sudah mulai mengental. Fase selanjutnya adalah fase masak adonan lunak (*soft dough*) (Gambar 32b). Pada fase ini, endosperm terasa lembut tetapi kering karena kandungan air sudah turun. Akumulasi bahan kering biji sebagian besar sudah tercapai. Embrio sudah hampir mendekati ukuran maksimum. Fase masak adonan terjadi antara 17-21



Gambar 31. Biji gandum saat masak adonan (*dough development*).

Sumber: dimodifikasi dari:
1. La Bar (2009)
2. Winfied (2014)
3. Flint (1990)

Tabel 9. Fase masak adonan pada gandum.

Zadoks (1974)		Haun (1973)	Feekes (1941)	Keterangan
Digit 1	Digit 2			
8	0	-	-	-
	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	14.0	11.2	Awal masak adonan (<i>early dough</i>)
	4	-	-	-
	5	-	-	Masa adonan lunak (<i>soft dough</i>)
	6	-	-	-
	7	15.0	-	Masa adonan keras (<i>hard dough</i>)
	8	-	-	-
	9	-	-	-



Gambar 32. Biji gandum saat masak adonan (*dough development*):

- a. Awal masak adonan (*Early dough*)
- b. Masak adonan lunak (*Soft dough*)
- c. Masak adonan keras (*Hard dough*)

Sumber: dimodifikasi dari Flint (1990).

hari setelah penyerbukan. Fase terakhir dari fase ini adalah masak adonan keras (*hard dough*) (Gambar 32c). Pada fase ini, endosperm sudah keras jika ditekan dengan jari, biji sudah tidak bisa pecah tetapi meninggalkan bekas kuku (*dented*). Kandungan air pada endosperm berkisar antara 30-40%. Bobot kering kernel sudah mencapai maximum. Fase ini terjadi pada 21-30 hari setelah penyerbukan. Pada fase masak adonan, tanaman rentan terhadap rebah (Percival 1921, Paulsen 1997, Simmons *et al.* 1995, Australian Government 2008, Herbek and Lee 2009).

Fase Pemasakan Biji (*Ripening*)

Fase pemasakan gandum terjadi saat biji berumur 30-40 hari setelah penyerbukan, bergantung pada varietas dan kondisi lingkungan. Umur masak fisiologis gandum yang ditanam di dataran tinggi ≥ 1000 mdpl berkisar antara 94-105 HST, sedangkan yang ditanam pada ketinggian ≤ 500 mdpl lebih cepat, 73-93 HST. Pada fase ini tanaman mulai mengering, warna biji berubah semakin kuning tua/cokelat/merah, bergantung pada varietas (Tabel 10). Biji pada fase ini terasa keras saat ditekan dengan kuku, dan sulit pecah (Gambar 33). Kandungan air biji akan turun, hingga saat masak fisiologis kandungan air biji 13-12%, dan tanaman siap dipanen. Memasuki umur panen, biji gandum yang kering adakalanya tampak keluar dari sekam, bahkan pada varietas yang mudah rontok, biji akan rontok di lapang bila kondisi sangat kering. Namun bila kondisi udara lembab, biji yang sudah masuk masa panen akan tumbuh di malai (Gambar 34). Biji gandum sebaiknya dipanen pada kadar air biji kurang dari 20%, untuk mencegah kerusakan biji (Percival 1921, Paulsen 1997, Simmons *et al.* 1995, Australian Government 2008, Herbek and Lee 2009, Nur *et al.* 2010, Wirawan *et al.* 2013, Wahyu *et al.* 2013).

Tabel 10. Fase pemasakan biji pada gandum.

Zadoks (1974)		Haun (1973)	Feekees (1941)	Keterangan
Digit 1	Digit 2			
9	0	-	-	-
	1	-	11,3	Biji (<i>caryopsis/kernel</i>) keras, saat ditekan menggunakan ibu jari dan kuku, biji sulit pecah
	2	16	11,4	Biji (<i>caryopsis/kernel</i>) keras, saat ditekan menggunakan ibu jari dan kuku, biji sudah tidak bisa berlekuk (<i>dented</i>)
	3	-	-	Biji (<i>caryopsis/kernel</i>) mudah rontok pada siang hari
	4	-	-	Lewat masak fisiologis (<i>over-ripe</i>), batang/jerami mati dan rebah
	5	-	-	Biji dorman (<i>dormant</i>)
	6	-	-	Viabilitas biji/benih 50%
	7	-	-	Masa dormansi hilang
	8	-	-	Induksi dormansi sekunder/kedua (<i>secondary dormancy induced</i>)
	9	-	-	Masa dormansi sekunder hilang



Gambar 33. Biji gandum saat pemasakan biji (*ripening*).

Sumber: dimodifikasi dari:
1. Agrodaily (2014)
2. Winfield (2014)
3. Flint (1990)



Gambar 34. Biji gandum yang tumbuh di lapang.

Sumber: Taken (2008)

DAFTAR PUSTAKA

- Acevedo, E, P. Silva and H. Silva. 2002. Wheat growth and physiology', in Curtis, B.C., S.Rajaram and M.H. Gomez (eds) Bread wheat improvement and production, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Agrodaily. 2014. Wheat being smuggled to Afghanistan seized. Diunduh 4 Maret 2015. <http://agrodaily.com/2014/04/23/wheat-being-smuggled-to-afghanistan-seized/>.
- Allan, R.E. 1980. Wheat. In: Hybridization of crop Plants. American Society of Agronomy-Crop Science Society of America. p.709-720.
- Anderson, P.M., E.A. Oelke, and S.R. Simmons. 2013. Growth and development guide for spring barley. University of Minnesota Agricultural Extension. Diunduh 5 Agustus 2014 <http://www.extension.umn.edu/agriculture/small-grains/growth-and-development/spring-barley/>.
- Anderson, W.K and J. Garlinge. 2000. The wheat book: principles and practice. The Grains Research and Development Corporation. Department of Agriculture. Western Australia.
- Anonimous. 2014a. Windows Vista Plants & Leaves photography (Vol.13): HD Wheat Picture: Ears of Green wheat 1920*1440. Di unduh 4 September 2014. http://www.wallcoo.net/nature/vista_plants_wallpapers_pack_13/html/wallpaper27.html
- Anonimous. 2014b. Wheat ear. Wallspaper wide. Di unduh 4 September 2014. http://wallpaperswide.com/wheat_ear-wallpapers.html
- Anson N.M., Y. M. Hemery, A. Bast, and G. R. M. M. Haenen. 2012. Optimizing the bioactive potential of wheat bran by processing. Food Funct 3: 362-375.
- Atta, B.M, T. Mahmood, and R.M. Trethowan. 2013. Relationship between root morphology and grain yield of wheat in North-Western Australia. Australian Journal of Crop Science 7(13):2108-2115.
- Australian Government. 2008. The biology of *Triticum Aestivum* L.em Thell (Bread Wheat). Office of the gene technology regulator. Department of Health and Ageing. Australian Government.
- Carvalho T.C., F. C. Krzyzanowski, O.C. Ohlson, and M. Panobianco. 2013. Tetrazolium test adjustment for wheat seeds. J. Seed Sci. 35(3): 361-367.
- Cattlin N. 2007a. Germinating wheat seed with first root radicle and plumule emerging. Visuals Unlimited, Inc. Diunduh 20 Juli 2015. http://visualsunlimited.photoshelter.com/image?&_bqG=3&_bqH=eJxLz00uCA0ts0gPygkodjaMzCrJMo6MSgnxz3O0MjKyMjUwsDI0AAIrz3iXYGfb8ozUxBLt9NSi3My8xJLM_Dw1sHi8o5.LbQmQ7R_kHu_pYusP0uJt4ImQaGFhkm6arRbv6BxiW5yaWJScAQArICPY&GI_ID=
- Cattlin N. 2007b. Germinating wheat seedling with roots and coleoptile just emerging above the soil. Visuals Unlimited, Inc. Diunduh 20 Juli 2015. http://visualsunlimited.photoshelter.com/image?&_bqG=2&_bqH=eJxLz00uCA0ts0gPygkodjaMzCrJMo6MSgnxz3O0MjKyMjUwsDI0AAIrz3iXYGfb8ozUxBLt9NSi3My8xJLM_Dw1sHi8o5.LbQmQ7R_kHu_pYusP0uJt4ImQaGFhkm6arRbv6BxiW5yaWJScAQArICPY&GI_ID=
- Cattlin N. 2007c. Wheat seedling with single leaf shoot seed and roots in glass-sided tank. Visuals Unlimited, Inc. Diunduh 20 Juli 2015. http://visualsunlimited.com/image?&_bqG=1&_bqH=eJxLz00uCA0ts0gPygkodjaMzCrJMo6MSgnxz3O0MjKyMjUwsDI0AAIrz3iXYGfb8ozUxBLt9NSi3My8xJLM_Dw1sHi8o5.LbQmQ7R_kHu_pYusP0uJt4ImQaGFhkm6arRbv6BxiW5yaWJScAQArICPY&GI_ID=

- [photoshelter.com/image?&_bqG=6&_bqH=eJxLz00uCA0ts0gPygkodja_MzCrJMo6MSgnxz3O0MjKyMjUwsDl0AAIrz3iXYGfb8ozUxBLt9NSi3My8xJLM_Dw1sHi8o5LbQmQ7R_kHu_pYusPUu9t4lmQaGFhkm6arRbv6BxiW5yaWJScAQArCPY&Gl_ID](http://photoshelter.com/image?&_bqG=6&_bqH=eJxLz00uCA0ts0gPygkodja_MzCrJMo6MSgnxz3O0MjKyMjUwsDl0AAIrz3iXYGfb8ozUxBLt9NSi3My8xJLM_Dw1sHi8o5LbQmQ7R_kHu_pYusPUu9t4lmQaGFhkm6arRbv6BxiW5yaWJScAQArCPY&Gl_ID=)
- Cattlin N. 2007d. Seedling wheat plant at growth stage 13, black background. Visuals Unlimited, Inc. Diunduh 20 Juli 2015. http://visualsunlimited.photoshelter.com/image?&_bqG=33&_bqH=eJxzCgwNcc82NiitTK8INTf18Sij9zQ2Sy.L1A21sjS3MjUwsDl0AAIrz3iXYGfb8ozUxBLt4tTUIJzMvHQ1sGC8o5.LbQmQ7R_kHu_pYusPUu9t4lmQaGFhkm6arRbv6BxiW5yaWJScAQBTfCGq&Gl_ID
- Cattlin N. 2011. Wheat seedling, stage 22 showing roots and leaves. Visuals Unlimited, Inc. Diunduh 20 Juli 2015. <http://visualsunlimited.photoshelter.com/image/I0000UkFeM7BO3t0>
- CIMMYT. 2014. Diunduh 23 September 2015. <http://wheatdoctor.org/wheat-growth-stages-and-zadok-s-scale>
- Conley S.P, P. Scharf, C Mansfield, and E. Christmas. 2003. Wheat tiller number and spring nitrogen recommendations. Integrated Pest & Crop Management Newsletter, Missouri, v. 13, n. 2. Diunduh 21 April 2015. www.agry.purdue.edu/ext/corn/news/.../WheatTopDressN-0128.pdf
- Cristina de Carvalho ,T , F.C. Krzyzanowski, O C Ohlson, M Panobianco. 2013. Tetrazolium test adjustment for wheat seeds. J. Seed Sci. (35)3: 361-367.
- deVries, A.P. 1971. Flowering Biology of Wheat, Particularly in View of Hybrid Seed Production - A Review. *Euphytica* 20:152-170.
- Elias, E.M. 1995. Durum wheat product. In: Durum wheat quality in the Mediterranean region. (Eds.): DiFohzor, Kaan N, Nachit M. CIHEAM. Zaragoza. p.23-31.
- FAO. 2013. Crop water information: wheat. FAO WATER. Diunduh 20 Juli 2015. http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_wheat.html
- Feekes. 1941. De tarwe en haar milieu, Version XVII; Tarwe Comm: Groningen, The Netherlands, pp. 560-561.
- Ferrante A, R. Savin, and G.A Slafer. 2010. Floret development of durum wheat in response to nitrogen availability. J. Exp. Bot. 61:4351-4359.
- Flint, M. L., ed. 1990. Integrated pest management for small grains. Oakland: University of California Division of Agriculture and Natural Resources Publication 3333.
- Hamdani, M., Sri Widodo, Ismail, dan M.M. Dahlan 2002. Evaluasi galur gandum introduksi dan CIMMYT. Prosiding Kongres IV dan Simposium Nasional PERIPI. Universitas Gadjah mada. Yogyakarta.
- Haun, J.R. 1973. Visual quantification of wheat development. Agronomy journal 65(1):116-119.
- Herbek, J. and C. Lee. 2009. Growth and development in a comprehensive guide to wheat management in Kentucky. University of Kentucky Cooperative Extension.
- Hossain, A., J.A.T da Silva , M.V. Lozovskaya, V.P. Zvolinsky, and V.I. Mukhortov. 2012. High temperature combined with drought affect rainfed spring wheat and barley in south-eastern Russia: Yield, relative performance and heat susceptibility index. Journal of Plant Breeding and Crop Science 4(11):184-196.
- Host, N.T., A. Schmidt, and J. Ibmayer.1805. Icones et descriptions: Graminum austriacorum Vol. 3. Vindobonae: A. Schmidt, 1801-1809. p 365. Diunduh 22 November 2015. <http://www.illustratedgarden.org/mobot/rarebooks/page.asp?relation=QK495F19H671801V3&identifier=0123>

- Illinois State University. 2014. AGR 150 - Principles of Agronomy. Laboratory links: Lab 6. Reproductive anatomy. Diunduh 15 September 2014 <http://www.castonline.ilstu.edu/ksmick/150/150mflower/150whspik.JPG>
- Kirby, E.J.M. 2002. Botany of the wheat plant. In: Bread wheat: Improvement and production. (Eds.): Curtis B.C, Rajaram. S, MacPherson G.H. FAO.
- LaBar, M. 2009. Wheat (or barley) seed head, Michigan. Diunduh 3 Juni 2015. <https://www.flickr.com/photos/martinlabar/3706178167/>
- LaBarge, G. and F. County. 2011. Identifying Wheat Head Emergence Stages to Time Head Scab Treatments. Maumee Valley Agriculture and Natural Resources. The Ohio State University. Diunduh 2 Mei 2015. http://maumeeag.osu.edu/wp-content/uploads/2011/05/IMG_3959small.jpg
- Large, E.C. 1954. Growth stages in cereals illustration of the Feekes scale. Plant Pathology 3(4):128-129.
- Lumpkin T. diambil pada November 14, 2008. Pre-harvest sprouting in wheat. Diunduh 7 Desember 2015 www.flickr.com/photos/cimmyt/5123745513/
- Montana State University. 2014. Wheat growth stages: Flowering. Collage of Agriculture. Montana State University. Diunduh 14 September 2015. <https://pestweb.montana.edu/Owbm/Home/Wheat>
- Nevo, E., A.B. Korol, A. Beiles, and T. Fahima. 2002. Evolution of wild emmer and wheat improvement: population genetic, genetic resources and genome organization of wheat's progenitor *Triticum dicoccoides*. XXII. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p.364.
- NIIR Board of Consultants & Engineers. 2006. Wheat, Rice, Corn, Oat, Barley and Sorghum Processing Handbook (Cereal Food Technology). Asia Pacific Business Press Inc. India. pp 464. 14 September 2015 <http://www.niir.org/books/book/wheat-rice-corn-oat-barley-sorghum-processing-handbook-cereal-food-technology/isbn-8178330024/zb,ff,a,43,0,c/index.html>
- North Dakota State University. 2014. Small Grain Disease Forecasting model. Plant Pathology Department, North Dakota State University. Diunduh 23 Agustus 2014. <http://www.ag.ndsu.nodak.edu>
- Nur, A., Trikoesoemaningtyas, N. Khumaida, dan S. Sujiprihati. 2010. Phenologi pertumbuhan dan produksi gandum pada lingkungan tropika basah. Prosiding Pekan Serealia Nasional. p.188-198.
- OECD. 1999. Consensus document on the biology of *Triticum aestivum* (bread wheat). Organization for Economic Cooperation and Development. No.9. Paris.
- Paulsen, G.M. 1997. Growth and development. In: Wheat Production Hand Book. K-State research and extension, Manhattan. Kansas.
- Pauly, A., B. Pareyt, E. Fierens, and J.A. Delcour. 2013. Wheat (*Triticum aestivum* l. and *T.Turgidum* L.ssp.*durum*) kernel hardness: I.Current view on the role of puroindolines and polar lipids. Comprehensive reviews in food science and food safety 12:413-426.
- Percival, J. 1921. The wheat plant. A monograph. London, Duckworth.
- Pierson E.S. 2014. Biology: image gallery: Wheat. Huygens Building. Faculty of Science (FNWI). Radboud University Nijmegen. Netherlands. Diunduh 17 September 2015 <http://www.vcbio.science.ru.nl/en/image-gallery/search/7/4/0/1/wheat/>

- Poole, N. 2005. Cereal growth stage: the link to crop management. Grain Research and Development Corporation. New Zealand. p 37. Diunduh 17 September 2015 <http://www.grdc.com.au/GRDC-Guide-Cereal-Growth-Stages>
- Puspita, Y.C., N. Widyawati, dan D. Murdono. 2013. Penampilan pertumbuhan dan hasil dua belas genotype gandum (*Triticum aestivum* L.) ditanam di dataran rendah dalam rangka mencari calon tetua adaptif dataran rendah. Agric. 25(1): 9-18.
- Ranson, J. 2006. Early growth staging small grain. Plant Science, North Dakota State University. Diunduh 1 Oktober 2015 <http://www.ag.ndsu.nodak.edu>
- Rawson, H.M., and H.G. Macperson. 2001. Trigo regado: Manejo del cultivo. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. p 106.
- Rawson, H.M., and H.G. Macperson. 2002. Irrigated Wheat: Managing your crop. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Diunduh 11 September 2015 <http://www.fao.org/docrep/006/x8234e/x8234e00.htm#Contents>
- Schlegel, R.S. 2010. Dictionary of plant breeding. CRC press Taylor and Fassis Group.
- Shewry, P.R. 2009. Wheat. Journal of Experimental Botany 60(6):1537-1553.
- Simmons, S.R, E.A Oelke and P.M Anderson. 1995. Growth and development guide for spring wheat. Minnesota Extension Service, University of Minnesota. Diunduh 3 April 2015.<http://www.extension.umn.edu/agriculture/small-grains/growth-and-development/growth-and-development-guide-for-spring-wheat/>
- Throup-Kristensen, K., M.S. Cortasa, and R. Loges. 2009. Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching loses?. Plant Soil 322:101-114.
- Toews, M. 2013. Grain. Thomas County Ag. page 13. University of Georgia (UGA) Extension. Diunduh 24 Januari 2014. <http://thomascountyag.com/category/grain/page/13/>
- University of Nebraska Lincoln, 2012. Wheat Disease Update: Risk of Scab Increases with Rains - UNL CropWatch, May 4, 2012. Institute Of Agriculture And Natural Resources. University of Nebraska Lincoln. Diunduh 6 Februari 2015 http://cropwatch.unl.edu/image/image_gallery/uuid%3Ddf5cef9f-d6d1-4e54-8b7f-32f7bf005f5e%26group
- Wahyu, Y., A..P Samosir, dan S.G. Budiarti. 2013. Adaptabilitas genotipa gandum introduksi di dataran rendah. Bul. Agrohorti 1(1): 1-6.
- Wardlaw, I.F. 1971. The early stages of grain development in wheat: response to water stress in single variety. Australian Journal of Biological Science 24(4):1047-1056.
- Weaver, J.E. 1926. Root development of field crops. Chapter V: Root habits of wheat. 1st ed. McGraw Hill Book.Co.Inc. New York.
- Wheat BP. 2014. Diunduh 24 Januari 2015 <http://bio-gromit.bio.bris.ac.uk/cerealgenomics/cgi-bin/grain3.pl?topic=Development%20Home>
- Winfield M. 2014. WheatBP. School of Biological Sciences, University of Bristol. Di unduh 22 Agustus 2015. http://bio-gromit.bio.bris.ac.uk/cerealgenomics/Index_Home.html
- Wirawan, D., Rosmayanti, dan L.A.P. Putri. 2013. Uji potensi produksi beberapa galur/ varietas gandum (*Triticum aestivum* L.) di dataran tinggi Karo. Jurnal online Agroteknologi 1(2): 1-15.
- Zadoks, J.C., T.T. Chang, and C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. Weed research 14: 415-421.

Kesesuaian Lahan dan Pengelolaan Air pada Tanaman Gandum

Muhammad Aqil¹, Muhammad Yasin², dan A. Haris Talanca¹

¹Balai Penelitian Tanaman Serealia

²Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Selatan

PENDAHULUAN

Gandum (*Triticum tcc.*) merupakan tanaman serealia penting ketiga di dunia setelah padi dan jagung. Tanaman C3 ini dapat beradaptasi baik pada daerah dingin. Suhu optimum untuk pertumbuhan gandum berkisar antara 20-25°C, sedangkan suhu tanah minimum yang dibutuhkan adalah 2-4°C. Secara agronomis, gandum di Indonesia dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik pada lokasi dengan ketinggian > 1.000 di atas permukaan laut (dpl), atau dataran rendah dengan karakteristik lahan beriklim kering dan suhu < 25°C seperti di sebagian wilayah NTT (Balitseral 2012). Potensi lahan untuk pengembangan gandum di Indonesia cukup besar, khususnya pada lahan dataran tinggi, untuk memutus siklus penyebaran hama penyakit tanaman hortikultura seperti kentang atau tomat. Pada wilayah tersebut gandum dapat tumbuh baik bila penanamannya disesuaikan dengan kondisi kelembaban dan curah hujan.

Kebutuhan air bagi tanaman gandum untuk berproduksi optimal berkisar antara 450-650 mm, bergantung pada iklim dan lama pertumbuhan tanaman (FAO 2001). Di Asia, khususnya Asia Selatan, kebutuhan air bagi tanaman gandum cenderung lebih sedikit, berkisar antara 400-450 mm (Ministry of Agriculture, India 2014). Hal ini disebabkan oleh umur tanaman yang relatif lebih pendek. Di Indonesia dengan kondisi iklim yang lembab dan suhu tinggi, tanaman gandum dapat dipanen pada umur 85-115 hari, bergantung pada varietas dan suhu lingkungan tumbuh (Aqil dan Rapar 2013). Ketepatan ketersediaan air pada stadia pertumbuhan berpengaruh terhadap produksi gandum. Hasil optimal akan tercapai apabila tanaman mendapat pengairan pada fase pembentukan rumpun, pembungaan, dan pengisian bulir. Oleh karena itu diperlukan teknologi pengelolaan air yang tepat sesuai kebutuhan tanaman gandum.

Pengelolaan air perlu disesuaikan dengan sumber daya fisik alam (tanah, iklim, sumber air) dan biologi dengan memanfaatkan berbagai disiplin ilmu untuk membawa air ke perakaran tanaman sehingga mampu meningkatkan produksi (Nobe and Sampath 1986). Sasaran dari pengelolaan air adalah tercapainya empat tujuan pokok, yaitu: (1) efisiensi penggunaan air dan produksi tanaman yang tinggi; (2) efisiensi biaya penggunaan air; (3) pemerataan penggunaan air yang terbatas, baik dari segi waktu maupun jumlah; dan (4) keberlanjutan sistem penggunaan sumber daya air. Dalam hubungannya dengan pengelolaan air untuk tanaman gandum yang banyak dibudidayakan di dataran tinggi, pengelolaan agroklimat penting untuk diperhatikan. Tulisan

ini membahas pengelolaan air untuk tanaman gandum yang mencakup karakteristik wilayah dan pola tanam, kebutuhan air tanaman, hubungan tingkat pemberian air dengan tingkat hasil, sistem perakaran dan metode pemberian air bagi tanaman.

KARAKTERISTIK WILAYAH DAN POLA TANAM GANDUM DI INDONESIA

Pertanaman gandum di Indonesia umumnya dijumpai pada wilayah dataran tinggi (> 1.000 m dpl) atau pada dataran rendah dengan suhu dan kelembaban yang rendah ($< 25^{\circ}\text{C}$). Faktor kelembaban juga penting dalam budi daya gandum untuk menekan perkembangan penyakit/jamur. Gandum juga tidak sesuai ditanam pada wilayah dengan curah hujan tinggi. Curah hujan optimum untuk pertumbuhan gandum berkisar antara 350-1.250 mm. Gandum umumnya tumbuh baik pada tanah Andosol, Regosol, Latosol dan Alluvial dengan pH 6-7. Tanah yang baik untuk pertumbuhan gandum adalah bertekstur sedang/medium. Tanah gambut atau tanah dengan kandungan S, Mg atau Fe yang tinggi kurang sesuai untuk budi daya gandum. Wilayah penghasil gandum di Indonesia di antaranya Pengalengan, Dieng, Tengger, Karanganyar, Kopeng Salaran, Piji Salatiga Jawa Tengah, Malino, Enrekang dan Bantaeng Sulawesi Selatan, Tomohon Sulawesi Utara, Napu Sulawesi Tengah, Merauke Papua, dan NTT (Balitseral 2013).

Karakteristik lahan yang sesuai untuk tanaman gandum dapat dilihat pada Tabel 1. Parameter yang digunakan dalam menilai kesesuaian lahan meliputi temperatur, curah hujan, kelembaban udara, drainase, tekstur, bahan kasar, kedalaman tanah, ketebalan gambut, kapasitas tukar kation liat, kejenuhan basa, pH H₂O, C-organik, salinitas, alkalinitas, kedalaman bahan sulfidik, lereng, bahaya erosi, dan genangan.

Berdasarkan karakteristik kualitas lahan yang ditunjukkan pada Tabel 1, kelas kesesuaian lahan untuk tanaman gandum dibedakan menjadi S1 (sangat sesuai), yaitu apabila lahan tidak mempunyai faktor pembatas yang berarti atau faktor pembatas bersifat minor dan tidak akan mereduksi produktivitas lahan secara nyata; S2 (cukup sesuai), yaitu lahan dengan faktor pembatas yang mempengaruhi produktivitas tanaman secara nyata dan memerlukan tambahan masukkan atau input; S3 (sesuai marginal), yaitu lahan dengan faktor pembatas yang berat yang nyata mempengaruhi produktivitas. Faktor pembatas penggunaan lahan kelas S2 dapat diatasi oleh pelaku pertanian atau petani, sedangkan lahan kelas S3 memerlukan tambahan input yang relatif lebih banyak dibandingkan dengan kelas S2. Lahan kelas N tidak sesuai untuk budi daya gandum karena memiliki faktor pembatas yang lebih berat (Djaenudin *et al.* 2003).

Tabel 1. Tingkat kesesuaian lahan untuk tanaman gandum.

Persyaratan penggunaan/karakteristik lahan	Kelas kesesuaian			
	S1 (Sangat sesuai)	S2 (Cukup sesuai)	S3 (Sesuai marginal)	N (Tidak sesuai)
Temperatur		10-12	-	< 10
Temperatur harian (°C)	12-23	23-25	-	> 25
Ketinggian tempat dpl (m)	<1.200	1.200-1.500	1.500-2.000 200-250	>2.000 <200
Ketersediaan air				
Curah hujan (mm/tahun)	350-1.250	250-350 1.250-1.500	1.500-1.750	>1.750
Ketersediaan oksigen	Baik, agak terhambat	Cepat, agak sedang	Terhambat	Sangat terhambat, cepat
Media perakaran	Halus, agak halus, sedang	-	Agak kasar	Kasar
Kelas tekstur				
Kedalaman tanah (cm)	>50	20-50	10-20	<10
Resistensi hara	6,0-8,0	5,6-6,0	<5,6	
pH H ₂ O	>0,4	8,2-8,5 <0,4	>8,6	
C-Organik (%)	<8			>30
Bahaya erosi		8-16		
Lereng (%)			16-30	

Sumber: Djaenudin *et al.* (2003).

Pengembangan gandum di Indonesia saat ini masih menghadapi sejumlah kendala, terutama terbatasnya luas lahan untuk pengembangan dan kompetisi dengan tanaman hortikultura seperti kentang atau tomat. Farid (2006) menyatakan bahwa terbatasnya luas lahan di dataran tinggi yang banyak ditanami dengan komoditas hortikultura yang mempunyai nilai ekonomis tinggi juga berpengaruh terhadap pengembangan gandum di Indonesia, sehingga diperlukan varietas gandum yang dapat beradaptasi di dataran rendah (< 400 m dpl). Kendala utama yang dihadapi dalam pengembangan gandum di dataran rendah adalah cekaman lingkungan, khususnya suhu tinggi.

Gandum dapat dibudidayakan secara monokultur atau pergiliran dengan tanaman hortikultura untuk memutus siklus hama penyakit. Berdasarkan peluang dan kejadian hujan, gandum dapat dibudidayakan dengan pola rotasi sebagai berikut:

Dataran tinggi (>1.000 m dpl)

Kentang – gandum – tomat
Kentang – wortel – gandum
Kentang – gandum – bera

Dataran menengah (600-800 m dpl)
Gandum – gandum – wortel
Tomat – gandum – bera

Dataran rendah (suhu 20-25°C)
Padi – gandum – bera
Hortikultura – gandum – bera
Padi – gandum – hortikultura

KEBUTUHAN AIR TANAMAN

Pola curah hujan secara umum digunakan sebagai acuan dalam menentukan kecukupan air bagi tanaman gandum. Pola hujan juga dijadikan acuan dalam perencanaan pengairan tanaman. Dalam kaitannya dengan perhitungan matematis kecukupan air tanaman, parameter yang perlu mendapat perhatian adalah evapotranspirasi.

Evapotranspirasi adalah kombinasi proses kehilangan air dari suatu lahan melalui evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah proses dimana air diubah menjadi uap air dan selanjutnya uap air dipindahkan dari permukaan bidang penguapan ke atmosfer. Transpirasi adalah vaporisasi dalam jaringan tanaman dan selanjutnya uap air dipindahkan dari permukaan tanaman ke atmosfer (vapor removal). Pada transpirasi, vaporisasi terjadi terutama di ruang antarsel daun dan selanjutnya uap air melalui stomata akan lepas ke atmosfer (Allen *et al.* 1998). Evapotranspirasi tanaman dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu evapotranspirasi potensial (ETP) dan evapotranspirasi aktual (ETA).

ETP merupakan jumlah air yang ditranspirasikan dalam satuan unit waktu oleh tanaman yang menutupi tanah secara keseluruhan dengan ketinggian seragam, tidak pernah kekurangan air, dan tanaman tidak terserang hama penyakit. Dengan kata lain, ETP dapat diinterpretasikan sebagai kehilangan air tanaman yang diakibatkan oleh faktor fisiologis dan klimatologis. Penentuan nilai kebutuhan air tanaman (evapotranspirasi) sejauh ini masih berdasarkan pada persamaan empiris yang telah banyak dikembangkan. Di antara persamaan-persamaan empiris yang umum digunakan adalah metode Blaney-Criddledan, sedangkan penggunaan langsung di lapang umumnya menggunakan peralatan untuk mengamati perubahan air tanah. ETP dapat dihitung secara empiris dengan persamaan Penman (Doorenbos and Pruitt 1984) sebagai berikut:

$$ETP = C (\Delta / (\Delta + \gamma)) (Rn - G) + \gamma / (\Delta + \gamma) 2.7 Wf (e_z^o - e_z)$$

Dimana:

C = faktor koreksi

Δ = pertambahan tekanan uap jenuh

γ = konstanta psikometrik

- R_n = radiasi matahari bersih (mm/hari)
 G = fluks panas latent tanah (untuk periode harian = 0)
 W_f = fungsi kecepatan angin ($1 + 0,864 u$)
 $(e_z - e_a)$ = defisit tekanan uap (mbar)
 (e_s) = tekanan uap jenuh (mbar)
 0 = tekanan uap aktual (mbar)

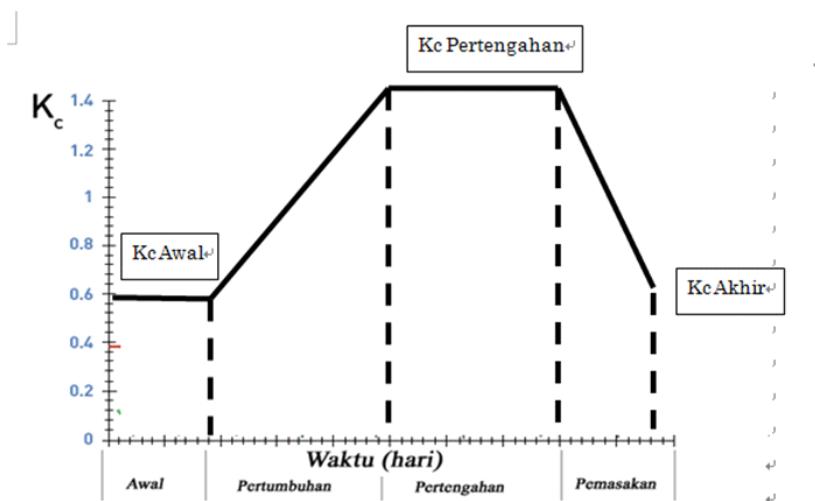
ETA merupakan tebal air yang dibutuhkan untuk mengganti sejumlah air yang hilang melalui evapotranspirasi pada tanaman yang sehat. Nilai ETA adalah nilai kebutuhan air yang harus diberikan ke tanaman, atau merupakan dasar dalam penentuan kebutuhan air bagi tanaman di lapang dengan persamaan empiris:

$$\text{ETA} = \text{ETP} \times K_c$$

Dimana:

- ETA = evapotranspirasi aktual (mm)
 ETP = evapotranspirasi potensial (mm)
 K_c = koefisien tanaman

Koefisien tanaman (K_c) menggambarkan laju kehilangan air secara drastis pada fase-fase pertumbuhan tanaman dan keseimbangan komponen-komponen energi yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman (FAO 2001). Gambar 1 memperlihatkan tahapan pertumbuhan tanaman gandum dan koefisien tanaman yang digunakan untuk mengatur pemberian air. Pada awal pertumbuhan K_c tanaman gandum masih rendah (0,4) sehingga kebutuhan airnya juga relatif kecil. Namun seiring dengan pertumbuhan, konsumsi air untuk



Gambar 1. Koefisien tanaman gandum selama masa pertumbuhan.

Tabel 2. Koefisien tanaman yang digunakan dalam pemberian air pada gandum.

Karakteristik tanaman	Periode pertumbuhan				
	Awal	Perkembangan tanaman	Pertengahan musim	Menjelang panen	Total
Tahapan perkembangan (hari)	20	35	40	30	130
Koefisien deplesi (p)	0,6	> >	0,5	0,8	0,55
Kedalaman akar (m)	0,3	> >	> >	1,4	-
Koefisien tanaman (Kc)	0,7	> >	1,0-1,15	0,55	-
Faktor respon hasil (Ky)	0,2	0,55	0,45	0,2	0,9

Sumber: FAO (2001).

kegiatan metabolisme tanaman menjadi meningkat dan mencapai puncaknya pada fase pembungaan sampai pengisian biji yang ditunjukkan oleh nilai Kc yang tinggi dan deplesi (evaporasi) air yang juga tinggi.

Penentuan ETA di lapang dapat menggunakan lisimeter, yaitu tangki yang diisi dengan tanah, ditanami dengan tanaman tertentu, dan diletakkan pada lahan terbuka. Penggunaan tangki evaporasi ini sangat praktis karena hanya satu parameter saja yang diukur. Parameter tersebut selanjutnya digabungkan dengan informasi kebutuhan air tiap musim, umur tanaman gandum, dan luas lisimeter sehingga kebutuhan air harian atau dekade dapat dihitung dengan mudah (Doorenbos and Pruitt 1984).

KETERSEDIAAN AIR DAN HUBUNGANNYA DENGAN HASIL GANDUM

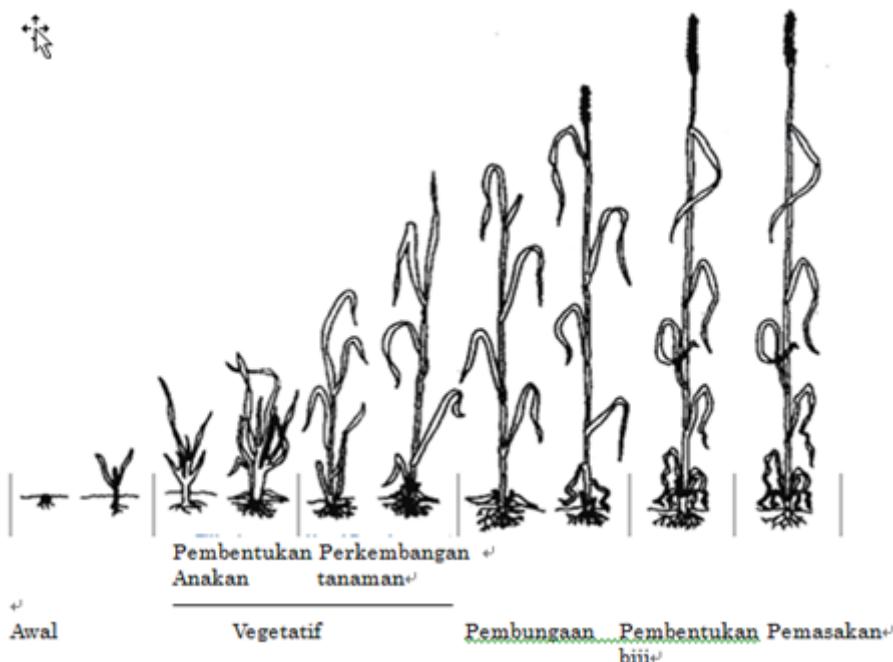
Tanaman gandum dapat tumbuh dengan baik apabila ketersediaan air baik dalam bentuk hujan maupun irigasi, terjaga selama pertumbuhan berlangsung. Selain itu faktor ketepatan pemberian air yang sesuai dengan fase pertumbuhan tanaman gandum juga menentukan tingkat produksi tanaman. Pada tanaman gandum, periode pertumbuhan tanaman sesuai dengan tingkat kebutuhan airnya dibagi menjadi lima fase, yaitu fase pertumbuhan awal, fase vegetatif, fase pembungaan, fase pengisian malai, dan fase pematangan. Fase pertumbuhan dan jumlah hari tanaman gandum disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 2.

Setelah melalui fase pertumbuhan awal (mulai saat tanam sampai menjelang fase vegetatif), anakan gandum mulai tumbuh dari axils tunas daun utama. Potensi jumlah anakan bervariasi dengan genotipe, khususnya di antara jenis berbunga. Gandum musim dingin (spring wheat) memiliki jumlah anakan yang lebih besar. Longnecker *et al.* (1993) menyatakan bahwa anakan terbentuk pada masa vegetatif awal dan vegetatif akhir, faktor genetik dan lingkungan sangat berperan dalam proses tersebut. Selain itu, jumlah anakan produktif juga dipengaruhi oleh populasi/kerapatan tanaman.

Tabel 3. Fase pertumbuhan tanaman gandum (tipe gandum musim semi).

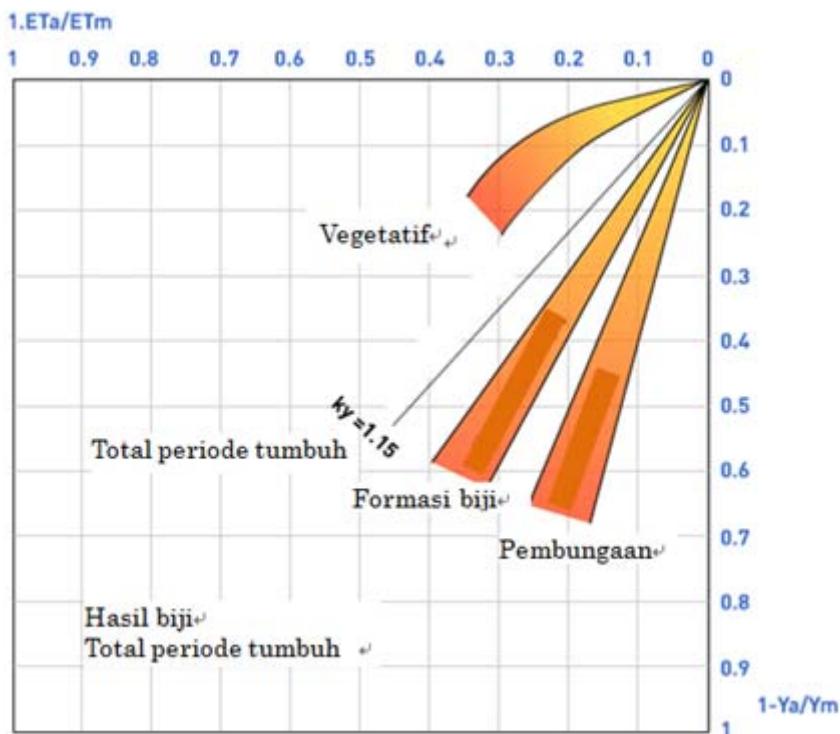
Fase pertumbuhan	Jumlah hari
Fase pertumbuhan awal, dimulai saat tanam sampai fase vegetatif	15-20
Fase vegetatif sampai menjelang pembungan	30-50
Fase pembungan	15-20
Fase pengisian biji sampai menjelang fase pemasakan biji	30-35
Fase pemasakan sampai panen	10-15
Total	100-140

Sumber: FAO (2001).



Gambar 2. Periode pertumbuhan tanaman gandum (FAO 2001).

Hubungan tingkat penurunan hasil gandum terhadap defisit evapotranspirasi relatif selama periode pertumbuhan tanaman disajikan pada Gambar 4. Table 3 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa lama waktu tumbuh tanaman sampai panen bervariasi antara 100-140 hari. Fase vegetatif sampai menjelang pembungan dan fase pengisian bulir sampai menjelang pemasakan membutuhkan waktu yang paling lama, berkisar antara 60-70 hari. Hasil biji juga dipengaruhi oleh lama waktu dan intensitas defisit air serta fase pertumbuhan dimana defisit air terjadi. Tanaman gandum musim semi lebih sensitif terhadap kekurangan air dibandingkan dengan gandum musim dingin.



Gambar 3. Hubungan antara tingkat penurunan hasil gandum dengan defisit evapotranspirasi relatif selama pertumbuhan tanaman (FAO 2001).

Hubungan antara tingkat penurunan hasil relatif ($1-Ya/Ym$) dengan defisit evapotranspirasi relatif tanaman gandum selama pertumbuhan disajikan pada Gambar 3. Tanaman gandum lebih toleran terhadap kekurangan air pada fase vegetatif akhir (fase 1) dan fase pemasakan dibandingkan dengan fase lainnya. Fase pembentukan anakan dan pembungaan serta pertumbuhan awal adalah fase yang paling kritis dan kekurangan air pada fase ini akan menimbulkan kehilangan hasil yang paling tinggi, mencapai 40%.

Kekurangan air pada fase pembentukan anakan dan pembungaan menyebabkan pembentukan pollen (serbuk sari) terganggu sehingga jumlah anakan berkurang. Selain pembentukan anakan terganggu, kekurangan air pada fase pembentukan rumpun dan pembungaan juga menurunkan jumlah rumpun per tanaman, panjang malai, dan jumlah biji per malai. Ottman *et al.* (2012) menyatakan bahwa tanaman yang stres kekurangan air pada fase penyerbukan mengganggu aktivitas penyerbukan dan mengurangi jumlah biji. Kekeringan juga mengganggu perkembangan akar bahkan menyebabkan tanaman menjadi mati. Selain faktor kekurangan air, kondisi cuaca panas yang disertai angin kering membuat biji menjadi kusut sehingga kualitasnya rendah.

Yang *et al.* (2000) serta Zhang dan Yang (2004) melaporkan bahwa defisit lengas tanah pada fase pengisian biji menyebabkan percepatan penuaan daun tanaman dan periode pengisian biji menjadi lebih cepat sekitar 10 hari. Hal ini berdampak kepada percepatan laju pengisian biji dan meningkatnya mobilisasi cadangan karbohidrat yang berdampak pada penurunan hasil.

Pengaruh kekurangan air pada fase pertumbuhan awal terhadap hasil biji dan biomas gandum juga banyak dilaporkan. Kekurangan air pada fase ini berpengaruh terhadap akumulasi biomas gandum akibat rendah/menurunnya indeks luas daun dan efisiensi penggunaan radiasi matahari (Jamieson *et al.* 1998). Kiniry *et al.* (1989) melaporkan bahwa intersepsi radiasi matahari berkorelasi dengan akumulasi bobot kering tanaman gandum.

PENYERAPAN AIR OLEH AKAR TANAMAN GANDUM

Tanaman gandum pada awalnya mempunyai akar primer dan kemudian berkembang menjadi akar serabut. Akar-akar tersebut selanjutnya berkembang dari cabang yang letaknya di sekitar permukaan tanah. Kedalaman dan kerapatan akar dipengaruhi oleh air, nutrisi, dan ketersediaan oksigen dalam tanah. Akar tanaman gandum akan berkembang rata-rata sampai 90 cm dan pada kondisi tertentu mencapai 120 cm. Radius sebaran akar berkisar antara 0,15-0,25 ke semua arah (FAO 2001).

Pola penyerapan dan penggunaan air untuk mendukung pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh kerapatan akar. Secara umum 50-60% dari total air diserap akar pada kedalaman 30 cm, sementara 20-25% pada kedalaman akar 30-60 cm, dan 10-15 % sisanya pada kedalaman 60-90 cm. Berdasarkan pola penyerapan air tersebut maka pemberian air/irigasi pada tanaman gandum hendaknya mempertimbangkan pola penyerapan air oleh akar tanaman.

Pengaruh pemberian air dalam jumlah terbatas (*limited irrigation*) terhadap pola pembentukan akar dan hasil tanaman gandum telah banyak dilaporkan. Singh *et al.* (1991) melaporkan bahwa periode sensitif tanaman terhadap kecukupan air bervariasi menurut tahapan pertumbuhan tanaman, variabilitas/keragaman wilayah dan praktek budi daya petani. Pada wilayah subtropis, respon tanaman gandum terhadap defisit irigasi sangat tinggi pada fase pemanjangan batang sampai fase bunting (Zhang and Oweis 1999).

PENGARUH SUHU/PANAS TERHADAP HASIL GANDUM

Suhu merupakan salah satu faktor pendukung keberhasilan budi daya gandum. Suhu yang tinggi berdampak pada penurunan hasil akibat terjadinya bulir hampa (biji tidak terbentuk), memendeknya durasi pembentukan dan pengisian biji, serta terhambatnya asimilasi sukrosa dalam biji. Asana dan Williams (1965) dalam penelitiannya pada ruang terkontrol dengan suhu 25-35°C mendapatkan

bobot biji gandum menurun 16% untuk setiap kenaikan suhu 5°C. Ini berarti apabila terjadi kenaikan suhu 1°C terjadi penurunan hasil biji sampai 8%, bertambahnya bulir hampa 5-6%, dan mengecilnya ukuran biji 3-4%. Suhu lingkungan yang tinggi menghambat proses fisiologi dan biokimia tanaman, diantaranya terganggunya suplai bahan asimilasi ke biji sehingga berdampak pada menurunnya akumulasi bobot kering tanaman gandum (Reynolds *et al.* 2001).

Di antara fase pertumbuhan tanaman gandum, cekaman suhu tinggi pada fase antesis paling besar pengaruhnya terhadap hasil biji karena mempengaruhi proses penyerbukan dan pengisian biji. Penurunan bobot biji/bulir akibat pengaruh stres panas berkaitan erat dengan pengaruh suhu terhadap laju dan lama waktu perkembangan biji/bulir. Peningkatan suhu dari 15/10°C menjadi 21/16°C akan mempercepat waktu pengisian biji dari 60 hari menjadi 36 hari dan laju pertumbuhan biji lebih cepat dari 0,73 mg/biji/hari menjadi 1,49 mg/biji/hari. Peningkatan suhu yang lebih tinggi dari 21/16°C menjadi 30/25°C akan mempercepat waktu pengisian biji dari 36 hari menjadi 22 hari dan laju pertumbuhan biji meningkat dari 1,49 mg/biji/hari menjadi 1,51 mg/biji/hari (FAO 2001).

Suhu tinggi juga berpotensi mengganggu sistem perakaran tanaman gandum karena menimbulkan efek *transpiration cooling*. Efek ini kemudian berpengaruh terhadap stres panas sehingga mempengaruhi evaporasi dan suplai air dari tanah sampai ke daun tanaman gandum. Panas yang tinggi menyebabkan mekanisme pergerakan air dari akar tanaman terganggu. Remobilisasi asimilat pada tanaman gandum terjadi setelah antesis dimana asimilat yang bersumber dari akar menjadi salah satu sumber energi utama untuk mendukung perkembangan tanaman (Hay and Walker 1989). Terdapat kecenderungan penurunan kerapatan panjang akar dan bobot biomas akar akibat meningkatnya suhu karena akar bagian bawah cenderung mengalami percepatan senescence dan meningkatnya respirasi tanaman (Ferris *et al.* 1989).

Cekaman suhu tinggi tidak hanya mengganggu proses fisiologi tanaman tetapi juga komposisi fisiko kimia biji gandum. Matsuki *et al.* (2003) menyatakan bahwa cekaman suhu tinggi mempengaruhi kandungan pati, struktur amilopektin, ukuran dan jumlah granula pati serta sifat gelatinisasi pati gandum. Peningkatan suhu pada fase pengisian biji gandum akan meningkatkan kadar amilosa dan suhu gelatinisasi. Peningkatan suhu 15°C akan meningkatkan kadar amilosa 1% dan suhu gelatinisasi 10,2%. Peningkatan suhu tersebut juga menurunkan bobot biji 28-49%.

METODE PEMBERIAN AIR BAGI TANAMAN GANDUM

Irigasi/pemberian air tanaman dilakukan untuk menjaga kondisi lengas tanah. Kisaran nilai kadar lengas tanah antara kapasitas lapang dan titik layu permanen merupakan air tersedia yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman (AW), dijadikan indikator dalam menentukan jumlah dan waktu pemberian air. Kapasitas lapang adalah kadar lengas tanah yang tertahan dalam tanah setelah mengalami proses penjenuhan akibat hujan atau irigasi, yang berlangsung antara 2-3 hari setelah hujan. Kondisi ini terjadi pada tekanan isap tanah mencapai -0,33 bar. Titik layu permanen adalah jumlah air minimum di mana tanaman sudah mulai layu dan tidak dapat tumbuh lagi walaupun diberi tambahan air (Een.wikipedia 2007). Kondisi ini terjadi pada tekanan isap tanah mencapai -15 bar. Dalam praktiknya, volume tiap satuan luas permukaan lengas tanah antara kapasitas lapang dan Ÿc kadang-kadang disebut lengas tanah yang tersedia/siap dimanfaatkan oleh tanaman (RAW).

Linsley dan Fransini (1986) membagi metode pemberian air bagi tanaman ke dalam lima metode yaitu:

1. Model irigasi alur (*furrow irrigation*)
2. Model irigasi bawah permukaan (*sub surface irrigation*)
3. Model irigasi curah (*sprinkler irrigation*)
4. Model irigasi tetes (*drip irrigation*)
5. Model irigasi genangan (*basin irrigation*)

Di antara model tersebut, pemberian air dengan metode alur, irigasi tetes, dan irigasi alur paling banyak diterapkan dalam budi daya gandum. Dengan metode alur, air diberikan melalui alur-alur di sepanjang baris tanaman. Dengan penggunaan alur untuk mendistribusikan air, kebutuhan pembasahan hanya sebagian dari permukaan sehingga mengurangi kehilangan air akibat penguapan, mengurangi pelumpuran tanah berat, dan memungkinkan untuk mengolah tanah lebih cepat setelah pemberian air. Model irigasi pancaran dan irigasi tetes membutuhkan air yang lebih sedikit dibandingkan dengan irigasi permukaan. Irigasi tetes menggunakan selang kecil yang akan mendistribusikan air pada setiap rumpun tanaman. Irigasi sprinkler disebut juga sebagai *overhead irrigation* karena pemberian air dilakukan dari bagian atas tanaman terpancar menyerupai curah hujan (Ditjen Pengelolaan Lahan dan Air Departemen Pertanian 2008).

Ottman *et al.* (2012) menetapkan lima aspek untuk menentukan waktu pemberian air irigasi (*irrigation timing*), yaitu tekstur tanah, kedalaman akar, irigasi pada fase germinasi biji, fase generative awal, serta irigasi pada fase *soft dough*. Tekstur tanah berkaitan erat dengan kemampuan memegang air tanah. Tanah bertekstur pasir membutuhkan air irigasi yang lebih sering dibandingkan tanah bertekstur liat. Air tanah tersedia juga dipengaruhi oleh kedalaman akar tanaman, dimana hampir 80-90% air tersedia diekstraksi dari akar tanaman

gandum. Irigasi juga diperlukan pada fase germinasi biji untuk memberikan iklim mikro yang cukup untuk menunjang pertumbuhan biji. Fase masak susu dimana akumulasi pati telah mulai terbentuk di dalam biji juga membutuhkan pemberian air irigasi. Irigasi yang tepat memungkinkan terjadinya akumulasi bobot kering yang tinggi untuk menghasilkan bulir gandum yang besar dan hasil panen tinggi (Hanson *et al.* 2004).

Kharrou *et al.* (2011) menyatakan bahwa dengan menggunakan sistem irigasi alur, total air tersedia dalam zona perakaran akan meningkat seiring dengan perkembangan tanaman dan akan mencapai maksimum pada kedalaman akar 80 cm. El-Rahman (2009) dalam pengujian menggunakan sistem irigasi tetes menunjukkan penggunaan irigasi model tetes menghasilkan efisiensi penggunaan air yang tinggi, mencapai 1,5 kg per meter kubik air. Penggunaan sistem irigasi tetes dapat meningkatkan hasil biji gandum sebesar 28% dibandingkan dengan sistem irigasi genangan.

Wilayah yang hanya bergantung pada curah hujan untuk pertanaman gandum dapat menerapkan teknologi konservasi air, diantaranya menggunakan mulsa. Zhao (1996) menyatakan bahwa konservasi air tanah sangat berperan dalam menunjang produksi tanaman, khususnya di wilayah semi arid. Mulsa serasah mengurangi evaporasi air tanah, meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah, dan memperbaiki kualitas tanah (Langdale *et al.* 1992). Li dan Lan (1995) melaporkan bahwa penggunaan mulsa plastik selain dapat menjaga suhu tanah juga meningkatkan hasil biji gandum. Penggunaan mulsa berbahan plastik film transparan dengan ketebalan 0,007-0,008 mm mampu menekan laju evaporasi tanah sampai 30 hari setelah tanam. Penggunaan lebih dari 30 hari tidak berpengaruh nyata terhadap produksi biji gandum (Li *et al.* 1999).

MODEL SIMULASI TANAMAN GANDUM

Model simulasi tanaman gandum merupakan salah satu cara untuk memahami proses fisiologi tanaman dan memberikan rekomendasi output yang dihasilkan berdasarkan input yang diberikan. Penggunaan model simulasi tanaman gandum memungkinkan dilakukan ekstrapolasi data, memahami interaksi faktor genetik dan lingkungan (GxE), menduga pengaruh interaksi galur terhadap hasil dan menduga hasil ke depan pada berbagai skenario faktor lingkungan (Ludwig and Asseng 2010; Asseng *et al.* 2011). Model simulasi juga mempertimbangkan aspek ketidakpastian (*uncertainties*), misalnya terjadinya hujan, suhu lingkungan, dan faktor lingkungan lainnya.

Terdapat berbagai macam model untuk menduga hasil gandum, diantaranya CERES, APSIM wheat, AFRCWHEAT2, YIELD PROPHET, dan SIRIUS. Jamieson *et al.* (1998) membandingkan akurasi model dalam menduga hasil gandum pada berbagai tingkat cekaman air. Hasil pengujian menunjukkan model AFRCWHEAT2 memberikan hasil yang terbaik dengan galat antara data

observasi dengan prediksi < 0,64 t/ha. Hochman *et al.* (2009) menggunakan model APSIM wheat untuk menduga hasil gandum di Australia. Model ini mampu menduga aspek fenologi tanaman, diantaranya indeks luas daun, penetrasi akar, serapan N, dan transpirasi tanaman. Galat antara data pengamatan dengan hasil prediksi < 0,40 t/ha.

Model simulasi tanaman gandum untuk spesifik wilayah Indonesia juga telah dikembangkan di Melbourne Australia dan divalidasi di Kuningan Jawa Barat untuk keperluan pemetaan gandum (Handoko 1994). Model ini dinamakan model simulasi *shierary wheat* dan dirancang untuk mempelajari proses interaksi antara perkembangan dan pertumbuhan tanaman dengan unsur-unsur cuaca serta beberapa sifat fisik dan kimia tanah. Model ini telah divalidasi pada skala kebun percobaan (pertumbuhan, perkembangan, neraca air, neraca nitrogen dan produktivitas) di Kuningan pada ketinggian lokasi 600 m dpl dan di Sulawesi Utara. Model simulasi *shierary wheat* mempunyai empat submodel, yaitu (1) perkembangan tanaman/fenologi, (2) pertumbuhan tanaman, (3) neraca air, dan (4) neraca nitrogen. Proses yang terjadi dari masing-masing submodel saling berinteraksi menentukan pertumbuhan dan hasil (produktivitas) gandum.

Aplikasi model simulasi tanaman gandum tidak hanya terbatas pada pendugaan hasil berdasarkan input agronomi yang dimasukkan tetapi juga untuk memahami keterkaitan antargen (alel gen) dengan fenotifikasi tanaman (G dan F). Asseng dan Van Herwaarden (2003) mensimulasi tingkat asimilasi menjelang fase pengisian biji terhadap hasil biji sejumlah galur gandum. Walaupun mampu menduga hasil dengan baik namun simulasi mekanisme gen mengatur proses asimilasi belum dapat diduga dengan tepat. Model ini juga belum mampu mensimulasi pengaruh perubahan alel mempengaruhi waktu pembungaan dan hasil gandum. Pada gandum musim dingin, data sebagian alel *Ppd* isoline telah berhasil di dapatkan (Worland 1996; Foulkes *et al.* 2004; González *et al.* 2005). Saat ini, model simulasi interaksi genetik lingkungan masih menjadi tantangan terbesar bagi pakar permodelan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes dan M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO. Rome, Italy.
- Asana, R.D. and R.F. Williams. 1965. The effect of temperature stress on grain development in wheat. Aust. J. Agric. Res. 16:1-13.
- Asseng, S., I. Foster, and N.C. Turner. 2011. The impact of temperature variability on wheat yields. Global Change Biology 17:997-1012.
- Asseng, S. and A.F. van Herwaarden. 2003. Analysis of the benefits to wheat yield from assimilates stored prior to grain filling in a range of environments. Plant and Soil 256:217-229.

- Aqil, M., dan C. Rapar. 2013. Deskripsi Varietas Unggul Jagung. Balai Penelitian Tanaman Serealia, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. 141 p.
- Bacanamwo, M and C.P. Larry. 1999. Soybean dry matter and N accumulation responses to flooding stress, N sources and hypoxia. *Journal of Experimental Botany* 50(334):689-696. May 1999.
- Balitseral. 2012. Highlight Penelitian Tanaman Serealia Tahun 2012. Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros.
- Balitseral. 2013. Highlight Penelitian Tanaman Serealia Tahun 2013. Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros.
- Direktorat Jenderal Pengelolaan Lahan dan Air. 2008. Pedoman Irigasi Bertekanan (Irigasi Sprinkler dan Irigasi Tetes). Depatemen Pertanian, Jakarta.
- Ditjen Tanaman Pangan, Departemen Pertanian. 2005. Program dan kebijakan pemerintah dalam pengembangan agribisnis gandum. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor. p. 104-112.
- Djaenudin, D., H. Marwan, H. Subagyo, dan A. Hidayat. 2003. Petunjuk teknis untuk komoditas pertanian. Edisi Pertama tahun 2003, ISBN 979-9474-25-6. Balai Penelitian Tanah. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor, Indonesia.
- Doorenbos and Pruitt. 1984. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO. Irrigation and drainage 24:44-54. Rome, Italy.
- Een, Wikipedia. 2007. Permanent Wilting Point. Free Encyclopedia (www.een.wikipedia.org). p. 3-8.
- El-Rahman, G.A. 2009. Water use efficiency of wheat under drip irrigation systems at Al-Maghara area, North Sinai, Egypt. American-Eurasian Journal of Scientific.
- FAO. 2001. Crop water management-wheat. Land and Water Development Division (www.fao.org).p. 3-8.
- Ferris, R.H. T.R. Ellis, Wheeler, and P. Hadley. 1998. Effect of High Temperature Stress at Anthesis on Grain Yield and Biomass of Field-grown Crops of Wheat. *Annals of Botany* 82:631-639.
- Foulkes, M.J., R. Sylvester-Bradley, A.J. Worland, and J.W. Snape. 2004. Effects of a photoperiod -response gene Ppd-D1 on yield potential and drought resistance in UK winter wheat. *Euphytica* 135:63-73.
- González, F.G., G.A. Slafer, and D.J. Miralles. 2005a. Pre-anthesis development and number of fertile spikes in wheat as affected by photoperiod sensitivity genes Ppd-D1 and Ppd-B1. *Euphytica* 146:253-269.
- Handoko, I. 1994. Dasar penyusunan dan aplikasi model simulasi komputer untuk pertanian. Jur AGROMET-IPB 1994. p. 112.
- Hanson, B., L. Schwankl, and A. Fulton. 2004. Scheduling irrigations: When and how much water to apply. UC Davis. World Wheat Crop To Be Third Largest Ever. Farmers Weekly 152.13 (2010):134. Academic Search Premier. Web. 13 March 2013.
- Hay, R.K.M. and A.J. Walker. 1989. Dry matter partitioning. An introduction to the physiology of crop yield. Harlow: Longman Scientific and Technical 107-156.
- Hochman, Z., D. Holzworth, and J.R. Hunt. 2009a. Potential to improve on-farm wheat yield and WUE in Australia. *Crop and Pasture Science* 60:708-716.

- Jamieson, P.D., J.R. Porter, J. Goudriaan, J.T. Ritchie, H. van Keulen, and W. Stol. 1998. A comparison of the models AFRCWHEAT2, CERES-Wheat, Sirius, SUCROS2 and SWHEAT with measurements from wheat grown under drought. *Field Crops Research* 55:23-44.
- Kharrou M.H., , Salah Er-Raki, Ahmed Chehbouni, Benoit Duchemin4, Vincent Simonneaux4, Michel, Lahcen Ouzine1, Lionel Jarlan 2011. Water use efficiency and yield of winter wheat under different irrigation regimes in a semi-arid region. *Agricultural Sciences* 2(3): 273-282.
- Kiniry J.R. Jones C.A. Otodle JC, Blanchet R, Cabelguenne M and Spanel D.A. 1989 Radiation use efficiency in biomass accumulation prior to grain filling for five grain crop species. *Field Crops Research* 20, 51-64.
- Langdale, G.W., L.T. West, R.R. Bruce, W.P. Miller, and A.W. Thomas. 1992. Restoration of eroded soil with conservation tillage. *Soil Technol.* 5:81-90.
- Li, Feng-Min, An-Hong Guo, and Hong We. 1999. Effects of clear plastic mulch on yield of spring wheat. *Field Crops Research* 63:79-86.
- Li, S. and N.J. Lan. 1995. Research progress in plastic film coveredwheat. *Gansu Agric. Sci. Technol.* 5:1-3.
- Linsley, R.K. and J.B. Franzini. 1986. Water Resources Engeenering. Internasional Student Edition.MacGraw Hill BookCo. Singapore. p. 55-70.
- Longnecker, N., E.J.M. Kirby, and A. Robson. 1993. Leaf emergence, tiller growth, and apical development of nitrogen-deficient spring wheat. *Crop Sci.* 33:154-160.
- Ludwig, F. and S. Asseng. 2010. Potential beneûts of early vigor and changes in phenology in wheat to adapt to warmer and drier climates. *Agricultural Systems* 103:127-136.
- Matsuki, J., T. Yasui, K. Kohyama, and T. Sasaki. 2003. Effects of Environmental Temperature on Structure and Gelatinization Properties of Wheat Starch. *Cereal Chemistry* 80(4).
- Ministry of Agriculture India. 2014. Water use efficiency of wheat. Annual Report of the Ministry of Agriculture, India.
- Nobe and Sampath, 1986. Irrigation management in developing countries.: Current issues and approaches. *Studies in water policy and management*. Weatview Press.
- Ottman, M., D. Munier, and S. Orloff. 2012. Irrigation management for wheat *In: Proceedings, California Alfalfa and Grains Symposium*, Sacramento, CA, 10-12 December, 2012.
- Reynolds, M.P., J.I. Ortiz-Monasterio, and A. McNab. 2001. Application of physiology in. wheat breeding. Mexico, D. F: CIMMYT. p. 240.
- Singh, P.K., A.K. Mishra, and M. Imliyaz. 1991. Moisture stress and the water use efficiency of mustard. *Agricultural Water Management* 20:245-253. Water use efficiency and yield of winter wheat under different irrigation regimes in a semi-arid region.
- Worland, A.J. 1996. The inûuence of ûowering time genes on environmental adaptability in European wheats. *Euphytica* 89:49-57.
- Yang J., Zhang J., Wang Z., Zhu Q., Liu L. 2000. Water Deficit-Induced Senescence and Its Relationship to the Remobilization of Pre-Stored Carbon in Wheat during Grain Filling. *Agron. J.*, 93: 196-206.
- Zhang, H. and T. Oweis. 1999. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management* 38:195-211.

- Zhang J. and Yang J. 2004. Root growth and soil water utilization of winter wheat in the North China Plain. *Hydrological Processes* 18:2275-2287. doi:10.1002/hyp.5533.
- Zhao, S.L. 1996. Introduction to Catchment Agriculture. Shaanxi Scientific and Technology Publishing House, Xi' An, p. 1-30.

Pengembangan Gandum di Daerah Tropika dengan Pendekatan Fisiologis dan Agronomis

Zulkifli Zaini dan Nuning Argo Subekti

Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan

PENDAHULUAN

Tanaman gandum (*Triticum aestivum L.*) bukan merupakan tanaman daerah tropika, namun dikenal sebagai tanaman yang berasal dari Asia Barat beriklim mediteran kering (Klages 1958). Daerah budi daya gandum, Curtis (1988) membagi negara-negara tropika menjadi dua tipe lingkungan utama, yaitu (1) wilayah dengan suhu udara tinggi, kelembaban udara rendah, periode tumbuh pendek dan sedikit ditemukan permasalahan penyakit tanaman, dan (2) wilayah dengan suhu dan kelembaban udara tinggi, periode tumbuh pendek, dan penyakit tanaman lebih dominan.

Indonesia digolongkan ke dalam tipe lingkungan kedua, walaupun sebenarnya kedua tipe lingkungan utama tersebut terdapat di Indonesia. Kawasan Timur Indonesia lebih mewakili tipe lingkungan yang pertama, sedangkan Kawasan Barat Indonesia mewakili tipe lingkungan kedua (Zaini *et al.* 1991). Sesuai dengan letak geografis Indonesia di daerah tropis, maka jenis gandum yang mungkin dibudidayakan adalah gandum musim dingin (*winter wheat*). Jenis gandum tersebut dapat tumbuh pada kisaran suhu udara antara 4-31°C, dengan suhu udara optimum rata-rata 20°C (Fisher 1983).

Tulisan ini membahas kesesuaian lingkungan, pendekatan fisiologis dan agronomis dalam pengembangan gandum di daerah dengan cekaman suhu tinggi.

KESESUAIAN LINGKUNGAN TANAMAN GANDUM

Curah Hujan

Tanaman gandum membutuhkan air dan kelembaban udara yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan tanaman serealia lainnya. Curah hujan terbaik untuk tanaman gandum berkisar antara 640-890 mm/tahun. Diperlukan adanya bulan kering (<100 mm/bulan) pada periode akhir sebelum panen. Curah hujan yang tinggi pada periode satu bulan sebelum panen akan meningkatkan penularan penyakit scab oleh *Fusarium* spp. di samping menyukarkan perontokan gabah dan menurunkan kualitas tepung yang dihasilkan.

Kassam (1976) dan FAO (1978) mengemukakan kesesuaian lingkungan/iklim untuk tanaman gandum adalah laju fotosintesa 20-30 mg CO₂/dm²/jam,

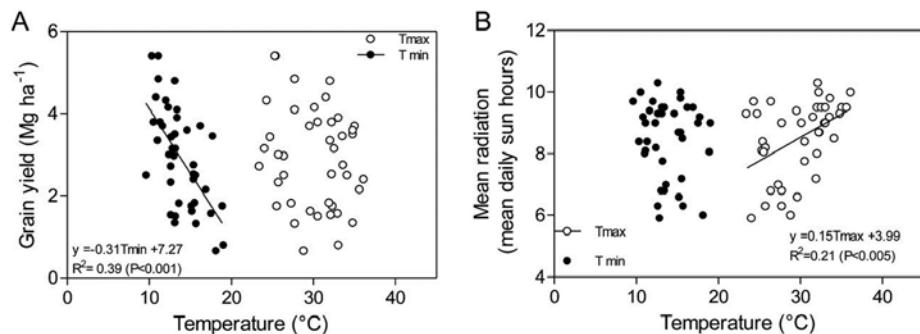
suhu udara rata-rata 15-23°C, radiasi surya 0,2-0,6 kal/cm²/menit, dan curah hujan 60-155 mm/bulan.

Suhu Udara

Suhu udara (maksimum dan minimum) merupakan faktor utama dalam menentukan kesesuaian wilayah untuk tanaman gandum. Tanaman gandum memberikan produksi optimal pada kisaran suhu udara 10-20°C (Fisher 1985) dan kisaran tersebut hanya terdapat pada daerah-daerah di sekitar lintang 20° atau lebih tinggi. Di sekitar garis khatulistiwa, kisaran ini sangat dipengaruhi oleh tinggi tempat dari muka laut. Di Indonesia, kisaran suhu tersebut ditemukan di daerah dengan ketinggian lebih dari 500 m di atas muka laut.

Aggarwal (1991) menggunakan model simulasi dalam memprediksi produktivitas gandum yang dikaitkan dengan suhu udara. Untuk setiap derajat celcius kenaikan suhu udara rata-rata, hasil gandum akan turun 504 kg/ha. Di daerah dengan suhu udara rata-rata 22,5-27,5°C hasil yang dapat dicapai hanya 1,9-4,4 t/ha, pada suhu 17,5-22,5°C memberi hasil 4,5-6,9 t/ha, dan pada suhu 12,5-22,5°C diperoleh hasil 7,0-9,4 t/ha. Rendahnya potensi hasil pada daerah berelevasi rendah erat kaitannya dengan respon tanaman terhadap suhu udara. Suhu yang tinggi memperpendek fase vegetatif tanaman, sehingga potensi genetik tanaman tidak tercapai (Kramer 1980).

Menurut Reynolds *et al.* (2001), penanaman gandum di wilayah tropika mempunyai kelemahan, terutama cekaman suhu tinggi yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Cekaman panas terus-menerus didefinisikan sebagai suhu rata-rata harian lebih dari 17,5°C pada bulan paling dingin dalam satu musim (Fokar *et al.* 1998). Lebih dari 50 negara (yang mengimpor lebih dari 30-40 juta ton gandum per tahun) mengalami cekaman ini sepanjang siklus tanaman gandum. Hal ini menyebabkan sebagian besar negara-negara berkembang di daerah tropika memilih cekaman suhu tinggi sebagai salah satu prioritas penelitian utama mereka (Reynolds *et al.* 2001).



Gambar 1. Hubungan antara hasil gabah (A) dan rata-rata radiasi matahari (B) dengan suhu maksimum dan minimum dari 16 genotipe tanaman gandum.

Sumber: Cossani dan Reynolds (2012).

Tabel 1. Korelasi genetik antara komponen morfologi dengan hasil 10 varietas gandum pada 16 lingkungan kelembaban relatif yang berbeda, IHSGE 1990-94.

Komponen morfologi	Korelasi genetik
Biomasa bagian atas tanaman saat panen	0,88**
Gabah/m ²	0,77**
Gabah/malai	0,67*
Indeks panen	0,51
Bobot biji	-0,10
Malai/m ²	0,0
Umur antesis	0,83**
Umur panen	0,81**
Tinggi tanaman	0,20
% penutupan tanah (saat antesis)	0,67*
Biomassa saat antesis	0,35
Bobot kering tanaman (stadia 5 daun)	-0,45
% penutupan tanah (stadia 5 daun)	-0,30
Jumlah rumpun tanaman/m ²	-0,15

* Berbeda nyata pada taraf $t \leq 0,05$, ** berbeda sangat nyata pada taraf $t \leq 0,01$.

Sumber: Reynolds *et al.* 1998; Vargas *et al.* (1998)

Kerja sama penelitian *International Heat Stress Genotype Experiment* (IHSGE) antara CIMMYT dan NARS pada aspek fisiologis cekaman suhu tinggi tanaman gandum dimulai pada tahun 1990, melibatkan peneliti gandum di Bangladesh, Brazil, Mesir, India, Nigeria, Sudan, dan Thailand (Reynolds *et al.* 1998). Tujuan utama IHSGE adalah untuk mengamati keragaman genetik dalam kaitannya dengan suhu tinggi, dan meningkatkan pemahaman tentang dasar-dasar fisiologis dan genetika dari cekaman suhu tinggi.

Hasil utama penelitian IHSGE dalam periode 1990-94 menunjukkan: (1) interaksi antara lingkungan dan genotipe dipengaruhi oleh kelembaban udara relatif (RH), baik pada negara-negara yang mempunyai RH rendah (misalnya Sudan, Meksiko, dan India) maupun RH tinggi (seperti Bangladesh dan Brasil), dan (2) terdapat hubungan yang konsisten antara hasil gandum dan beberapa komponen morfologi tanaman (Tabel 1).

KARAKTER FISIOLOGIS TERKAIT TOLERANSI PANAS

Keaneharagaman genetik untuk toleransi panas dalam budi daya gandum telah banyak diketahui (Midmore *et al.* 1984, Rawson 1986, Wardlaw *et al.* 1989; Al-Khatib and Paulsen 1990, Reynolds *et al.* 1994). Cossani dan Reynolds (2012) mengemukakan jika air dan nutrisi tidak menjadi faktor pembatas, hasil gandum menjadi fungsi dari tiga karakter utama secara genetis, yaitu: (1) intersepsi cahaya (LI); (2) efisiensi penggunaan radiasi (RUE); dan (3) partisi total asimilasi.

Asimilasi fotosintesa menjadi faktor pembatas di bawah tekanan cekaman suhu tinggi di wilayah tropika dibandingkan dengan lingkungan beriklim sedang,

terutama karena cekaman suhu tinggi meningkat selama proses pengisian biji. Pada saat yang sama, kebutuhan hasil asimilat meningkat cepat. Hal ini diindikasikan oleh pengamatan bahwa di bawah cekaman suhu tinggi, jumlah biomassa di atas tanah berkorelasi sangat nyata dengan hasil biji dibandingkan dengan indeks panen (Tabel 1). Situasi ini biasanya terbalik pada wilayah beriklim sedang. Oleh karena itu, karakter yang mempengaruhi efisiensi pemanfaatan radiasi matahari, seperti persentase penutupan tanah awal, tetap hijau/*stay green*, dan laju fotosintesis, menjadi penting di bawah tekanan suhu tinggi. Bukti fisiologis menunjukkan bahwa menurunnya jumlah klorofil selama proses pengisian biji berkaitan erat dengan penurunan hasil gandum di lapangan (Reynolds *et al.* 1994).

Studi dalam lingkungan terkendali (*growth chamber*) mengungkapkan adanya variabilitas genetik pada tingkat fotosintesis antara kultivar gandum bila terkena cekaman suhu tinggi (Wardlaw *et al.* 1980, Blum 1986). Perbedaan fotosintesis di bawah cekaman suhu tinggi terkait dengan menurunnya jumlah klorofil dan perubahan dalam rasio klorofil a:b karena proses penuaan daun yang lebih awal (Al-Khatib and Paulsen 1990, Harding *et al.* 1990, Moffat *et al.* 1990). Penurunan suhu kanopi (*canopy temperature depression/CTD*), ketahanan stomata pada daun bendera, dan laju fotosintesis berhubungan dengan keragaan tanaman di lapangan di bawah cekaman suhu tinggi (Reynolds *et al.* 1994). Ketahanan stomata dan CTD merupakan mekanisme melepaskan diri (*escape mechanism*) dari cekaman suhu tinggi (Amani *et al.* 1996, Shanahan *et al.* 1990).

Menggunakan konduktimeter untuk mengukur kebocoran zat terlarut dari sel, diperkirakan kerusakan akibat cekaman suhu tinggi terjadi pada membran plasma atau membran termostabilitas (MT) (Blum and Ebercon 1981). Saadalla *et al.* (1990) menemukan korelasi yang tinggi antara kerusakan MT pada stadia bibit dan stadia generatif (daun bendera) untuk genotipe yang tumbuh di bawah kondisi lingkungan terkontrol yang diberi perlakuan cekaman suhu tinggi.

Hilangnya integritas membran mungkin menjadi penyebab kebocoran ion sel. Fenomena ini juga bisa disebabkan oleh suhu tinggi yang mendorong penghambatan aktivitas enzim yang terikat pada membran yang berfungsi memelihara keluar masuknya ion-ion di dalam sel. Bukti langsung terjadinya penghambatan proses biokimia pada mekanisme toleran suhu tinggi pada tanaman gandum adalah tidak aktifnya enzim pelarut pati synthase pada suhu tinggi (Keeling *et al.* 1994). Konversi sukrosa menjadi pati dihambat pada kondisi cekaman suhu tinggi, yang menjelaskan peningkatan kadar karbohidrat dalam jaringan vegetatif terjadi pada proses pengisian biji (Bhullar and Jenner 1986, Gutierrez-Rodriguez *et al.* 2000).

PENDEKATAN FISIOLOGIS UNTUK PEMULIAAN TANAMAN TOLERAN SUHU TINGGI

Mekanisme fisiologis yang berbeda dapat berperan dalam toleransi suhu tinggi kultivar gandum di lapangan, seperti ditunjukkan oleh tingkat fotosintesis yang lebih tinggi, daun tetap hijau, membran thermostability, atau menghindari panas seperti yang ditunjukkan oleh penurunan suhu kanopi. Program pemuliaan dapat mengukur sifat-sifat tersebut untuk membantu pelaksanaan seleksi galur-galur toleran suhu tinggi.

Data lapangan menunjukkan hubungan yang nyata antara CTD dengan hasil biji, baik pada lingkungan suhu tinggi maupun beriklim sedang. CTD menunjukkan korelasi genetik yang tinggi dengan hasil biji. Reynolds *et al.* (1998) melaporkan sifat ini diwariskan sehingga dapat digunakan dalam seleksi generasi awal. Nilai CTD dapat diukur hampir seketika (*real time*) pada sejumlah tanaman dalam petak pemuliaan yang kecil. CTD dipengaruhi oleh banyak faktor fisiologis, yang membuatnya menjadi sifat integratif yang kuat, tetapi penggunaannya mungkin dibatasi oleh kepekaan terhadap faktor lingkungan. Pengukuran CTD pada 60 galur harapan tanaman gandum di Meksiko menunjukkan korelasi yang tinggi dengan hasil biji (Tabel 2).

Penurunan suhu kanopi tanaman sangat sesuai untuk seleksi galur-galur unggul secara fisiologis pada lingkungan suhu tinggi dengan kelembaban relatif yang rendah, evaporasi tinggi yang menyebabkan pendinginan daun hingga 10°C di bawah suhu kamar. Perbedaan di antara genotipe untuk dideteksi relatif mudah dengan menggunakan thermometer inframerah. Namun, perbedaan tersebut tidak dapat dideteksi dalam lingkungan kelembaban relatif tinggi, karena efek pendinginan evaporasi daun sangat kecil. Meskipun demikian, daun mempertahankan stomata tetap terbuka untuk memungkinkan penyerapan CO₂. Perbedaan laju fiksasi CO₂ dapat menyebabkan perbedaan ketahanan stomata daun yang dapat diukur dengan porometer.

Tabel 2. Asosiasi CTD (*canopy temperature depression*) dengan karakter 60 galur harapan tanaman gandum, Ciudad Obregon, Meksiko, 1995.

Karakter	Koefisien korelasi dengan CTD
Hasil biji	0,60**
Biomasa	0,40**
Indeks panen	0,14
Bobot kernel	-0,32*
Biji/m ²	0,62**
Malai/m ²	0,33*
Biji/malai	0,40**
Umur panen	0,10
Umur berbunga	0,42**
Tinggi tanaman	0,10

* Berbeda nyata pada taraf $t \leq 0,05$, ** berbeda sangat nyata pada taraf $t \leq 0,01$.

Sumber: Reynolds *et al.* (1998).

Pola cekaman suhu tinggi dapat bervariasi antardaerah tumbuh gandum. Faktor utama yang menjelaskan interaksi genotipe dan lingkungan adalah kelembaban relatif (RH). Pada wilayah dengan RH rendah, seperti Kawasan Timur Indonesia kurangnya ketersediaan kultivar yang secara fisiologis toleran suhu tinggi merupakan faktor pembatas hasil biji yang tinggi. Sementara pada kondisi lingkungan dengan RH tinggi seperti di Kawasan Barat Indonesia, tekanan penyakit dapat menjadi faktor pembatas tambahan dan mungkin lebih serius. Penurunan suhu kanopi dapat menjadi kriteria seleksi tidak langsung yang berpotensi kuat dalam lingkungan RH rendah, sedangkan ketahanan stomata dan membran termostabilitas dapat diterapkan di semua lingkungan.

PENDEKATAN AGRONOMIS UNTUK MENGURANGI PENGARUH CEKAMAN SUHU TINGGI

Pertumbuhan tanaman yang optimal membutuhkan pasokan air, hara, dan radiasi matahari. Bila suhu udara meningkat, permintaan terhadap sumber daya air dan hara meningkat karena tingginya laju metabolisme, pertumbuhan, dan evapotranspirasi (Rawson 1986). Ketika sumber daya seperti air dan hara dibatasi oleh tekanan panas, ukuran organ tanaman seperti luas daun, jumlah anakan, dan gabah berkurang (Fischer 1984). Tingkat sensitivitas proses metabolisme terhadap pengaruh suhu tunggi di lapangan, ditambah dengan berkurangnya umur tanaman pada suhu tinggi (Midmore *et al.* 1984), menjelaskan mengapa hasil gandum sangat terkait dengan total biomassa tanaman pada lingkungan suhu tinggi. Interaksi ini membuat manajemen pengelolaan tanaman menjadi penting untuk mempertahankan hasil panen gandum di lingkungan suhu tinggi.

Penggunaan pupuk organik seperti pupuk kandang dapat memperbaiki kondisi fisik dan kimia tanah, serta membantu menjaga kelembaban tanah (Sattar and Gaur 1989; Tran-Thuc-Son *et al.* 1995). Pemberian pupuk organik sebanyak 10-15 t/ha di awal pertanaman meningkatkan hasil panen gandum selama tiga musim tanam berturut-turut, bila dikombinasikan dengan pemberian pupuk anorganik N pada kondisi panas dan kelembaban tinggi di Bangladesh (Mian *et al.* 1985). Pada kondisi suhu tinggi, penguapan pupuk N dalam bentuk NH_3 lebih cepat dibandingkan dengan aplikasi setara N dalam bentuk pupuk organik seperti pupuk kandang (Tran-Thuc-Son *et al.* 1995).

Penggunaan kombinasi pupuk organik dan anorganik terhadap hasil gandum dievaluasi dalam percobaan lapangan di Pakistan (Syah *et al.* 2010). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi pemberian 25% N dari kotoran sapi, 25% N dari kotoran ayam, dan 50% N dari pupuk urea cenderung memberikan hasil lebih tinggi dibandingkan dengan 100% N asal urea (Tabel 3).

Mulsa jerami juga berpotensi memperbaiki cekaman suhu tinggi dengan mengurangi laju penguapan kelembaban tanah dan meningkatkan laju infiltrasi dan menurunkan suhu tanah (Lal 1975, Badaruddin *et al.* 1999). Suhu permukaan tanah dapat melebihi suhu udara 10-15°C jika permukaan tanah

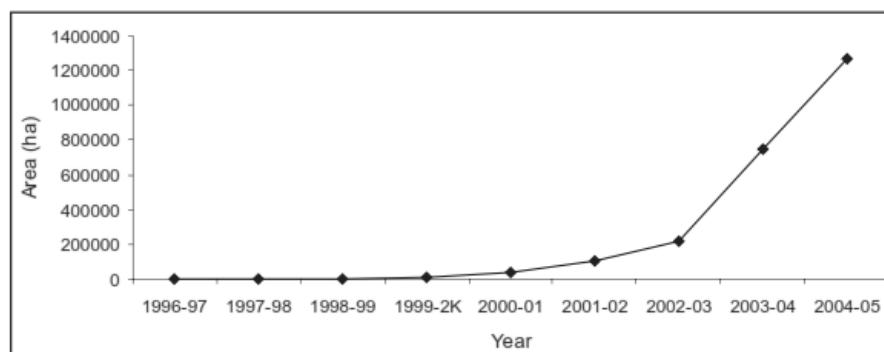
gundul dan intensitas radiasi matahari tinggi (Fischer 1984). Kondisi ini menunjukkan hasil gandum di lingkungan yang hangat dapat ditingkatkan dengan memodifikasi teknik budi daya. Secara keseluruhan, aplikasi pupuk kandang memiliki efek terbesar dan paling konsisten terhadap hasil. Teknik olah tanah minimum yang terkait dengan pemanfaatan sisa tanaman dan curah hujan juga meningkatkan hasil gandum (Malik *et. al.* 2004).

Pola tanam padi-gandum merupakan sistem tanam yang paling penting di India dan China. Petani menanam padi di lahan sawah pada musim hujan dan diikuti oleh gandum pada musim dingin. Padi dibudidayakan setelah tanah diolah sempurna (OTS) dan gandum dibudidayakan tanpa olah tanah (TOT). Berkembangnya gandum dengan teknik TOT didukung oleh pengembangan varietas toleran herbisida (Gambar 2). Produktivitas gandum cenderung lebih tinggi pada teknik TOT dibanding OTS.

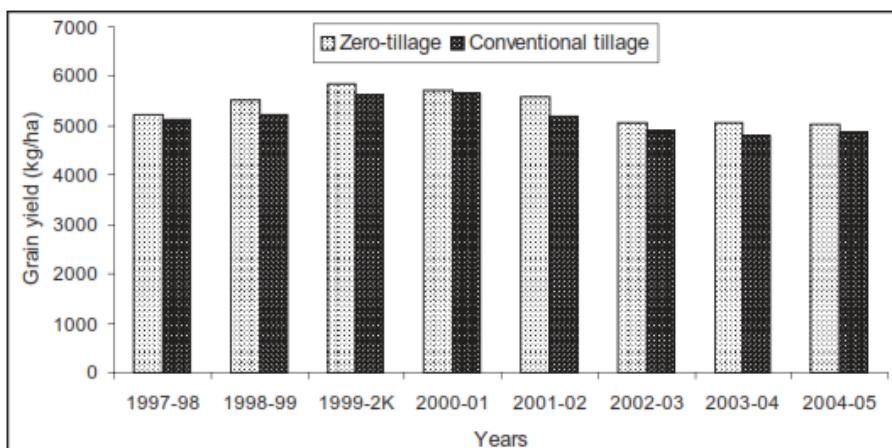
Tabel 3. Kombinasi pupuk organik dan anorganik terhadap komponen hasil dan hasil tanaman gandum.

N organik (%)		N pupuk urea (%)	Biji/malai	Bobot 1000 biji (g)	Hasil biji (kg/ha)	Peningkatan hasil (kg/ha)
Kotoran sapi	Kotoran ayam					
0	0	0	31,16 d	20,64 e	2150 c	0
0	0	100	39,65 bc	40,08 bcd	2850 ab	700
25	0	75	42,35 ab	39,70 cd	2700 ab	550
0	25	75	41,15 ab	39,35 d	2550 b	400
25	25	50	39,30 bc	42,75 a	3050 a	900
LSD (0,05)			3,12	2,06	0,779	

Kandungan C-organik tanah 0,86%; kandungan N kotoran sapi 0,6% dan kotoran ayam 2,87%. Sumber: Shah *et al.* (2010)



Gambar 2. Perkembangan luas tanam gandum tanpa olah tanah di India
Sumber: Singh *et al.* (2005)



Gambar 3. Produkutivitas gandum tanpa oian tanan (TOT) dan oian tanan sempurna (OTS), rata-rata enam lokasi, di lahan petani yang menerapkan TOT terus menerus dalam pola tanam padi – gandum di negara bagian Haryana, India

Sumber: Yadav *et al.* (2005)

Pertumbuhan gandum pada kondisi suhu tinggi sangat sensitif terhadap manajemen pengelolaan tanaman. Pendekatan terpadu yang merupakan kombinasi beberapa teknik budi daya yang sinergis dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui peningkatan ketersediaan air dan hara bagi tanaman. Pendekatan terpadu ini dapat dipilih untuk wilayah dengan cekaman suhu tinggi serta kelembaban tinggi dan wilayah dengan suhu tinggi serta kelembaban rendah.

KESIMPULAN

Tanaman gandum memberikan produksi optimal pada kisaran suhu udara 10-20°C dengan bulan kering (<100 mm/bulan) pada periode akhir sebelum panen. Rendahnya potensi hasil pada daerah berelevasi rendah erat kaitannya dengan respon tanaman terhadap suhu udara. Suhu yang tinggi memperpendek fase vegetatif tanaman, sehingga potensi genetik tanaman tidak tercapai. Penurunan suhu kanopi, ketahanan stomata pada daun bendera, dan laju fotosintesis berhubungan dengan keragaan tanaman di lapangan di bawah cekaman suhu tinggi. Penurunan suhu kanopi menunjukkan korelasi genetik yang tinggi dengan hasil biji sehingga dapat digunakan dalam seleksi generasi awal. Budi daya gandum tanpa olah tanah setelah padi sawah, penggunaan pupuk organik dan mulsa jerami merupakan kombinasi beberapa teknik budi daya yang sinergis, dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui peningkatan ketersediaan air dan hara bagi tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Aggarwal, P. K. 1991. Simulating growth, development, and yield of wheat in warmer areas. Pages 429-446 In Saunders, D.A. (ed). Wheat for Non-Traditional Warm Area. Proc. of the International Conference, July 29-August 3, 1991, Brazil. CYMMIT, Mexico D.F.
- Al-Khatib, K. and G.M. Paulsen. 1990. Photosynthesis and productivity during high temperature stress of wheat cultivars from major world regions. *Crop Sci.* 30:1127-1132.
- Amani, I., R.A. Fischer, and M.P. Reynolds. 1996. Evaluation of canopy temperature as a screening tool for heat tolerance in spring wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 176:119-129.
- Badaruddin, M., M.P. Reynolds, and O.A.A. Ageeb. 1999. Wheat management in warm environments: effect of organic and inorganic fertilizers, irrigation frequency, and mulching. *Agronomy J.* 91.
- Bhullar, S.S., and C.F. Jenner. 1986. Effects of temperature on the conversion of sucrose to starch in the developing wheat endosperm. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:605-615.
- Blum, A. 1986. The effect of heat stresss on wheat leaf and ear photosynthesis. *J. Experimental Botany* 37:111-118.
- Blum, A., and A. Ebercon. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Sci.* 21:43-47.
- Cossani, C. M. and M. P. Reynolds. 2012. Physiological Traits for Improving Heat Tolerance in Wheat. *Plant Physiol.* 160:1710-1718
- Curtis, B. C. 1988. The potential for expanding wheat production in marginal and tropical environments. In A.R. Klatt (ed) *Wheat Production Constraints in Tropical Environments*. Mexico, D. F.- CIMMYT.
- FAO. 1978. Report on the agro ecological zones project. Methodology and Results for Africa. World Soil Resources Report, Vol I/48, Rome
- Fischer, R. A. 1983. Wheat. In *Potential Productivity of Field Crops under Different Environments*. International Rice Research Instute, Los Banos, Laguna. P. 129-154
- Fischer, R. A. 1984. Physiological limitations to producing wheat in semi-tropical and tropical environments and possible selection criteria. In: *Wheats for More Tropical Environments. A Proceedings of the International Symposium*. Mexico, D.F.: CIMMYT. pp. 209-230.
- Fischer, R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* 105:447-61.
- Fokar, M., H.T. Nguyen, and A. Blum. 1998. Heat tolerance in spring wheat. I. Genetic variability and heritability of cellular thermotolerance. *Euphytica* 104:1-8.
- Gutiérrez-Rodríguez, M., M.P. Reynolds, and A. Larqué-Saavedra. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. II: Traits associated with genetic gains in yield. *Field Crop Res.* 66:51-62.
- Harding, S.A., J.A. Guikema, and G.M. Paulsen. 1990. Photosynthetic decline from high temperature stress during maturation of wheat. I. Interaction with senescence process. *Plant Physiol.* 92:648-653.
- Kassam, A. H. 1976. Crops on the West Africa semi-arid tropics. ICRISAT, Hyderabad.

- Keeling, P.L., R. Banisadr, L. Barone, B.P. Wasserman, and A. Singletary. 1994. Effect of temperature on enzymes in the pathway of starch biosynthesis in developing maize and wheat grain. *Aust. J. Plant Physiol.* 21:807-827.
- Klages, K.H.W. 1958. *Ecological Crop Geography*. McMillan New York. 2nd Eds.
- Kramer, P. J. 1980. Drought stress and origin of adaptation of plants to water and high temperature stress. N.C. Turner and P.J. Kramer (Eds.). John Wiley and Sons. Inc. New York.
- Lal, R. 1975. Role of mulching techniques in tropical soil and water management. IITA Tech. Bull. I. Ibadan, Nigeria.
- Malik, R. K., A. Yadav, G. S. Gill, P. Sardana, R. K. Gupta, and C. Piggin. 2004. Evolution and Acceleration of No-till Farming in Rice-Wheat Cropping System of the Indo-Gangetic Plains. In *New directions for a diverse planet*. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sep-1 Oct 2004, Brisbane, Australia. Web site www.cropscience.org.au
- Mian, M.I.A., M.A. Rouf, M.A. Rashid, M.A. Mazid, and M. Eaqub. 1985. Residual effects of triple super phosphate (TSP) and farmyard manure (FYM) under renewed application of urea on the yield of crops and some chemical properties of soil. *Bangladesh J. Agric. Sci.* 10(2):99-109
- Midmore, D.J., P.M. Cartwright, and R.A. Fischer. 1984. Wheat in tropical environments. II. Crop Growth and Grain yield. *Field Crops Res.* 8:207-227.
- Moffat, J.M., G. Sears, T.S. Cox, and G.M. Paulsen. 1990. Wheat high temperature tolerance during reproductive growth. I. Evaluation by chlorophyll fluorescence. *Crop Sci.* 30:881-885.
- Rawson, H.N. 1986. High temperature-tolerant wheat: A description of variation and a search for some limitations to productivity. *Wild Crops Res.* 14:197-212.
- Reynolds, M.P., M. Balota, M.I.B. Delgado, I. Amani, and R.A. Fischer. 1994. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Aust. J. Plant Physiol.* 21:717-30.
- Reynolds, M.P., R.P. Singh, A. Ibrahim, O.A.A. Ageeb, A. Larqué-Saavedra, and J.S. Quick. 1998. Evaluating physiological traits to complement empirical selection for wheat in warm environments. *Euphytica* 100:84-95.
- Reynolds, M.P., S. Nagarajan, M.A. Razzaque, and O.A.A. Ageeb. 2001. Heat Tolerance. Reynolds, M.P., J.I. Ortiz-Monasterio, and A. McNab (eds.). *Application of Physiology in Wheat Breeding*. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Saadalla, M.M, J.F. Shanahan, and J.S. Quick, 1990. Heat tolerance in winter wheat. I. Hardening and genetic effects on membrane thermostability. *Crop Sci.* 30:1243-1247.
- Sattar, M.A., and A.C. Gaur. 1989. Effect of Vamycorrhiza and phosphate dissolving microorganism on the yield and phosphorus uptake of wheat (*Triticum vulgare*) in Bangladesh. *Bangladesh J. Agric. Res.* 14(3):233-239.
- Shah, A. S., S. M. Shah, W. Mohammad, M. Shafi, H. Nawaz, S. Shehzadi and M. Amir. 2010. Effect of integrated use of organic and inorganic nitrogen sources on wheat yield. *Sarhad J. Agric.* 26(4): 559-563
- Shanahan, J.F., I.B. Edwards, J.S. Quick, and R.J. Fenwick. 1990. Membrane thermostability and heat tolerance of spring wheat. *Crop Sci.* 30:247-251.

- Singh, S. S., R. K. Malik, R. Gupta, S. Singh, 2005. Weed problems associated with the new technologies in rice-wheat cropping system of Bihar. Project Workshop Proc. on "Accelerating the Adoption of Resource Conservation Technologies in Rice-wheat Systems of the Indo-Gangetic Plains" held on June 1-2, 2005 at Hisar (Haryana), India. pp. 252-260.
- Tran-Thuc-Son, U. Singh, J.L. Padilla, and R.J. Buresh. 1995. Management of urea and degraded soils of Red River Delta (Vietnam): Effect of growing season and cultural practice. p. 161-175. In G.L. Denning and VoTong-Xuan (eds.). Vietnam and IRRI, A Partnership in Rice Research, Proceedings of a Conference. Los Baños, Laguna (Phil.). IRRI.
- Vargas, M., Crossa, J., Sayre, K.D., Reynolds, M.P., Ramírez, M.E., and Talbot, M. 1998. Interpreting genotypes by environment interaction in wheat by partial least square regression. *Crop Sci.* 38:679-689.
- Wardlaw, J.F., I. Sofield, and P.M Cartwright. 1980. Factors limiting the rate of dry matter accumulation in the grain of wheat grown at high temperature. *Aust. J. Plant Physiol.* 7:387-400.
- Yadav, A., R. K. Malik, S. S. Punia, R.S. Malik and S. Singh, 2005. Studies on the impact of long-term zero tillage in pearl millet cropping sequence. Project Workshop Proc. on Accelerating the Adoption of Resource Conservation Technologies in Rice-wheat Systems of the Indo-Gangetic Plains held on June 1-2, 2005 at Hisar (Haryana), India. pp. 23-31.
- Zaini, Z., M. Jusuf, dan A. Kaher, 1991. Potential for Wheat Production in Indonesia. Pages 55-64 *In* Saunders, D.A. (ed). Wheat for the Non-traditional Warm Areas. Proc. of the International Conference, July 29 - August 3, 1991, CYMMIT, Mexico D.F.

Pembentukan Varietas Unggul Gandum di Indonesia

Amin Nur¹, Muh. Azrai¹, dan Made Jaya Mejaya²

¹Balai Penelitian Tanaman Serealia

²Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan

PENDAHULUAN

Gandum (*Triticum aestivum*) merupakan komoditas pangan utama dunia yang berasal dari daerah beriklim sedang (subtropik), yang saat ini menjadi pangan alternatif di negara-negara tropis dalam bentuk tepung terigu dan menjadi sumber karbohidrat kedua setelah padi. Tidak dapat dipungkiri bahwa tepung terigu berperan penting mendukung ketahanan pangan dan diversifikasi pangan. Hal ini menyebabkan volume impor biji dan tepung terigu di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Menurut Listiyarini (2016) konsumsi gandum pada tahun 2011-2012 sebesar 6,25 juta ton, tahun 2012-2013 mencapai 6,95 juta ton, tahun 2013-2014 menjadi 7,16 juta ton, dan meningkat menjadi 7,36 juta ton pada tahun 2014-2015. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, pemerintah melakukan impor terutama dari negara Uni Eropa, Kanada, Rusia, Australia, dan Ukraina. Pada tahun 2013-2014 impor gandum sebesar 7,39 juta ton, tahun 2014-2015 mencapai 7,49 juta ton dan diproyeksikan tahun 2015-2016 naik menjadi 8,10 juta ton.

Program penelitian gandum di Indonesia dimulai pada tahun 1969, namun waktu itu belum intensif. Pada tahun 1981 penelitian lebih intensif dan program pemuliaan gandum dimulai sejak 1985 dengan mengevaluasi galur introduksi dan seleksi populasi bersegregasi (Kusmana dan Subandi 1985, Gayatri *et al.* 1989, Dasmal *et al.* 1995). Kegiatan ini berlanjut yang kemudian dilepas dua varietas gandum yang masing-masing diberi nama Timor dan Nias pada tahun 1993. Hasil penelitian memperlihatkan gandum dataran tinggi menghasilkan lebih dari 3 t/ha.

Penelitian selanjutnya adalah uji multilokasi beberapa genotipe introduksi dari India dan CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center) oleh beberapa lembaga penelitian dan perguruan tinggi. Pada 2003 telah dilepas dua varietas gandum, yaitu Selayar dan Dewata. Varietas Selayar berasal dari galur HAHN/2*WEAVER introduksi dari CIMMYT dan varietas Dewata berasal dari galur DWR 162 introduksi dari India (Dahlan *et al.* 2003).

Pengembangan gandum di Indonesia pernah diinisiasi oleh Departemen Pertanian, Seameo-Biotrop, dan PT Bogasari Flours Mills, dikenal sebagai *Gandum 2000*. Penelitian pengembangan ini dilakukan pada empat elevasi yaitu > 1.000 m dpl (Tosari, Pasuruan, Jawa Timur), 800 m dpl (Nongkojajar, Pasuruan, Jawa Timur), 300 m dpl (Seameo-Biotrop, Bogor), dan > 100 m dpl (Mojosari, Jawa Timur) (Handoko 2007). Materi penelitian diintroduksi dari India, yaitu

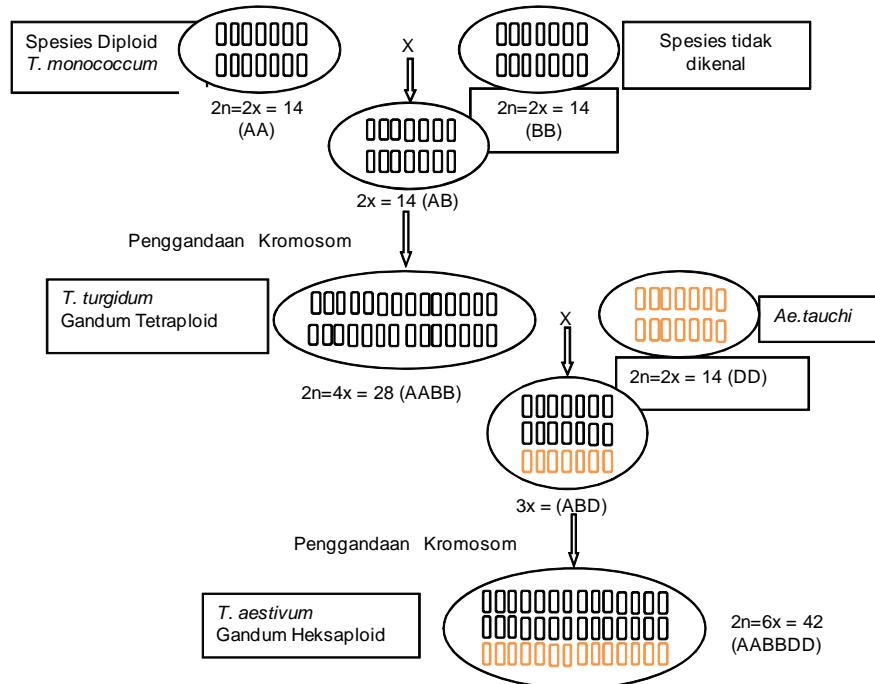
DWR-162. Dalam program pemuliaan, materi genetik ini dirancang untuk toleran suhu tinggi (*heat toleran*) dan merupakan cikal bakal varietas Dewata. Selanjutnya, pengembangan gandum di Indonesia dimulai setelah dilepas dua varietas pada tahun 2003, yaitu Selayar dan Dewata.

Tulisan ini membahas proses pemuliaan gandum dalam pembentukan varietas unggul gandum di Indonesia.

KONSTITUSI GENETIK TANAMAN GANDUM

Gandum merupakan spesies dari genus *Triticum*, *Tribe Triticeae*, dan Famili *Poaceae*. *Triticeae* merupakan *Tribe* dari famili *Poaceae* yang terdiri atas lebih dari 15 genus dan 300 spesies, termasuk gandum dan barley. Genus *Triticum* berkerabat dengan *Hordeum*, *Avena*, *Secale*, *Zea*, dan *Oryza* (Wittenberg 2004).

Spesies yang termasuk ke dalam genus *Triticum* dikelompokkan ke dalam tiga kelas ploid, yaitu diploid ($2n=2x=14$), tetraploid ($2n=4x=28$), dan heksaploid ($2n=6x=42$) (Gambar 1) (Wittenberg 2004, Fehr 1987, Sleper and Poehlman 2006). Saat ini terdapat 11 spesies diploid, 12 spesies tetraploid, dan enam spesies heksaploid yang sudah diidentifikasi dan dideskripsikan (Sleper



Gambar 1. Proses persilangan pembentukan gandum (*Triticum aestivum*L.) menurut Sleper dan Phoelman (2006).

and Poehlman 2006). Namun hanya dua spesies dari genus *Triticum* yang memiliki nilai ekonomis penting, yaitu *T. aestivum* dan *T. turgidum*. *T. aestivum* merupakan gandum yang umum dikenal dan dimanfaatkan untuk bahan baku roti. *T. turgidum* dikenal dengan gandum durum yang digunakan untuk pasta. Wilson (1955) mengklasifikasikan gandum berdasarkan kegunaannya dan dibedakan ke dalam gandum keras (*hard wheat*) yang memiliki kandungan gluten dan protein tinggi, yang cocok untuk roti; gandum lunak (*soft wheat*) memiliki kandungan gluten dan protein yang lebih rendah, cocok untuk kue-kue kering, biscuit, *crackers*. Gandum durum memiliki kandungan gluten dan protein yang sangat rendah, cocok untuk macaroni dan spaghetti. Fehr (1987) mengklasifikasikan beberapa spesies *Triticum* berdasarkan kelas ploidinya (Tabel 1).

Gandum adalah tanaman menyerbuk sendiri. Penyerbukan sendiri menyebabkan konstitusi gen tanaman di alam bebas bersifat homozigot pada hampir semua lokus. Penyataan tersebut didasarkan pada sifat pasangan alel,

Tabel 1. Klasifikasi beberapa spesies *triticum* berdasarkan kelas ploidi.

Spesies	Genome	Status
*Diploid (2n = 14)		
<i>T. monococcum</i> var. <i>monococcum</i>	AA	Budi daya
<i>T. monococcum</i> var. <i>boeoticum</i>	AA	spesies liar
<i>T. dichasians</i>	CC	spesies liar
<i>T. tauschii</i>	DD	spesies liar
<i>T. comosum</i>	MM	spesies liar
<i>T. speltoides</i>	SS	spesies liar
<i>T. umbellatum</i>	UU	spesies liar
Tetraploid (2n = 4x = 28)		
<i>T. turgidum</i> L. var. <i>dococcon</i>	AABB	Budi daya
<i>T. turgidum</i> L. var. <i>durum</i>	AABB	Budi daya
<i>T. turgidum</i> L. var. <i>turgidum</i>	AABB	Budi daya
<i>T. turgidum</i> L. var. <i>polonicum</i>	AABB	Budi daya
<i>T. turgidum</i> L. var. <i>carthlicum</i>	AABB	Budi daya
<i>T. turgidum</i> L. var. <i>dicoccoides</i>	AABB	spesies liar
<i>T. tirmopheevii</i> var. <i>araraticum</i>	AAGG	spesies liar
<i>T. cylindricum</i>	DDCC	spesies liar
<i>T. ventricosum</i>	DDMM	spesies liar
<i>T. triunciale</i>	UUCC	spesies liar
<i>T. ovatum</i>	UUMM	spesies liar
<i>T. kotschyii</i>	UUSS	spesies liar
Heksaploid (2n = 6x = 42)		
<i>T. aestivum</i> L. var. <i>aestivum</i>	AABBDD	Budi daya
<i>T. aestivum</i> L. var. <i>spelta</i>	AABBDD	Budi daya
<i>T. aestivum</i> L. var. <i>compactum</i>	AABBDD	Budi daya
<i>T. aestivum</i> L. var. <i>sphaerococcum</i>	AABBDD	Budi daya
<i>T. syriacum</i>	DDMMSS	spesies liar
<i>T. juvenile</i>	DDMMUU	spesies liar
<i>T. triaristatum</i>	UUMMM	spesies liar

Sumber: Fehr (1987).

yaitu alel homozigot akan tetap homozigot jika mengalami penyerbukan sendiri. Alel heterozigot akan mengalami penurunan heterozigositas akibat penyerbukan sendiri.

Peningkatan homozigositas akibat penyerbukan sendiri bergantung pada tingkat generasi segregasi dan jumlah gen yang berperan. Menurut Allard (1960), tingkat homozigot dapat dihitung dengan persamaan $[(2^n - 1)/2^n]^m \times 100\%$, dimana n adalah tingkat generasi segregasi dan m adalah jumlah pasangan gen heterozigot. Berdasarkan penjabaran tersebut, Allard (1960) menyimpulkan bahwa semakin banyak jumlah gen berbeda, semakin dibutuhkan tingkat generasi lanjut untuk menghasilkan populasi homozigot.

JENIS GANDUM YANG DAPAT DI KEMBANGKAN DI LINGKUNGAN TROPIS

Tidak semua jenis gandum dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik di lingkungan tropis, khususnya lingkungan tropis Indonesia yang agroekosistemnya sangat beragam. Menurut Sleper dan Poehlman (2006), dua karakteristik yang menjadi faktor pembatas budi daya gandum yaitu:

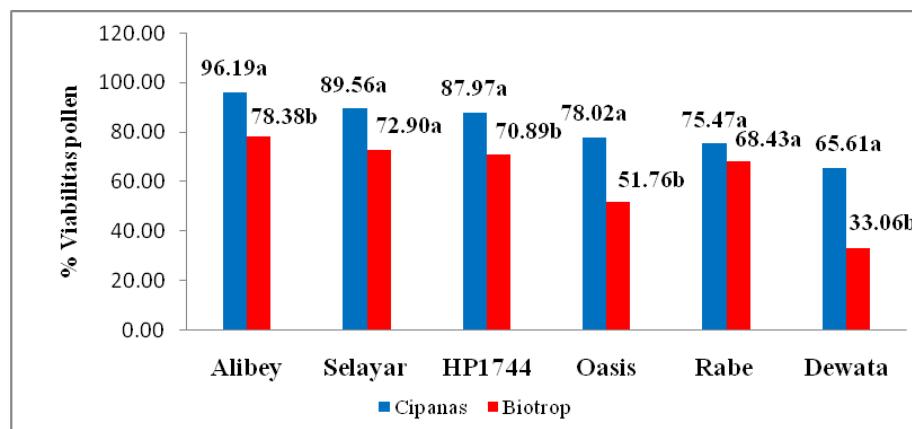
1. Karakteristik fisiologis, yang membatasi daya adaptasi gandum terhadap perubahan iklim/agroekosistem, umumnya berhubungan dengan vernalisasi, musim dingin dan respons terhadap fotoperiodisitas. Syarat ini sangat menentukan jenis gandum dan program pemuliaan yang akan dikembangkan. Vernalisasi merupakan aspek fisiologis yang menentukan pertumbuhan gandum, apakah tipe musim semi (*spring*) atau musim dingin (*winter*). Tipe gandum musim dingin (*winter wheat*) memerlukan periode vernalisasi (pemparapan pada tahap kecambah pada suhu yang mendekati beku) yang dibutuhkan sebelum pembungaan terjadi. Karakteristik lain adalah kemampuan tanaman untuk mengeras dan bertahan dalam kondisi suhu dingin. Tipe gandum musim semi (*spring wheat*) tumbuh di daerah subtropis utara, yang sensitif terhadap periode penyinaran dan berbunga selama panjang hari menurun.
2. Karakteristik kimia dan fisika dari gluten. Karakteristik ini berkontribusi terhadap penggunaan biji gandum untuk berbagai jenis makanan yang berbeda. Keberagaman produk akhir gandum yang digunakan membutuhkan kultivar dengan biji yang baik. Perbedaan genetik mempengaruhi kualitas biji. Sebelum memulai program pemuliaan, pemulia gandum harus mengenal kondisi cekaman yang membatasi produksi gandum di lokasi yang akan ditanam. Juga perlu diidentifikasi karakteristik kualitas gandum yang diinginkan pasar dan program pemuliaan untuk menghasilkan kultivar yang sesuai.

PEMBENTUKAN DAN PERBAIKAN GENETIK GANDUM TROPIS

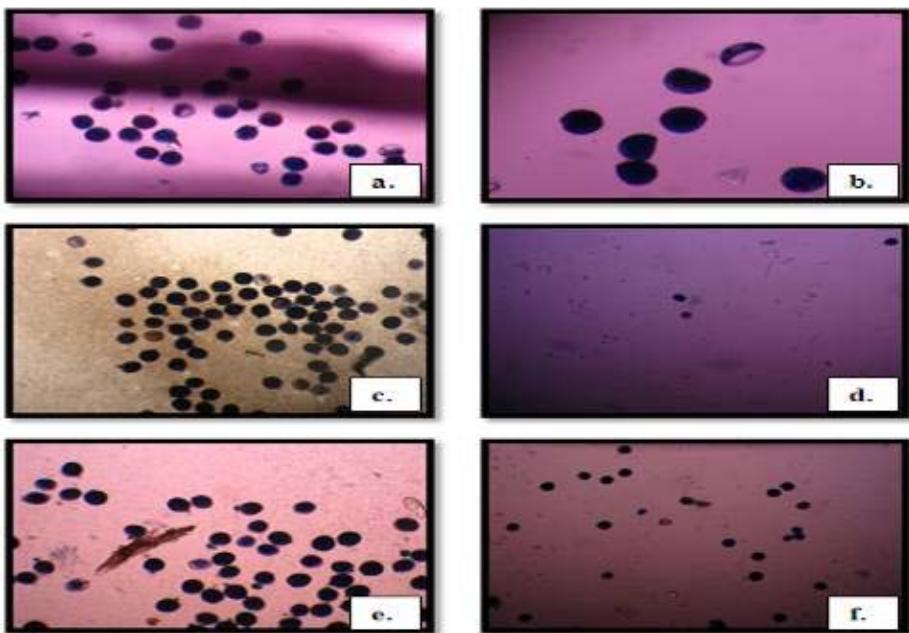
Pembentukan dan perbaikan genetik gandum melalui program pemuliaan di Indonesia diawali dengan mengintroduksi galur-galur elit dari berbagai negara yang dianggap cocok dengan agroekosistem tropis melalui lembaga internasional seperti CIMMYT. Indonesia tidak memiliki plasma nutfah lokal sehingga untuk menjalankan program pemuliaan gandum perlu keragaman genetik yang luas dari luar negeri untuk mendapatkan varietas gandum yang adaptif pada agroekosistem tropis Indonesia, khususnya dataran menengah – rendah. Hasil evaluasi terhadap beberapa galur introduksi menunjukkan bahwa untuk mendapatkan varietas gandum dataran rendah perlu tipe ideal tanaman dengan jumlah anakan produktif tinggi, jumlah spikelet banyak, dan daun bendera lebar (Nur *et al.* 2012).

Natawijaya (2012) mengemukakan bahwa penyebab utama rendahnya produksi gandum pada dataran < 400 m dpl adalah viabilitas polen yang rendah. Dari empat galur dan dua varietas yang diuji semuanya mengalami penurunan viabilitas polen di Tajur (< 400 m dpl) dan varietas Dewata yang paling peka (Gambar 2). Demikian pula yang diperlihatkan morfologi polen (Gambar 3).

Genotipe yang sensitif terhadap cekaman suhu tinggi di dataran rendah menurun jumlah dan fertilitas polennya (Gambar 2 dan Gambar 3). Pada Gambar 2 terlihat penurunan jumlah dan fertilitas polen pada genotipe Selayar dan Rabe di dua agroekosistem tidak berbeda nyata, yang berarti genotipe-genotipe tersebut stabil untuk karakter ini. Hasil penelitian ini membuktikan adanya mekanisme adaptasi untuk tetap mempertahankan penampilannya yang optimal di lingkungan dengan cekaman suhu tinggi. Barnabas *et al.* (2008) menjelaskan bahwa penurunan fertilitas polen dan kehampaan malai disebabkan oleh



Gambar 2. Fertilitas polen beberapa genotipe gandum berdasarkan metode pewarnaan di dua elevasi yang berbeda, Tajur (< 400 m dpl) Cipanas (> 1.000 m dpl)
Sumber: Natawijaya (2012).



Gambar 3. Morfologi polen galur gandum (a. Alibey di Cipanas; b. Alibey di Tajur; c. Dewata di Cipanas; d. Dewata di Tajur; e. HP1744 di Cipanas; f. HP1744 di Tajur).

Sumber: Natawijaya (2012).

terganggunya proses mikrosporogenesis dan mikrogametogenesis. Beberapa protein yang berperan dalam proses tersebut telah terdenaturasi karena pengaruh suhu tinggi.

Dari hasil pengujian adaptasi pada berbagai agroekosistem di Indonesia (elevasi tinggi, menengah, dan rendah) dipilih galur-galur yang memiliki potensi hasil tinggi dan daya adaptasi yang bagus (toleran suhu tinggi) sebagai tetua persilangan. Populasi baru yang dibentuk melalui persilangan diharapkan memiliki keragaman genetik yang luas dengan ideotipe tanaman yang mengandung karakter potensi hasil tinggi, kualitas biji lebih baik, toleran terhadap cekaman suhu tinggi dan tahan terhadap hama dan penyakit. Pembentukan populasi untuk menghasilkan galur-galur gandum tropis melalui persilangan meliputi: 1) introduksi galur-galur elit dari berbagai negara; 2) adaptasi galur untuk melihat potensi hasil dan toleransi terhadap suhu tinggi pada berbagai agroekosistem; 3) persilangan (*single cross* dan *konvergent breeding*); 4 evaluasi hasil persilangan melalui metode *shuttle breeding*.

1. Introduksi galur

Perbaikan genetik sifat agronomik tanaman dapat dilakukan melalui pemuliaan. Pemuliaan konvensional telah menghasilkan beberapa varietas unggul. Melalui introduksi galur-galur elite dari CIMMYT maupun dari beberapa negara lain

Tabel 2. Varietas gandum yang telah dilepas 1993-2014.

Varietas	Tahun pelepasan	Hasil rata-rata (t/ha)*	Umur panen matang (hari)
Nias	1993	2,0	85-95
Timor	1993	2,0	95-105
Dewata	2003	2,96	129
Selayar	2003	2,95	125
Guri-1	2013	5,8	133
Guri-2	2013	5,6	133
Ganesha	2013	5,4	133
Guri-3 Agritan	2014	3,5	125
Guri-4 Agritan	2014	3,8	123
Guri-5 Agritan	2014	3,4	126
Guri-6 Unand	2014	3,4	123

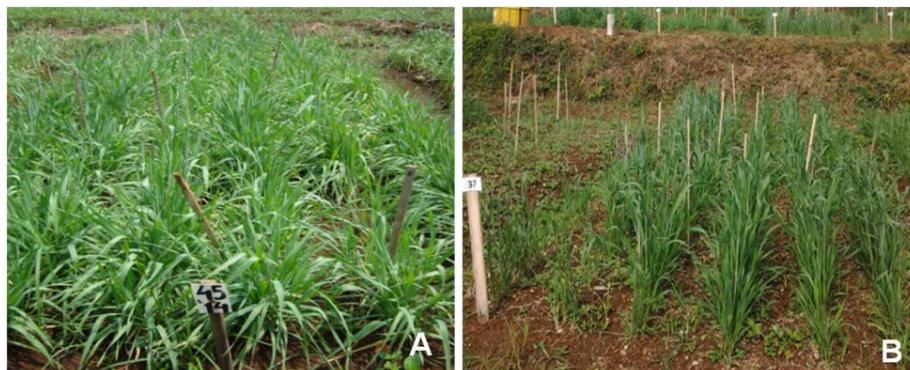
telah dihasilkan tujuh varietas gandum dengan daerah adaptasi pada ketinggian > 1.000 m dpl (Tabel 2). Varietas yang dilepas pada tahun 2013-2014 merupakan hasil *Konsorsium Gandum Nasional*.

2. Adaptasi galur

Untuk mendapatkan galur-galur potensial sebagai calon varietas unggul baru yang adaptif pada ketinggian < 700 m dpl dan toleran cekaman suhu tinggi perlu uji adaptasi khusus pada berbagai elevasi, khususnya pada elevasi menengah-rendah (< 700 m dpl). Galur-galur yang terpilih dari uji adaptasi akan digunakan dalam program persilangan untuk perbaikan sifat gandum melalui program pemuliaan. Perbedaan lingkungan subtropik yang merupakan asal tanaman gandum dengan lingkungan tropis, dimana tanaman gandum akan diadaptasikan dan dikembangkan, memerlukan penelitian yang komprehensif.

Pemuliaan gandum ke depan diarahkan untuk mendapatkan varietas unggul toleran suhu tinggi pada ketinggian 500-800 mdpl. Kegiatan yang telah berjalan hingga saat ini adalah mengadaptasikan beberapa varietas/galur gandum dari berbagai negara pada berbagai ketinggian tempat dan agroekosistem yang berbeda. Kegiatan ini juga bertujuan untuk menyeleksi galur/varietas introduksi yang dapat dijadikan sebagai tetua persilangan gandum. Beberapa hasil pengujian gandum pada elevasi > 1.000 m dpl (Cipanas, Jawa Barat) dan elevasi < 400 m dpl (Seameo-Biotrop, Jawa Barat) disajikan pada Gambar 4 dan 5.

Varietas Dewata merupakan hasil seleksi galur introduksi (Dwr-162) dari India dengan karakter toleran suhu tinggi. Setelah dievaluasi pada dataran < 400 m dpl, galur ini ternyata peka terhadap lingkungan tropis. Evaluasi galur-galur dari beberapa negara (India, Turki, dan Slovakia) memperlihatkan satu galur dari Slovakia memiliki karakter umur genjah. Setelah dievaluasi di lingkungan tropis Indonesia, ternyata galur tersebut memiliki umur yang dalam



Gambar 4. Pertumbuhan varietas Selayar, salah satu induk toleran suhu tinggi, di dataran rendah (A) dan dataran tinggi (B) (Nur 2013b).



Gambar 5. Pertumbuhan varietas Dewata, salah satu induk peka suhu tinggi, di dataran rendah (A) dan dataran tinggi (B) (Nur 2013b).

(115 hari) pada lokasi dengan ketinggian 117 m dpl (Demaga,Bogor) dan (127 hari) lokasi dengan ketinggian 1.170 m dpl (Cipanas,Cianjur) (Altuhais 2014).

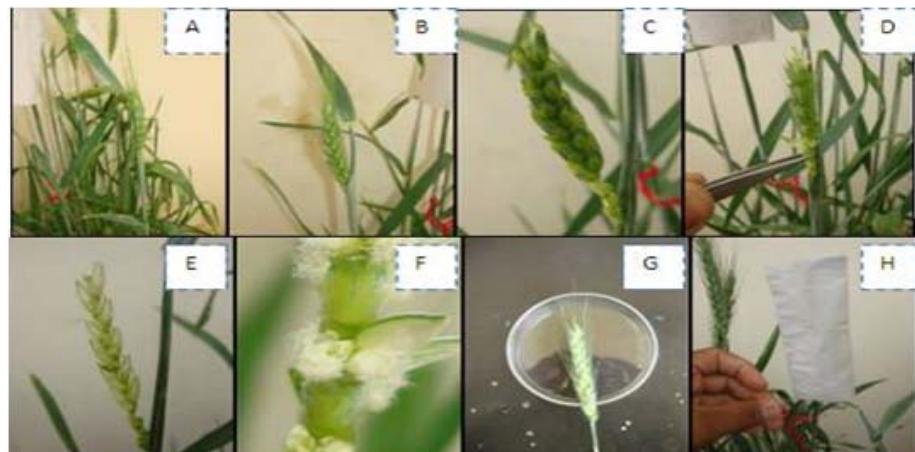
3. Persilangan (*single cross* dan *convergent breeding*)

Perbaikan genetik gandum tropis melalui program pemuliaan memperlihatkan hasil yang cukup baik, baik persilangan konvensional maupun mutasi (mutasi biji dan variasi somaklonal) (Nur *et al.* 2013a). Terdapat dua metode persilangan gandum di dataran rendah, yaitu metode dialel dan *convergent breeding*. Metode dialel bukan bertujuan untuk melihat daya gabung umum dan daya gabung khusus, namun lebih mengarah pada identifikasi kemampuan bunga jantan untuk membuat bunga betina. Demikian juga kemampuan bunga betina untuk dibuahi pada kondisi cekaman suhu tinggi. Persilangan *convergent breeding* adalah metode rekombinasi genetik yang bertujuan untuk menghimpun dan memfiksasi gen-gen yang mengendalikan sifat-sifat yang dikehendaki. Daya hasil, toleran suhu tinggi, dan tepung berkualitas tinggi sebagai kriteria merupakan karakter kuantitatif yang ekspresinya sangat dipengaruhi oleh lingkungan.

Kemungkinan gen-gen yang mengendalikan karakter yang akan diperbaiki tersebar di antara galur-galur introduksi yang diuji, sehingga perbaikan genetik untuk karakter-karakter tersebut harus menggunakan pendekatan persilangan, baik melalui *single cross* maupun *convergent breeding*. Prosedur persilangan disajikan pada Gambar 6. Dari persilangan pada elevasi > 1.000 m dpl (Seameo-Biotrop, Bogor) diperoleh kombinasi persilangan seperti disajikan pada Tabel 3.

Observasi populasi F1 dilakukan pada elevasi < 400 (Seameo-Biotrop, Bogor) dengan penampilan tanaman seperti disajikan pada Gambar 7.

Dari hasil kombinasi persilangan *single cross* kerja sama Balitsereal dan IPB dihasilkan masing-masing 30 galur potensial F6 turunan dari Oasis x HP 1744 dan Selayar x Rabe yang dapat dikembangkan pada dataran menengah (400-700 m dpl) (Yamin 2014). Melalui *convergent breeding* dari hasil persilangan telah dihasilkan populasi F3 (Nur 2014). Tahapan persilangan *convergent breeding* disajikan pada Gambar 8.



Gambar 6. Prosedur persilangan tanaman gandum: (A) persiapan tanaman induk; (B) pemilihan bunga betina untuk persilangan; (C,D) tahapan emaskulasi dan kastrasi; (E) rangkaian bunga betina yang sudah diemaskulasi dan kastrasi; (F) bunga betina yang siap diserbuki (reseptif); (G) persiapan polen atau bunga jantan untuk persilangan; (H) persilangan dan pelabelan hasil persilangan.

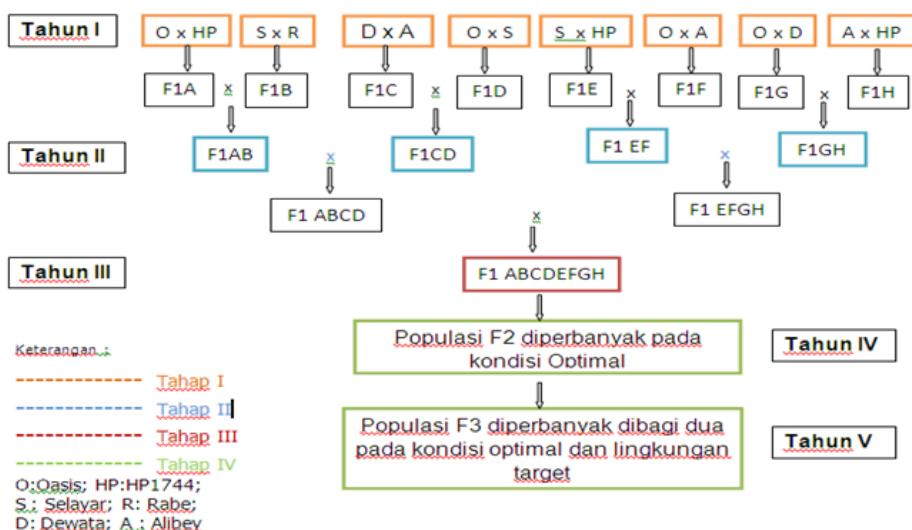
Sumber: Natawijaya (2012).

Tabel 3. Kombinasi persilangan gandum pada elevasi >1.000 m dpl.

No	Persilangan	Jumlah	No.	Persilangan	Jumlah
1	Dewata X Oasis	213	7	Alibey X Oasis	70
2	Oasis X Dewata	60	8	Dewata X Rabe	102
3	Dewata X Selayar	334	9	Alibey X HP	31
4	Selayar X Dewata	101	10	Alibey X Rabe	191
5	Oasis X HP	150	11	Selayar X Rabe	61
6	Dewata X Alibey	103			



Gambar 7. Penampilan tanaman F1 pada elevasi < 400 m dpl (Seameo-Biotrop, Bogor) dari beberapa kombinasi persilangan.



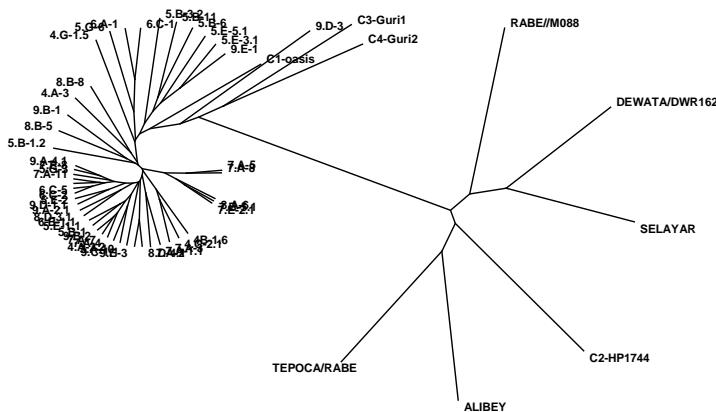
Gambar 8. Tahapan persilangan dalam *convergent breeding* (Nur et al. 2015).

Persilangan pada tahun I menggunakan enam galur tetua, yang terdiri atas delapan kombinasi persilangan yang dilaksanakan pada kondisi optimal pada elevasi > 1.000 m dpl di kebun Percobaan Balai Penelitian Tanaman Hias (Balithi) di Cipanas. Persilangan pada tahun II menggunakan benih F₁ dari delapan kombinasi persilangan dari percobaan tahun I dilaksanakan di *green house* Kebun percobaan Seameo-Biotrop pada elevasi 350 m dpl. Penanaman dilakukan secara bersamaan di *polybag*. Prosedur pelaksanaan percobaan sama dengan tahun I (Gambar 8).

Persilangan pada tahun III menggunakan benih F₁ dengan latar belakang enam genotipe tetua dari masing-masing kombinasi, dilaksanakan di *green house* Kebun Percobaan IPB, Cikabayan, pada elevasi 170 m dpl. Tahun III merupakan tahun terakhir proses fiksasi gen-gen dari seluruh latar belakang genetik yang terlibat. Pengujian benih F1 dari delapan kombinasi persilangan dengan latar belakang enam genotipe tetua dilaksanakan pada dua elevasi, yaitu Malino > 1.000 m dpl dan rumah kaca Balitsereal 30 m dpl (Gambar 9). Benih F2 kemudian dilanjutkan pengujiannya pada dua elevasi (Gambar 10).



Gambar 9. A. Penampilan generatif tanaman F1 *convergent breeding*, B. Tetua HP1744 (peka), Oasis (toleran), Selayar (toleran), Dewata (peka) suhu tinggi rumah kaca, C. Penampilan tanaman F2 pada kisaran suhu harian 36-40°C.

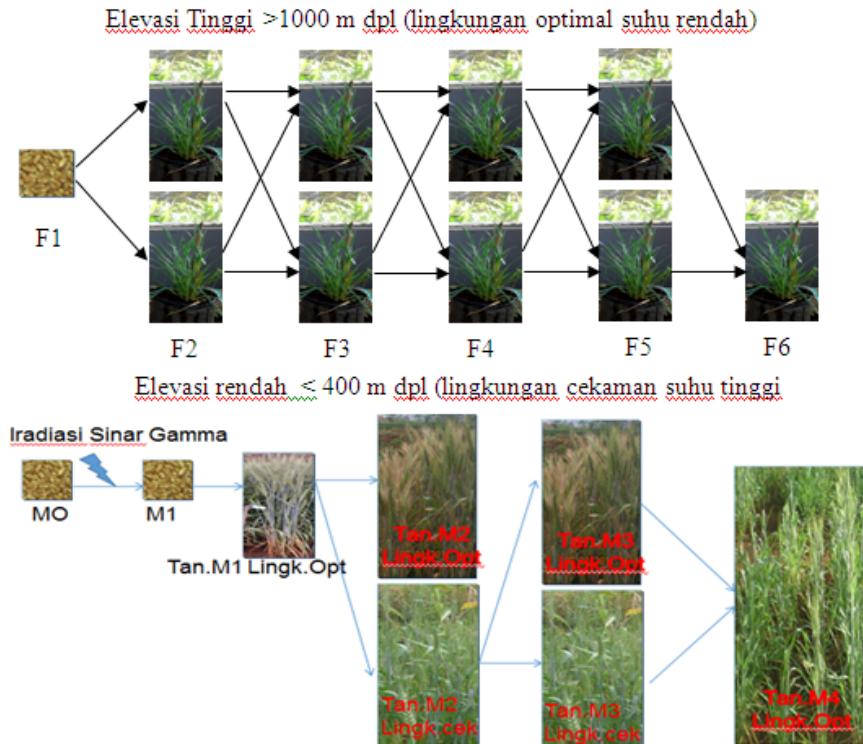


Gambar 10. Penampilan pohon filogenetik genotype hasil persilangan “Convergent Breeding” generasi F3 dan Tetua persilangan HP1744, Oasis, varietas Selayar, varietas Dewata, Rabe dan Alibey (Nur 2015b).

Keragaman genetik genotipe persilangan “*convergent breeding*” generasi F3 gandum berdasarkan marka SSR yang bersosiasi dengan suhu tinggi ditampilkan sebagai gambar pohon filogenetik (Gambar 10). Hasil pengelompokan pohon filogenetik dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu kelompok I yang terdiri atas genotipe segregan, Oasis, Guri 1 dan Guri 2 serta kelompok 2 yang terdiri atas genotipe Tepoca/Rabe, HP1744, Selayar, Dewata dan Alibey pada koefisien kemiripan genetik 0,3. Tingkat koefisien kemiripan genetik yang rendah pada pengelompokan 57 genotipe gandum menunjukkan peluang heterotik untuk menghasilkan persilangan dengan tingkat keragaman yang tinggi. Seluruh genotipe kelompok 1 memiliki nilai jarak genetik yang jauh terhadap genotipe kelompok 2 dengan nilai rata-rata diatas 0,6. Terdapat dua kombinasi persilangan pada kelompok genotipe tersebut yang memiliki nilai jarak genetik yang lebih tinggi ($> 0,8$). Jarak genetik tertinggi 0,84 yaitu antara genotipe Rabe//MO88 dan segregan 6.C-1, dan antara varietas Dewata dan segregan 5.B-6. Kedua kombinasi persilangan ini diharapkan dapat digunakan untuk menghasilkan rekombinan-rekombinan dalam rangka meningkatkan keragaman genetik gandum dimasa yang akan datang (Nur 2015b).

4. Evaluasi hasil persilangan melalui metode “*Shuttle Breeding*”

Perbaikan genetik gandum tropis melalui program pemuliaan memperlihatkan hasil yang cukup baik, baik melalui persilangan konvensional maupun mutasi (Nur *et al.* 2013). Program pemuliaan tersebut di ikuti oleh metode *shuttle breeding*, yang merupakan pendekatan seleksi untuk memperluas daya adaptasi tanaman. *Shuttle breeding* pada pemuliaan gandum adalah seleksi pada lingkungan optimal dan suboptimal secara bergantian. Ekspresi gen-gen daya hasil terjadi secara optimal pada lingkungan optimal sehingga seleksi untuk galur berdaya hasil tinggi dapat dilakukan, sedangkan seleksi untuk mendapatkan galur-galur toleran dilakukan di lingkungan suboptimal (Ortiz et



Gambar 11. Tahapan metode seleksi melalui *shuttle breeding* (Nur et al. 2015a).

al. 2007). Seleksi secara simultan pada beberapa kondisi lingkungan dapat meningkatkan kemampuan adaptasi galur-galur gandum (Slafer and Whitechurch 2001).

Metode ini pada awalnya dikembangkan antarinstansi penelitian. Sejumlah besar materi genetik yang mempunyai potensi dapat mengatasi masalah dikirim ke suatu wilayah, kemudian dievaluasi secara sistematis dengan melibatkan berbagai pihak di wilayah tersebut. Materi genetik yang mampu bertahan dalam lingkungan seleksi, selanjutnya dikembangkan, sedangkan materi genetik lainnya dikembalikan ke institusi penyelenggara pemuliaan untuk keperluan perbaikan genetik. Materi genetik yang telah diperbaiki dikirimkan kembali ke wilayah bermasalah untuk mengetahui respons seleksi tahap lanjut. Proses tersebut dapat terjadi berulang-ulang hingga diperoleh satu atau dua materi genetik yang mantap untuk mengatasi suatu masalah. *Shuttle breeding* disajikan pada Gambar 11.

Kelebihan metode *shuttle breeding* dalam merakit varietas untuk lingkungan dengan cekaman tertentu adalah materi genetik yang digunakan dapat dipertahankan jika salah satu lingkungan (cekaman sangat tinggi) menyebabkan materi genetik mati dan lingkungan optimal digunakan sebagai *backup* materi

genetik. Seleksi langsung pada lingkungan dengan cekaman berpotensi untuk memaksimalkan ekspresi gen-gen yang dapat mengendalikan daya hasil maupun daya adaptasi tanaman terhadap cekaman lingkungan (Ceccareli *et al.* 2007).

Shuttle breeding menggunakan materi generasi awal dari program pemuliaan. Seleksi tahap pertama dilakukan oleh pemulia untuk memilih individu tanaman atau sekelompok tanaman yang memiliki karakter unggul berdasarkan penilaian tertentu. Seleksi selanjutnya dilaksanakan berdasarkan cekaman pada lingkungan target. Seleksi generasi selanjutnya dilakukan dengan mengembalikan individu pada lingkungan optimal yang bertujuan untuk perbanyak benih untuk seleksi yang lebih luas. Hal ini dilakukan berulang-ulang hingga didapatkan materi genetik yang betul-betul adaptif pada lingkungan bercekaman.

Di Indonesia, pendekatan *shuttle breeding* untuk mendapatkan populasi yang memiliki adaptasi luas dilakukan di dataran tinggi dan dataran menengah. Dataran tinggi mewakili lokasi optimum, sedangkan dataran menengah-rendah mewakili lokasi dengan cekaman suhu sedang-tinggi. Penanaman pada lingkungan optimum bertujuan untuk menginduksi ekspresi gen daya hasil sehingga seleksi dilakukan berdasarkan daya hasil. Penanaman di lingkungan dengan cekaman suhu tinggi bertujuan untuk menginduksi ekspresi gen toleransi suhu tinggi, sehingga seleksi dilakukan berdasarkan indeks sensitivitas terhadap suhu tinggi (Natawijaya 2012, Febrianto 2014, Wardani 2014, Yamin 2014).

Menurut Rao (2001), adaptasi tanaman terhadap lingkungan dapat diperbaiki dengan dua pendekatan umum, yaitu perubahan lingkungan pertumbuhan dan pengembangan genotipe tanaman berdaya hasil tinggi dan toleran cekaman. Gabungan pendekatan tersebut paling efektif. Peningkatan hasil panen melalui pemuliaan tanaman umumnya disebabkan oleh: (1) perubahan agronomi melalui perbaikan adaptasi genetik untuk mengatasi masalah biotik dalam produksi tanaman (misalnya, hama dan penyakit) dan abiotik (misalnya, suhu, kekeringan, kahat dan keracunan hara dan salinitas), dan (2) peningkatan potensi hasil genetik di atas kultivar pembanding pada lingkungan yang sama (Evans 1993, Miflin 2000).

Daya hasil, toleran suhu tinggi, dan tepung berkualitas tinggi merupakan karakter kuantitatif sehingga ekspresinya dipengaruhi oleh lingkungan. Selain itu kemungkinan gen-gen yang mengendalikan karakter yang akan diperbaiki tersebar di antara galur-galur introduksi yang diuji, sehingga perbaikan genetik untuk karakter-karakter tersebut harus menggunakan pendekatan persilangan, baik melalui *single cross* maupun *convergent breeding*. Setiap pendekatan persilangan tersebut evaluasi turunannya diikuti dengan metode *shuttle breeding*. *Convergent breeding* adalah salah satu metode rekombinasi genetik yang bertujuan untuk menghimpun dan memfiksasi gen-gen yang mengendalikan sifat-sifat yang dikehendaki ke dalam satu genotipe (Nur 2014). Varietas yang dihasilkan melalui pendekatan ini memiliki karakter ideal.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan tidak semua jenis gandum dapat ditanam di lingkungan tropis Indonesia, hanya gandum *Triticum aestivum* dari kelompok tipe *spring wheat* yang dapat dikembangkan. Pengembangan gandum tropis pada lokasi dengan ketinggian < 1.000 m dpl perlu didukung oleh program pemuliaan secara berkelanjutan dalam pembentukan populasi melalui persilangan dengan pengujian turunan dengan metode *shuttle breeding*. Metode *shuttle breeding* dengan persilangan antara enam tetua telah menghasilkan populasi F4, sementara dengan mutasi menghasilkan galur mutan M7.

Untuk mendukung program pemuliaan gandum tropis secara berkelanjutan, khususnya pada dataran < 1.000 m dpl, dibutuhkan keragaman genetik luas yang bersumber dari introduksi berbagai negara. Perlu pemahaman yang mendalam untuk mengetahui mekanisme pengendalian toleransi terhadap cekaman suhu tinggi dalam mendukung program pemuliaan gandum ke depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Altuhaish, A. A. K. F. 2014. The improvement of wheat (*Triticum aestivum* L.) adaptability to tropical environment by putrescine application. Dissertation, Graduate School, Bogor Agricultural University.
- Aptindo. 2013. Konsumsi terigu nasional meningkat 7% <http://www.imq21.com/news/read/121486/20130125/135804/Aptindo-konsumsi-Terigu-Nasional-Meningkat-7-.html> Published: 25 Jan 2013 WIB 13:58.
- Allard, R.W. 1960. Principle of plant breeding. John Wiley and Sons. Inc. New York. 485 p.
- Barnabas, B., K. Jager and A. Feher. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. Plant Cell Environment 31:11-38.
- Ceccareli, S., Erskine, Humblin, and Brando. 2007. Genotype by environment interaction and international breeding program. <http://www.icrisat.com>. 2 Juni 2012.
- Dahlan, M., Rudijanto, J. Murdianto, dan M. Yusuf. 2003. Usulan pelepasan varietas gandum. Balai Penelitian Tanaman Serealia dan pengembangan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Dasmal, M. Yusuf, dan Jumharnas. 1995. Keragaman genetik dan potensi hasil galur-galur terigu Introduksi. Risalah Seminar Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukarami.
- Evans, D.A. and W.R. Sharp. 1986. Somaclonal and gametoclonal. In: Evans, D.A., W.R. Sharp, and P.V. Ammirato (Eds). Hand Book of Plant Cell Culture Vol. 4 McMillan Publ. Co., New York. p. 87-132.
- Febrianto, E.B. 2014. Seleksi galur-galur putatif mutan gandum (*Triticum aestivum*L) di dataran menengah lingkungan tropis. Tesis. Bogor (ID): Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Fehr, W.R. 1987. Principles of Cultivar Development. Theory and Technique. Vol.1. Macmillan Publishing Company. NY.

- Gayatri, B., Subandi, Sutjihno, dan R. Kusuma. 1989. Risalah seminar hasil penelitian tanaman pangan. Ballitan Bogor 1:108-114.
- Handoko. 2007. Gandum 2000 "Penelitian dan Pengembangan Gandum di Indonesia. Seameo-Biotrop, Bogor, Indonesia.
- Kusmana, R. dan Subandi. 1985. Penelitian pemuliaan terigu 1973-1984 di Balittan Bogor. *Dalam: Subandi et al. (Eds). Risalah Rapat Teknis dari Hasil Penelitian Jagung, Sorgum, dan Terigu. Puslitbangtan Bogor.* p. 203-7.
- Listiyarini T. 2016. Naik ke peringkat dua dunia, impor gandum RI mencapai 8,1 juta ton. Artikel Ekonomi: 2 Januari 2016. www.Beritasatu.com. 10 Maret 2016.
- Miflin, B. 2000. Crop improvement in the 21st century. *J. Exp. Bot.* 51: 1-8.
- Natawijaya, A. 2012. Analisis genetik dan seleksi generasi awal segregan gandum (*Triticum aestivum L.*) berdaya hasil tinggi. Tesis. Bogor (ID): Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Nur, A. 2014. Perakitan varietas gandum tropis adaptif pada ketinggian ≤400 m dpl potensi hasil ≥1,5 t/ha dan pada ketinggian ≥400 m dpl potensi hasil ≥4 t/ha. Rencana Penelitian Team Peneliti, Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros, Sulawesi Selatan.
- Nur, A., M. Azrai, H. Subagio, H. Soeranto, Ragapadmi, Sustiprajitno, dan Trikoesoemaningtyas. 2013a. Perkembangan pemuliaan gandum di Indonesia. *Jurnal Inovasi Teknologi Pertanian* 8(2):97-104 p.
- Nur A. 2013b Adaptasi Tanaman Gandum (*Triticum aestivum L.*) Toleran Suhu Tinggi Dan Peningkatan Keragaman Genetik Melalui Induksi Mutasi Dengan Menggunakan Iradiasi Sinar Gamma[Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Nur, A., Trikoesoemaningtyas, N. Khumaida, dan S. Yahya. 2012. Evaluasi dan keragaman genetik galur gandum introduksi (*Triticum aestivum L.*) di agroekosistem tropis. *Jurnal Agrivigor Vol.11 (3)*.
- Nur A 2015a. Perbaikan genetik gandum tropis toleran suhu tinggi dan permasalahan pengembangannya pada dataran rendah. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 34(1): 19-30.
- Nur A 2015b. Laporan Akhir Rencana Penelitian Tim Peneliti "Perakitan varietas dan teknologi produksi gandum tropis mendukung pertanian bioindustri berkelanjutan". Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros Sulawesi Selatan.
- Ortiz, R., R. Thretowan, G.O. Ferrara, M. Iwanaga, J.H. Dodds, J.H. Crouch, J. Crossa, and H.J. Braun. 2007. High yield potential, shuttle breeding, genetik diversity, and a new international wheat improvement strategy. *Euphytica* 157:365-384.
- Rao, I.M. 2001. Role of physiology in improving crop adaptation to abiotic stresses in the tropics: the case of common bean and tropical forages. *In: Handbook of Plant and Crop Physiology Second Edition (Eds).* Mohammad Pessarakli, University of Arizona, Tucson Arizona.
- Slafer, G.A. and E.M. Whitechurch. 2001. Manipulating wheat development to improve adaptation. *In: Reynolds MP, Ortiz JIM, McNab A (Eds). Application of Physiology in Wheat Breeding.* Mexico (MX): CIMMYT.
- Sleper, D.A. and J.M. Poehlman. 2006. Breeding field crops. Ed. Ke-5. Iowa: Blackwell Publishing.

- Wardani S. 2014. Identifikasi segregan transgresif gandum (*Triticum aestivum*L.) dan identifikasi marka Simple Sequence Repeat (SSR) toleran suhu tinggi dan berdaya hasil tinggi di lingkungan tropika. Tesis. Bogor (ID): Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Wilson, H.K. 1955. Grain Crops. McGraw Hill Book Company, Inc. New York.
- Wittenberg, H. 2004. The Inheritance and Molecular Mapping of Genes for Post-anthesis Drought Tolerance (PADT) in Wheat [Dissertation]. Martin Luther Universitat.
- Yamin, M. 2014. Pendugaan komponen ragam karakter agronomi gandum (*Triticum aestivum*L.) dan identifikasi marka Simple Sequence Repeat (SSR) terpaut suhu tinggi. Tesis. Bogor (ID): Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

Perkembangan Perakitan Varietas Gandum di Indonesia

A. Haris Talanca dan N.N. Andayani
Balai Penelitian Tanaman Serealia

PENDAHULUAN

Gandum (*Triticum aestivum*) merupakan tanaman subtropik yang telah menjadi pangan alternatif utama di negara-negara tropis, termasuk Indonesia. Gandum diintroduksikan ke Indonesia pada awal abad XVIII pada masa pemerintahan kolonial Belanda. Benih gandum didatangkan dari Jepang, China, dan Iran untuk selanjutnya ditanam di Cirebon, Jakarta dan Semarang. Selain Belanda, bangsa Portugis juga mengintroduksikan gandum untuk memenuhi kebutuhan pokok masyarakat Portugis yang tinggal di Pulau Timor (Bahar dan Kaher 1989 dalam Welirang 2015). Di Indonesia, gandum dapat dibudidayakan di daerah dengan ketinggian >900m dpl dengan suhu udara optimum rata-rata 22-24°C (Leonard dan Martin 1963). Fischer (1980) mengemukakan bahwa jenis tanaman gandum yang sesuai dikembangkan di Indonesia adalah gandum musim semi (*spring wheat*) yang tumbuh pada kisaran suhu antara 4-31°C, dengan rata-rata 20-24°C.

Curtis (1988) membagi negara di daerah tropis untuk kesesuaian gandum menjadi dua tipe lingkungan utama yaitu: 1) wilayah dengan suhu udara tinggi, kelembaban udara rendah, periode tumbuh pendek, dan infestasi penyakit yang kurang; 2) wilayah dengan suhu dan kelembaban udara tinggi, periode tumbuh pendek, dan penularan penyakit agak dominan. Zaini *et al.* (1990) melaporkan bahwa secara umum wilayah timur Indonesia mewakili tipe lingkungan yang pertama, sedangkan wilayah Indonesia barat mewakili tipe lingkungan kedua. Oleh karena itu, gandum berpeluang lebih besar untuk dikembangkan di wilayah Indonesia timur.

Pengembangan jenis gandum spring wheat di Indonesia sangat terbatas pada daerah dengan ketinggian >1.000 m dpl, sehingga perlu diarahkan pada ketinggian <1.000 m dpl. Masalah yang dihadapi pada penanaman gandum di lokasi dengan ketinggian < 1.000 m dpl adalah cekaman suhu tinggi. Menurut Peet dan Willits (1998), suhu di atas 10-15°C dianggap sebagai cekaman suhu tinggi pada tanaman gandum. Suhu tinggi berpengaruh terhadap kerusakan bahkan kematian sel tanaman gandum beberapa menit setelah terpapar suhu tinggi (Schoffl *et al.* 1999).

Walaupun daerah yang sesuai telah teridentifikasi, pengembangan gandum tetap menghadapi berbagai kendala, diantaranya kondisi lingkungan tumbuh di Indonesia termasuk tropis, sehingga membutuhkan waktu adaptasi yang cukup lama untuk menilai penampilan dan potensi hasil gandum (Nur 2013). Selain itu, penguasaan teknologi gandum mulai dari hulu yaitu teknik budi daya

sampai ke hilir (prosesser) belum sepenuhnya dikuasai oleh petani maupun petugas pertanian di lapangan. Gandum sebagai tanaman subtropik, bila dikembangkan di daerah tropik, maka terbatas pada dataran tinggi dan akan bersaing dengan tanaman hortikultura yang selama ini dibudidayakan oleh petani secara terus-menerus.

Tulisan ini membahas perkembangan perakitan varietas gandum di Indonesia, yang meliputi pengelolaan sumberdaya genetik, dinamika litbang gandum serta penyediaan benih sumber gandum.

SUMBER DAYA GENETIK

Sumber daya genetik (SDG) memegang peranan penting dalam perakitan varietas unggul baru dalam upaya peningkatan produksi dan kualitas gandum nasional. Pengelolaan SDG yang baik akan mempermudah dan mengefektifkan kegiatan pemuliaan dalam merakit varietas unggul baru. Sumarno dan Zuraida, (2004) mengemukakan bahwa semakin banyak koleksi plasma nutfah yang dimiliki semakin besar peluang untuk mendapatkan sumber gen unggul yang akan dirakit menjadi varietas unggul baru. Poehlman *et al.* (1995) dan Richards (1997) melaporkan bahwa metode yang umum dilakukan dalam peningkatan keragaman genetik tanaman adalah introduksi, seleksi, hibridisasi, bioteknologi, dan mutasi.

Di Indonesia perbaikan genetik gandum dilakukan melalui program introduksi galur-galur elit dari berbagai negara/lembaga internasional seperti CIMMYT, India, Turki, dan Slovakia (Azrai 2012). Indonesia hampir tidak memiliki plasma nutfah gandum karena tanaman ini bukan tanaman asli Indonesia. Salah satu upaya untuk mendapatkan materi sumber daya genetik gandum adalah melakukan introduksi kemudian dilanjutkan dengan persilangan dan seleksi serta uji adaptasi di berbagai daerah. Tanaman introduksi yang memiliki daya adaptasi baik, berproduksi tinggi, dan memiliki sifat unggul lainnya seperti tahan terhadap hama dan penyakit dapat dinjurkan dilepas menjadi varietas unggul baru.

Pada tahun 1978 Kementerian Pertanian Indonesia membentuk tim untuk uji adaptasi gandum introduksi dari CIMMYT di Kabanjahe, Sumatera Utara. Hasil yang diperoleh dari uji pendahuluan galur gandum tersebut mencapai 4 t/ha. Namun pengembangan uji adaptasi tersebut tidak terdata dan tidak berlanjut (Ditjen Bina Produksi Tanaman Pangan 2001).

Pada periode 1980-1992 program perakitan varietas gandum dikoordinasikan oleh Puslitbang Tanaman Pangan dengan melibatkan Balai Penelitian Tanaman Pangan (Balittan) Bogor, Balittan Sukarami, dan Balittan Sukamandi. Uji adaptasi galur gandum untuk dataran menengah pertama kali dilakukan pada tahun 1981/1982 dengan 26 kombinasi persilangan pada wilayah dengan ketinggian 900 m dpl dan menghasilkan dua galur asal Meksiko, 10 galur asal Thailand, enam galur dari Indonesia, dan dua galur dari Jepang dengan

rata-rata hasil 1,9-4,3 t/ha (Azwar *et al.* 1988). Pada era 1980-an, uji adaptasi plasma nutfah gandum terus dilakukan melalui introduksi genotipe yang sesuai untuk wilayah tropis.

Pada tahun 1986, penelitian gandum dilanjutkan secara lebih luas yang terfokus pada ketahanan terhadap penyakit karat (*Puccinia striiformis*). Penyakit karat adalah salah satu penyakit tanaman gandum terpenting, khususnya di daerah tropis dengan suhu dan kelembaban yang tinggi. Galur mutan gandum diuji pada dataran tinggi (800-1.200 m dpl) di Cipanas, Jawa Barat, pada tahun 1992-1994. Beberapa galur mutan ini tahan terhadap penyakit, memiliki kualitas tepung yang baik, dan hasil biji yang relatif tinggi (Soeranto 1997). Penelitian gandum sempat terhenti pada tahun 1995, tetapi benih galur-galur mutan yang telah dihasilkan masih tetap tersimpan dalam koleksi plasma nutfah gandum di PATIR-BATAN.

Pada awal tahun 2000an dilakukan introduksi dan uji evaluasi terhadap 47 galur gandum di dataran tinggi Malino, Sulawesi Selatan (1.500 m dpl), dataran sedang Bantaeng, Sulawesi Selatan (800 m dpl), dan dataran rendah Malang, Jawa Timur (325 m dpl). Dari 47 galur yang dievaluasi, galur terbaik mampu menghasilkan 5,05 t/ha di Bantaeng dan 0,37 t/ha di Malang. Galur yang memberikan hasil yang baik di ketiga lokasi adalah KAUZ/ WEAVER masing-

Tabel 1. Hasil pengujian galur gandum introduksi.

Genotipe	Asal	Hasil tertinggi (t/ha)	Lokasi
Norin-61	Jepang	3,61	Sukarami
R-43	Jepang	3,12	Sukarami
Saitama-125	Jepang	3,25	Sukarami
Nase Komungi	Jepang	3,24	Sukarami
Haruminori	Jepang	3,94	Sukarami
Pengalengan	Lokal	3,20	Sukarami
IWP-72	India	3,20	Tlekung
HW 135	India	4,00	Tlekung
HI 784	India	4,20	Tlekung
Sonalika 1553	India	3,90	Tlekung
Sonalika	India	3,60	Tlekung
HW 517	India	3,70	Tlekung
Sandal	Pakistan	3,50	Tlekung
Lyallpur 73	Pakistan	4,80	Tlekung
LU 26	Pakistan	3,50	Tlekung
SA 75	Pakistan	3,60	Tlekung
V 1287	India	3,60	Tlekung
UP 262	Phillipina	3,70	Tlekung
C 213-59	Phillipina	3,60	Sukarami
C-213-13	Phillipina	3,40	Sukarami
UPL-W2	Phillipina	3,20	Sukarami
C 353-13	Phillipina	3,40	Sukarami
Tit Mouse "S"	Meksiko	3,40	Sukarami

Sumber: Azwar *et al.* (1988).

Tabel 2. Materi pemuliaan gandum di PATIR-BATAN.

Varietas gandum (dari PT Bogasari Flour Mills)	Galur Mutan Gandum Berasal dari		
	Tiongkok	Pakistan	BATAN
Punjab-81*	F-44	Pavon-76	CPN-1
WL-2265*	Yuan-039	Shogat-90	CPN-2
SA-75*	Yuan-1045	Kiran-95	CBD-16
DWR-162**		WL-711	CBD-17
DWR-195**			CBD-18
Nias***			CBD-19
Dewata***			CBD-20
			CBD-21
			CBD-23

Keterangan: * CIMMYT, Meksiko, ** India, *** Indonesia (VUBN)

Sumber: Azrai (2012).

masing 5,79 t/ha di Malino, 1,75 t/ha di Bantaeng, dan 0,56 t/ha di Jambegede. Masalah yang dihadapi di dataran sedang dan rendah adalah penyakit busuk akar (*Sclerotium sp*). Pengujian di dataran sedang diperoleh satu galur yang hasilnya lebih tinggi dari varietas Nias, yaitu BAW898, mencapai 2,5 t/ha, 49% di atas hasil varietas Nias. Hasil galur ini di Malino 3,28 t/ha (Balitsereal 2006).

Selama periode 2002-2007 PATIR-BATAN terlibat dalam penelitian gandum regional yang disponsori oleh IAEA melalui Regional Cooperation Agreement (RCA), dengan negara peserta Tiongkok, Filipina, India, Indonesia, Korea, Malaysia, Pakistan, Sri Langka, Thailand, dan Vietnam. Dari kerja sama ini, Indonesia mendapatkan benih gandum dari IAEA yang bersumber dari Tiongkok dan Pakistan (Tabel 2).

Pada tahun 2009 dilakukan uji adaptasi galur/varietas di Merauke Papua, hasil yang diperoleh berkisar antara 1,27-2,37 t/ha (Tabel 3). Hasil tertinggi diperoleh dari varietas OASIS/SKAUZ//4*BCN, yaitu 2,37 t/ha, lebih tinggi dibanding varietas Selayar, Nias, dan Dewata yang masing-masing hanya 1,91, 1,62, dan 1,30 t/ha. Hasil yang diperoleh kemungkinan akan meningkat lagi jika waktu berbunga bertepatan dengan suhu dingin yang berhembus dari Australia pada akhir bulan Juni sampai pertengahan Agustus, sehingga gandum harus ditanam pada awal Juni (Balitsereal 2010).

Beberapa galur gandum hasil perbaikan asal CIMMYT adaptif pada dataran rendah dengan ketinggian 400 m dpl. (Bogor) yaitu OASIS/SKAUS//4* dan HP1744 dengan potensi hasil masing-masing 2,37 t/ha, dan 2,80 t/ha, rata-rata 1,76 t/ha dan 1,96 t/ha. Selanjutnya galur perbaikan asal Turki Yitu BASRIBEY mempunyai potensi hasil 2,73 t/ha dengan rata-rata 2,05 t/ha (Balitsereal 2010).

Pada tahun 2012-2013 dilakukan uji multilokasi genotipe yang adaptif dataran menengah-rendah tropis, bekerja sama dengan Universitas Andalas. Terdapat empat galur dengan adaptasi cukup baik pada dataran menengah yaitu ASTREB*2/cbrd, aASTEB*2/NING/MAI9558, H-20, dan SO-3 (Slovakia). Pemuliaan

Tabel 3. Penampilan fenotipik tanaman gandum di Wasur, Merauke.

Galur/varietas	Bobot 1.000 biji (g)	Umur berbunga 50% (hari)	Umur panen (hari)	Hasil (t/ha)
KAUZ/WEAVER	27,77	41	76	1,58
KAUZ/RAYON	27,57	46	77	1,63
KANCHAN	27,13	42	75	1,44
CASO/KAUZ//KAUZ	27,40	47	76	1,55
LAJ3302//CMH73A.497/3*CN079	28,93	50	77	1,27
RABE/2*M088	27,70	44	78	1,62
SKAUS*82/PRLI/CM65531	28,97	48	76	1,36
OASIS/SKAUZ//4*BCN	31,43	46	77	2,37
CHOIX/STAR/3/H1/5*CN079//2*SERI	27,63	43	77	1,69
W462/VEE/KEL/3/PEG/MRL/BUC	26,87	41	76	1,44
CBD-17	27,33	48	76	1,59
CBD-20	26,83	49	78	1,85
SELAYAR	28,37	41	76	1,91
NIAS	29,77	48	77	1,62
DEWATA	26,33	41	77	1,30

Sumber: Balitsereal (2010)

mutasi bekerja sama dengan BATAN menghasilkan sembilan mutan galur yang kemudian dilakukan uji multilokasi di dataran tinggi dengan hasil biji 0,5-5 t/ha (Azrai *et al.* 2014).

Dalam program pemuliaan, semakin banyak koleksi plasma nutfah yang dimiliki, semakin besar peluang untuk mendapatkan sumber gen unggul yang akan dirakit menjadi varietas unggul. Introduksi plasma nutfah yang disertai uji adaptasi berperan dalam pembentukan varietas unggul gandum.

VARIETAS UNGGUL GANDUM YANG DILEPAS DI INDONESIA

Program penelitian gandum di Indonesia dimulai pada tahun 1969, namun pengelolaannya belum intensif. Pada tahun 1985 penelitian evaluasi galur gandum introduksi dan seleksi populasi bersegregasi telah diinisiasi (Kusmana dan Subandi 1985, Gayatri *et al.* 1989, dan Dasmal *et al.* 1995). Uji seleksi dan adaptasi galur gandum pada dataran tinggi kemudian menghasilkan dua varietas gandum yang dilepas oleh Kementerian Pertanian pada tahun 1993. Kedua varietas tersebut masing-masing diberi nama Timor dan Nias. Timor adalah varietas introduksi asal India dari tetua galur Punjab-81, sedangkan Nias berasal dari galur Thai-88 yang diintroduksi dari Thailand. Kedua varietas telah melalui uji adaptasi di Sumatera Barat, Jawa Barat, dan Jawa Timur pada daerah dengan ketinggian 900 m dpl. dengan rata-rata hasil 2 t/ha, dan umur panen 85 dan 90 hari (Puslitbangtan, 1996).

Pada tahun 2001, Departemen Pertanian telah merintis pengembangan gandum melalui uji demo tanam di NTT, NTB, Sulse, Jatim, Jateng, dan Sumbar.

Pengembangan gandum juga dilakukan oleh Badan Litbang Pertanian melalui uji multilokasi gandum dari India dan CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center) oleh beberapa lembaga penelitian dan perguruan tinggi pada tahun 2003. Hasil uji adaptasi kemudian menghasilkan dua varietas gandum yang sesuai untuk wilayah dataran tinggi/suhu rendah di Indonesia, yaitu varietas Selayar dan Dewata yang dilepas pada akhir tahun 2003. Hasil varietas Selayar dan Dewata hampir sama, rata-rata 2,95 dan 2,96 t/ha. Umur panen varietas Selayar agak dalam yaitu 125 hari, sedangkan varietas Dewata agak genjah, 82 hari (Zubachtirodin 2005).

Pengembangan gandum pada tahun 2004 dilakukan oleh Ditjen Bina Produksi Tanaman Pangan Departemen Pertanian melalui gerakan “Gandum Berkibar” menggunakan varietas Dewata, Selayar, Nias, dan Timor seluas 150 ha. Selanjutnya pada tahun 2005 pengembangan gandum diperluas menjadi 250 ha. Namun sejak tahun 2006, program Gandum Berkibar tidak berlanjut sehingga areal pertanaman menurun setiap tahun (Welirang, 2015).

Dalam upaya percepatan pelepasan varietas unggul baru gandum yang adaptif pada dataran rendah maka pada tahun 2009 Badan Litbang Pertanian merintis konsorsium penelitian gandum dengan melibatkan beberapa institusi, antara lain Balai Penelitian Tanaman Serealia, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian), perguruan tinggi (IPB dan UKSW), dan PATIR-BATAN. Penelitian konsorsium diarahkan pada pembentukan varietas gandum tropis unggul melalui kegiatan konvensional (hibridisasi dan seleksi antarfamili), dan pemuliaan non-konvensional (irradiasi, kultur jaringan dan somaklonat, serta transgenik) (Azrai *et al.* 2010).

Pada tahun 2010 pemerintah Indonesia melalui Kementerian Perekonomian dan Universitas Andalas merintis kerja sama dengan pemerintah Slovakia untuk pengembangan gandum tropis di Indonesia. Uji adaptasi kultivar gandum introduksi dari Republik Slovakia dilaksanakan di sembilan lokasi di Sumatera Barat pada tahun 2011. Pada tahun 2012, penelitian dan pengembangan gandum lebih diperluas di Provinsi NAD, Bengkulu, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Sulawesi Selatan dengan melibatkan berbagai perguruan tinggi dan institusi penelitian setempat. Kegiatan pengembangan diarahkan untuk mendapatkan genotipe gandum yang adaptif pada kondisi tropis serta beradaptasi pada dataran menengah (Azrai *et al.* 2013).

Melalui kerja sama konsorsium, pada tahun 2013 telah dilepas tiga varietas unggul gandum yaitu varietas Guri-1 dan Guri-2 yang dihasilkan oleh Badan Litbang Pertanian dan Ganeshya yang dihasilkan oleh BATAN. Guri adalah singkatan dari Gandum untuk Rakyat Indonesia. Varietas Guri-1 merupakan hasil persilangan galur KAUZ*2//SAP/MON/3/KAUZ CRG969-2Y-010M-OY-OHTY yang diintroduksi dari CIMMYT pada tahun 2001. Varietas ini tahan terhadap penyakit karat dan hawar daun serta beradaptasi baik pada daerah dengan ketinggian > 1.000 m dpl. Umur panen varietas Guri-1 agak dalam, yaitu 134 hari dengan rata-rata hasil 5,8 t/ha. Varietas Guri 2 juga diintroduksi dari CIMMYT pada tahun 2001 yang merupakan hasil persilangan galur CAZO/KAUZ//

KAUZCMBW90Y3284-OTOPM-14Y-010M-010Y-6M-015Y OY-OHTY. Umur panen varietas ini juga agak dalam, yaitu 133 hari dengan rata-rata hasil 5,6 t/ha. Varietas Guri-2 tahan terhadap penyakit karat dan agak toleran penyakit hawar daun serta beradaptasi baik pada daerah dengan ketinggian > 1.000 m dpl (Aqil dan Talandra 2014).

Varietas Ganesha merupakan hasil radiasi nuklir yang dilakukan oleh BATAN yang produktivitasnya mencapai 5-6 t/ha, lebih tinggi dibanding varietas yang ada sebelumnya seperti Dewata atau Nias yang hanya 3-4 t/ha. Ganesha telah diuji pengembangannya di 10 lokasi di Jawa Timur, Sumatera Utara, dan Sulawesi Selatan serta dilepas oleh Kementerian Pertanian pada tahun 2013. Keunggulan lain yang dimiliki varietas Ganesha adalah tahan terhadap penyakit karat daun dan kadar gluten tinggi sehingga cocok untuk industri roti dan mie instan. Varietas Guri-1, Guri-2 dan Ganesha merupakan varietas yang sesuai dikembangkan di wilayah dengan ketinggian > 1.000 m dpl (Aqil dan Talandra 2014).

Pada tahun 2014, Badan Litbang Pertanian melepas gandum untuk dataran menengah yang diberi nama varietas GURI-3 Agritan, GURI-4 Agritan dan GURI-5 Agritan. GURI-3 Agritan merupakan galur introduksi dari CIMMYT yang dibentuk dan diseleksi sebagai *spring wheat* suhu tinggi. Galur ini beradaptasi baik pada lingkungan tropis Indonesia dengan rata-rata hasil 3,5 t/ha, lebih unggul dibandingkan dengan varietas Nias dan Selayar.

Varietas GURI-4 Agritan juga diintroduksi dari CIMMYT yang dibentuk dan diseleksi pada lingkungan *High Rainfall Wheat (HRWYT)*, sesuai untuk curah hujan tinggi. Varietas ini beradaptasi baik pada lingkungan subtropis Indonesia dengan rata-rata hasil 3,8 t/ha, lebih unggul dibandingkan dengan varietas Nias dan Selayar. Varietas Guri-4 Agritan juga memiliki keunggulan karakter lain dibandingkan dengan kedua varietas pembanding, yaitu jumlah malai/m², panjang malai, jumlah spiklet/malai, jumlah biji/malai dan bobot biji/plot. Selain itu, varietas ini juga memiliki tingkat infeksi penyakit hawar daun yang lebih rendah (Aqil dan Talandra 2014).

GURI-5 Agritan merupakan galur H-20 yang diseleksi dari tipe simpang varietas Dewata. Rata-rata hasil varietas ini 3,4 t/ha, lebih unggul dari varietas Nias, dan sebanding dengan varietas Selayar. Keunggulan lain yang dimiliki varietas ini dibandingkan dengan kedua varietas pembanding adalah pada jumlah malai/m², panjang malai, jumlah spiklet/malai, dan jumlah biji/malai.

Karakteristik fenotifik varietas unggul gandum yang telah dilepas pada periode 1993-2014 dapat dilihat pada Tabel 4. Komposisi nutrisi varietas unggul gandum yang dilepas pada periode 1993-2013 disajikan pada Tabel 5.

Gandum termasuk salah satu komoditas serealia yang mempunyai nilai gizi yang tinggi. Pada biji gandum terkandung 60-80% karbohidrat, 8-15% protein, lemak 1,5-2%, mineral dan sejumlah vitamin. Brooker et al (1992) mengemukakan bahwa kandungan protein gandum berkisar 10.6% sedangkan padi mengandung 7.3% lebih tinggi dibandingkan dengan nasi yang hanya 2%. Nilai gizi varietas gandum yang telah dilepas disajikan pada Tabel 6.

Tabel 4. Penampilan fenotipik varietas unggul gandum yang dilepas tahun 1993-2014.

Varietas	Tahun lepas	Rata-rata hasil (t/ha)	Umur panen (hari)	Tinggi tanaman (cm)	Panjang malai (cm)	Jumlah malai/m ²
Timor	1993	2,00	95-105	-	-	-
Nias	1993	2,31	85-95	90	10	360
Selayar	2003	2,95	125	85	10	375
Dewata	2003	2,96	82	109	11	390
GURI-1	2013	5,80	134	80	9,8	376
GURI-2	2013	5,60	133	78	9,2	357
GANESHA	2013	5,40	132	72	8,7	323
GURI-3 Agritan	2014	3,50	125	81	9,9	391
GURI-4 Agritan	2014	3,80	123	76	10	404
GURI-5 Agritan	2014	3,40	126	81	10	362

Sumber: Danakusuma (1985), Aqil *et al.* (2011).

Tabel 5. Komposisi nutrisi varietas unggul gandum yang dilepas pada tahun 1993-2013.

Varietas	Tahun dilepas	Protein (%)	Gluten (%)	Abu (%)	Lemak (%)
Timor	1993	-	13	-	-
Nias	1993	12,9	10,4	1,61	1,34
Selayar	2003	11,7	9,3	1,19	1,07
Dewata	2003	13,94	12,9	1,78	0,79
GURI-1	2013	13,4	28,5	1,70	1,42
GURI-2	2013	14,2	34,8	1,60	1,34
GANESHA	2013	15,6	35,5	1,60	1,38
GURI-3 Agritan	2014	14,1	38,0	1,44	1,41
GURI-4 Agritan	2014	11,3	25,2	1,69	1,40
GURI-5 Agritan	2014	14,3	38,3	1,47	1,39

Sumber: Aqil dan Rahmi (2014)

Tabel 6. Penyebaran benih gandum klas BS dalam periode 2010-2014.

Varietas	Jumlah benih (kg)				
	2010	2011	2012	2013	2014
Dewata	16	96	200	175	135
Nias	16	76	100	1170	134
Selayar	16	86	152	1240	119
Wilayah penyebaran	Sulsel, Jatim	DKI, Jateng, NTB, Bengkulu	Sulsel, Jatim, NTT	Banten, Jabar, DIY	Sumbar, Jatim, Sulsel

Sumber: UPBS Balitsereal (2015)

PENGELOLAAN BENIH SUMBER

Pengelolaan benih yang baik merupakan salah satu faktor penentu dalam peningkatan produksi komoditas pangan. Permasalahan di lapangan diantaranya belum terpenuhinya prinsip enam tepat di bidang perbenihan (Suyamto 2011), yaitu tepat varietas, tepat jumlah, tepat mutu, tepat lokasi, tepat waktu, dan tepat harga.

Arief dan Zubachtirodin (2012) menyatakan bahwa benih yang sehat dan bermutu mempunyai kontribusi yang nyata terhadap penampilan fenotifik dan komponen hasil tanaman. Terdapat tiga kriteria mutu benih yang perlu dipenuhi: (a) mutu genetik, yaitu mutu benih berdasarkan identitas genetik yang telah ditetapkan oleh pemulia dan tingkat kemurniannya, identitas benih tidak hanya ditentukan oleh tampilan benih, tapi juga oleh fenotipe tanaman; (b) mutu fisiologis, yaitu mutu benih berdasarkan daya kecambah dan ketahanan simpan benih; dan (c) mutu fisik yang ditentukan oleh tingkat kebersihan, keseragaman biji dari segi ukuran maupun bobotnya (Saenong *et al.* 2007).

Dalam sistem perbenihan gandum di Indonesia, Balai Penelitian Tanaman Serealia (Balitsereal) diberikan kewenangan untuk melakukan program pemuliaan/pembentukan varietas unggul gandum termasuk menyediakan benih sumber, khususnya benih kelas BS (*breeder seed*) dan FS (*Foundation Seed*). Selanjutnya benih di kirim ke Dinas Pertanian Provinsi di bawah koordinasi Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, untuk diperbanyak menjadi benih klas SS (*Stock seed*) di BBI/BBU. Namun saat ini, peran Balai Benih, khususnya dalam penyediaan benih gandum sangat terbatas. Pemerintah juga belum memberikan prioritas pada program perluasan areal tanam gandum. Data distribusi benih sumber gandum kelas BS selama periode 2010-2014 disajikan pada Tabel 6.

Hingga periode 2010-2014, minat untuk mengembangkan komoditas gandum masih minim. Hal ini terlihat dari kecilnya permintaan benih sumber oleh mitra kerja sama, walaupun Balitsereal telah menyiapkan benih sumber dalam jumlah besar setiap tahunnya. Penyebaran benih selama periode 2010-2014 hanya 3.731 kg atau rata-rata 932 kg setiap tahun dengan wilayah penyebaran meliputi Sumbar, Bengkulu, Jatim, NTB, NTT, DKI Jakarta, Jabar, Banten, Sulsel dan Papua. Selain itu, benih kelas BS yang disebarluaskan hanya sebagian kecil yang diperbanyak menjadi benih kelas di bawahnya.

Salah satu tantangan pengembangan gandum saat ini adalah penyediaan varietas unggul yang sesuai dikembangkan pada daerah dengan ketinggian menengah (< 800 m dpl) dan dataran rendah. Pemuliaan gandum yang adaptif dataran menengah dan rendah memerlukan sentuhan bioteknologi dan rekayasa genetik yang diharapkan menjadi terobosan dalam menghasilkan varietas unggul gandum tropis yang dapat dikembangkan di dataran rendah-sedang di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Aqil, M. dan H. Talanca. 2014. Highlight Hasil Penelitian Balai Penelitian Tanaman Serealia. Badan Litbang Pertanian, Puslitbangtan. 55 p.
- Aqil, M., A.H. Talanca, dan Zubachtirodin. 2013. Highlight Hasil Penelitian Balai Penelitian Tanaman Serealia tahun 2013. Badan Litbang Pertanian, Puslitbangtan. 51 p.
- Aqil, M., dan Rahmi Y. A. Highlight Hasil Penelitian Balai Penelitian Tanaman Serealia. Badan Litbang Pertanian Tahun 2014, Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros. 51 p.
- Arief, R. dan Zubachtirodin. 2012. Model penangkaran benih jagung berbasis komunitas. Buletin Iptek Tanaman Pangan, 7(2):116-122.
- Azrai, M. A. Andriyani, Takdir, M, dan N. N. Andayani. 2013. Perakitan varietas gandum tropis adaptif pada ketinggian <400 m. Dpl. Laporan Hasil Penelitian. Balai Penelitian Tanaman Serealia Tahun 2013. Puslitbangtan. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. 99 p.
- Azrai, M. S. Sunarti, A. Andriyani, dan A. Nur. 2010. Perakitan varietas gandum tropis adaptif pada ketinggian <400 m. Dpl. Laporan Hasil Penelitian. Balai Penelitian Tanaman Serealia Tahun 2010. Puslitbangtan. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. 99 p.
- Azrai, M. 2012. Perakitan varietas gandum tropis adaptif pada ketinggian <400 m. Dpl. Laporan Hasil Penelitian. Balai Penelitian Tanaman Serealia. Puslitbangtan. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. 99 p.
- Azwar, R.T., T. Danakusuma, dan A.A. Daradjat. 1988. Prospek pengembangan terigu di Indonesia. Risalah Simposium II Penelitian Tanaman Pangan (buku II). Pusat Penelitian Tanaman Pangan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Buku II. p.227-239.
- Brooker, D. B., F.W. Bakker-Arkema, C. W. Hall. 1992. Drying and storage of Grains and Oilseeds. Springer Science and Business Media.
- Curtis, B.C. 1988. The Potential for Expanding wheat production in marginal and tropical environments. In: A. R. Klatt (ed), Wheat Production Constraints in tropical Environments. Mexico, D.F. CIMMYT. p. 3-12.
- Fischer, R.A. 1980. Wheat. A paper presented at the symposium on potential productivity of field crops under different environments. IRRI.
- Leonard, W.H., and T.H. Martin. 1963. Cereal crops. Mac Millan Co., New York.
- Nur, A. 2013. Adaptasi tanaman gandum (*Triticum aestivum* L.) toleran suhu tinggi dan peningkatan keragaman genetik melalui induksi mutasi dengan menggunakan iradiasi sinar gamma. Tesis Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. 176 p.
- Peet, M.M. and D.H. Willits. 1998. The effect of night temperature on green house grown tomato yields in warm climate. Agric. Forest Meteorol. 92:191-202.
- Puslitbangtan. 1986. Laporan tahunan 1984/1985. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukamandi. p. 9-11.
- Saenong,S.,M.Azrai,Ramlah Arief, dan Rahmawati. 2007. Pengelolaan benih jagung. Jagung; Teknik Produksi dan Pengembangan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor. p. 145-176.
- Schoffl, F., R. Prandl, and A. Reindl. 1999. Molecular responses to heat stress. In K. Shinozaki and K. Yamaguchi-Shinozaki (Eds.), Molecular to responses to cold,

- drought, heat and salt stress in higher plants. R.G. Landes Co., Austin, Texas. Pp. 81-98.
- Sumarno dan N. Zuraida. 2004. Pengelolaan plasma nutfah terintegrasi dengan program pemuliaan dan industri benih. Makalah Simposium PERIPI 2004. Perhimpunan Ilmu Pemuliaan Indonesia. Bogor 5-7 Agustus 2004.
- Suyamto. 2011. Revitalisasi sistem perbenihan tanaman pangan sebuah pemikiran. Iptek Tanaman Pangan 6(1):1-13.
- UPBS Baliitserreal (2015). Laporan tahunan unit pengelola benih sumber tanaman serealia. Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros.
- Zaini, Z., M. Yusuf, A. Kaher and L. M. Arya. 1990. Potential for wheat production in Indonesia. D.A. Saunders, *ed.*, Wheat for the non traditional warm areas. Brazil. p. 55-64.
- Zubachtirodin, M.S. Pabbage, H.G Yasin, R. Arief, I.U. Firmansyah, M. Azrai, M.B. Pabendon, A.T. Makkulawu, dan A.F Fadly. 2011. Highlight Hasil Penelitian Balai Penelitian Tanaman Serealia. Badan Litbang Pertanian, Puslitbangtan. 46 p.

Pemuliaan Gandum Berbasis Marka Molekuler

Marcia B. Pabendon¹, Sri Sunarti¹, dan R. Heru Praptana²

¹Balai Penelitian Tanaman Serealia

²Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan

PENDAHULUAN

Gandum merupakan komoditas pangan penting dunia dengan produksi 624 juta ton pada tahun 2005 (FAO 2006). Komoditas ini adalah sumber utama karbohidrat sehingga penelitian peningkatan produksi gandum diupayakan melalui teknik bioteknologi. Ke depan, permintaan sereal diperkirakan tumbuh sebesar 50% seiring dengan meningkatnya kebutuhan (Reynolds and Borlaug 2006). Di Eropa, sejak tahun 1950-an, hasil panen gandum meningkat rata-rata 0,1 t/ha, yang merupakan dampak dari perbaikan teknologi budi daya maupun perakitan dan pengembangan varietas baru.

Genetika gandum lebih rumit dibandingkan dengan sebagian besar spesies domestikasi lainnya karena tergolong allopolyploid, mengandung tiga genom tetua yang berbeda (kode A, B dan D), masing-masing berisi tujuh pasang kromosom homolog (Kumar and Singh 2010, Hussain *et al.* 2010). Oleh karena itu jumlah kromosom dalam genom diploid ($2n$) adalah 42, atau juga disebut sebagai 6x, karena masing-masing genom tetua memiliki tujuh kromosom. Beberapa spesies gandum diploid, seperti *T. monococcum*, mempunyai dua set kromosom, namun banyak juga yang polyploids stabil dengan empat set kromosom atau tetraploid, misalnya gandum durum dengan enam set kromosom (hexaploid).

Dalam program pemuliaan gandum secara konvensional, ratusan ribu galur dibutuhkan untuk menghasilkan varietas baru setiap beberapa tahun. Biaya yang mahal adalah pada uji multilokasi dan evaluasi untuk beberapa sifat, terutama kualitas hasil biji dan stabilitas hasil. Bioteknologi diharapkan dapat memainkan peranan utama dalam meningkatkan produktivitas gandum dengan meningkatkan toleransi atau ketahanan terhadap cekaman biotik dan abiotik, meningkatkan efisiensi penggunaan air dan nitrogen, serta menyediakan varietas spesifik untuk industri hilir.

Indonesia bukan penghasil gandum sehingga ketergantungan terhadap tepung terigu cukup tinggi yang membutuhkan devisa yang cukup besar. Salah satu upaya untuk mengembangkan gandum di Indonesia yang beriklim tropis adalah merakit varietas toleran suhu tinggi. Pengembangan tanaman gandum di Indonesia relatif lambat karena selain bersaing dengan tanaman pangan utama seperti padi, jagung, kedelai, kondisi lingkungan tropis khususnya suhu tinggi kurang mendukung pertumbuhan dan produksi gandum. Varietas gandum dari daerah subtropis pada umumnya tidak dapat berproduksi dengan baik di Indonesia. Kalau pun dapat tumbuh dan berproduksi, tanaman gandum

introduksi membutuhkan adaptasi yang cukup lama. Varietas gandum yang dilepas di Indonesia umumnya sesuai untuk lahan dataran tinggi atau kondisi suhu dingin. Masalah lain adalah koleksi plasma nutfah gandum introduksi memiliki variabilitas genetik yang sempit karena sifatnya yang menyerbuk sendiri, sehingga peluang keberhasilan rekombinasi untuk perbaikan varietas relatif kecil. Hasil karakterisasi 44 aksesi koleksi plasma nutfah gandum menggunakan marka SSR menunjukkan variabilitas genetik relatif sempit (Pabendon *et al.* 2011). Pada tahun 2014 analisis keragaman genetik dilanjutkan dengan menambah koleksi plasma nutfah baru menjadi 147 aksesi menggunakan 43 marka SSR. Hasilnya juga serupa, yaitu memiliki variabilitas genetik yang cenderung sempit yang ditunjukkan oleh tingkat polimorfisme 0,59 dan rata-rata 3 alel per lokus SSR. Hasil karakterisasi molekuler progeny S3 hasil persilangan konvergen menggunakan marka SSR menunjukkan adanya peningkatan variabilitas genetik pada populasi plasma nutfah gandum dan diperoleh 22 kandidat pasangan genotipe yang memiliki peluang heterosis (Syahruddin *et al.* 2015).

Berdasarkan hal tersebut maka program perakitan varietas unggul gandum di Indonesia diarahkan untuk mendapatkan varietas toleran suhu tinggi atau gandum tropis guna meningkatkan kemampuan adatasi dan potensi hasil. Dalam hal ini dibutuhkan proses seleksi yang sangat teliti dalam memilih rekombinan potensial untuk meningkatkan variabilitas genetik. Teknologi berbasis marka molekuler berperan penting untuk mengetahui kondisi variabilitas genetik plasma nutfah yang dimiliki. Pemilihan rekombinan potensial didasarkan pada nilai jarak genetik untuk meningkatkan variabilitas genetik, maupun mengidentifikasi aksesi yang terpaut dengan gen toleran cekaman suhu tinggi yang bersifat kuantitatif atau dikendalikan oleh banyak gen.

PERANAN REKOMBINASI DALAM PERAKITAN VARIETAS GANDUM

Meskipun teknologi rekombinasi berperan penting dalam pemuliaan genom, pemahaman mengenai rekombinasi pada gandum masih terbatas. Perkembangan peta genetik gandum dan hasil penelitian dari berbagai program aplikasi marka telah menegaskan kurangnya keseragaman laju rekombinasi, terutama di sepanjang kromosom gandum. Peta yang menunjukkan hubungan antara jarak fisik dan genetik pada barley telah tersedia (Künzel *et al.* 2000) dan penelitian terbaru menganalisis distribusi kejadian rekombinasi di sepanjang kromosom gandum. Akhunov *et al.* (2003) menggambarkan hubungan terbalik antara synteny dan gradien rekombinasi sepanjang kromosom gandum. Hal tersebut menunjukkan bahwa tingkat synteny menurun seiring dengan semakin panjangnya jarak sumbu sentromer-telomer. Tidak mengherankan terjadinya kehilangan synteny lebih cepat di daerah kromosom homoeologous rekombinasi tinggi dibandingkan dengan daerah rekombinasi rendah. Hal ini

konsisten dengan hasil penelitian Gill *et al.* (1993) yang menunjukkan daerah distal kromosom gandum diasosiasikan dengan daerah kaya gen.

Selain variasi tingkat rekombinasi yang terjadi di sepanjang kromosom gandum dan barley, ada juga bukti bahwa tingkat rekombinasi akan sangat bervariasi antarpersilangan. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan antara hasil pemetaan populasi yang berbeda (Chalmers *et al.* 2001), dan bisa menjadi sangat ekstrim ketika yang diamati adalah perilaku kromosom asing atau bahkan pada *landrace* (Paull *et al.* 1994). Dalam beberapa kasus, *blok linkage* yang menggunakan beberapa persilangan dengan jumlah populasi besar kurang baik karena rekombinasi bisa kacau (Paull *et al.* 1994). Sebagai alternatif, galur-galur gandum dengan aktivitas Ph1 atau Ph2 yang rendah dapat digunakan untuk mempercepat pecahnya blok kromosom sehingga dapat bermanfaat dalam mengintrogresi kromatin asing ke dalam gandum (Koechner and Shepherd 1985, Riley *et al.* 1966). Pendekatan lain adalah mengembangkan galur-galur gandum dengan melakukan modifikasi melalui rekombinasi tingkat tinggi. Secara teoritis, hal ini dapat dicapai dengan mengontrol-ekspresikan gen tertentu yang terlibat dalam rekombinasi atau mematikan gen yang bertanggung jawab untuk memperlambat rekombinasi, seperti gen yang mengkode enzim perbaikan DNA (Langridge *et al.* 2000). Jika perilaku kromosom pada gandum telah dipahami secara lebih rinci, maka alternatif pilihan akan lebih banyak dalam mengelola dan mengidentifikasi proses-proses penting saat terjadinya rekombinasi.

PEMULIAAN GANDUM BERBASIS PENANDA MOLEKULER

Dari sudut pandang evolusi, gandum adalah polyploid muda dan mempunyai konfigurasi genetik yang merupakan contoh klasik hubungan kekerabatan tanaman serealia. Kemiripan genom gandum dengan padi dan jagung membuka jalan untuk mengembangkan varietas gandum yang lebih unggul. Banyak varietas unggul gandum toleran cekaman telah dikembangkan berdasarkan informasi hasil penelitian filogenetik (Kumar and Sharma 2011).

Penanda molekuler dapat membantu data morfologi yang juga relatif mahal dan sering kurang akurat karena banyak dipengaruhi oleh lingkungan. Penanda molekuler sudah banyak digunakan untuk melacak lokus dan daerah genom dalam program pemuliaan gandum. Sebagai contoh di Australia, sejumlah varietas telah dilepas dengan menggunakan alat bantu penanda molekuler pada fase-fase tertentu selama proses pemuliaan. Letak beberapa lokus utama dapat dikenal melalui gen penyandi ketahanan terhadap penyakit, toleransi terhadap cekaman biotik, serta karakter kuantitas dan kualitas lainnya. Terdapat juga beberapa perbaikan yang signifikan dalam teknologi skrining marka yang mampu mengurangi biaya karena meningkatnya kehandalan skrining berbasis marka genotipik. Efisiensi penggunaan marka dipengaruhi oleh jarak marka terhadap lokus target dan keberhasilan marka dalam mendeteksi polimorfisme genotipe yang digunakan dalam program pemuliaan.

Prasyarat pertama untuk analisis genom adalah pengembangan penanda molekuler dan peta keterpautan. Peta pertama gandum yang diterbitkan pada tahun 1995 menggunakan marka RFLP merupakan kontribusi besar bagi upaya pemetaan yang telah mengembangkan 2.200 penanda SSR. Informasi pemetaan telah ditingkatkan melalui pengembangan peta komposit dan peta ini sekarang diselaraskan dengan peta fisik melalui pemetaan bin SSR yang terseleksi pada galur-galur delesi (Gandon and Crépieux 2008).

Baru-baru ini, pustaka BAC (*Bacterial Artificial Chromosome*) menawarkan cakupan genome maupun kromosom spesifisitas (Safar *et al.* 2004), merupakan alat ampuh untuk peta berbasis kloning. Contoh terbaru dari peta berbasis kloning adalah isolasi lokus ph1 (Griffiths *et al.* 2006), yang mencegah kromosom berpasangan selama proses meiosis baik, pada gandum durum maupun gandum roti.

International Triticeae EST (*Expressed Sequence Tags*) Cooperative (ITEC) telah merilis 853.401 marka EST untuk gandum yang semuanya tersedia untuk umum. Sebuah bin kromosom yang terdiri atas 16.000 lokus EST juga telah diterbitkan (Qi 2004), memberikan peluang bagi pengembangan marka SNP melalui pemetaan kepadatan atau kejemuhan tinggi. Namun, pengembangan SNP pada gandum lebih sulit dibandingkan dengan jenis tanaman lainnya karena sifat hexaploid dari genom, yang menyebabkan kesulitan dalam merancang genom primer PCR spesifik (Gandon and Crépieux 2008).

Program genom tanaman NSF adalah yang pertama dalam menggunakan urutan EST untuk pengembangan SNP dan telah diinformasikan sejumlah 17.174 primer, yang dilaporkan sebagai polimorfik sebanyak 1.102. Alat bantu genomik ini telah digunakan dalam berbagai aplikasi yang menyebabkan pentingnya pemetaan gen QTL dan agronomis, serta peta berbasis kloning gen pada beberapa lokus penting. Pada gandum, lebih dari 100 gen telah dipetakan, terutama untuk penyakit, nematoda atau ketahanan terhadap serangga (Feuillet & Keller 2005). Saat ini, informasi marka telah tersedia yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan karakter penting dalam plasma nutfah, seperti karakter-karakter penting dari materi genetik eksotis yang memungkinkan untuk diintrogresi secara cepat melalui MAS (*Marker Assisted Selection*), antara lain (i) ketahanan terhadap penyakit brown rust dan yellow rust (Lr9, Lr10, Lr19, Lr24, Lr37/Yr17/Sr38, Yr15, Lr34/Yr18, Lr46/Yr29); (ii) ketahanan terhadap eye spot (Pch1); (iii) ketahanan terhadap powdery mildew (PM3, Pm4b, Pm8/Pm17, MIRe); (iv) ketahanan terhadap Septoria tritici (Stb6); (v) ketahanan terhadap Fusarium (QTL yang berasal dari Sumai3 yaitu Qfhs.ndsu-3BS, Frontana, dan sumber-sumber lain dari Eropa); (vi) gen yang terlibat dalam pertumbuhan tanaman (RhtB1b (Rht1), RhtD1b (Rht2), Rht8, Vrn1); dan (vii) karakter terkait kualitas (hasil PCR glutenin berat molekul tinggi pada alel tertentu, puroindolins, dan terigu lilin) (Gandon and Crépieux 2008).

SELEKSI BERBASIS ALAT BANTU MARKER (MAS) PADA GANDUM

Jika konsep pengembangan idiotipe berbasis genetik sebagai dasar dalam merancang strategi persilangan dan seleksi untuk membangun idiotipe baru untuk beberapa kondisi dan pada sejumlah kasus, maka hal ini akan menjadi salah satu pendekatan. Sebagai contoh, informasi yang dibutuhkan untuk mengembangkan dan menerapkan strategi dengan menggunakan data genetika yang dihasilkan dari empat populasi haploid ganda hasil pemetaan dengan melibatkan hasil analisis kemajuan genetik selama beberapa tahun. Pada saat strategi dimulai, hampir semua informasi pemetaan awal telah tersedia. Untuk aplikasi selanjutnya, berdasarkan pendekatan ini, dapat melibatkan materi dengan latar belakang genetik yang berbeda atau mengintegrasikan yang berbeda, dan berpotensi tumpang tindih dengan set lokus atau keterpautan blok.

Strategi karakter ideotipe hanya salah satu dari banyak pendekatan pemuliaan seluruh genom yang berpeluang diterapkan pada perbaikan gandum. Contoh aplikasi yang sedang dilakukan di Australia yaitu upaya untuk menggabungkan alel yang diinginkan pada beberapa lokus gandum toleran genangan dari sejumlah koleksi galur-galur Eropa, Jepang dan Kanada, sehingga menjadi latar belakang genetik gandum Australia yang unggul dan mampu beradaptasi dengan baik (Vassos *et al.* 2003). Selain itu berupaya untuk memperbaiki beberapa kekurangan dari genotipe gandum unggul yang dihasilkan (Kuchel *et al.* 2003). Dalam aplikasi ini diperoleh informasi detail dari kontrol genetik dan lokasi dari gen target serta informasi fenotipik galur-galur elit yang tersedia. Dari sejumlah strategi yang mulai diaplikasikan, akumulasi informasi yang dibutuhkan merupakan proses yang memakan waktu dan mahal.

Kemajuan metode skrining marker telah membantu mengatasi kelemahan tersebut sehingga menciptakan lebih banyak peluang terhadap strategi tersebut. Hal terpenting adalah pergeseran ke studi asosiasi genetika pada gandum mulai memberikan pandangan mengenai inti dari pautan blok dan memahami struktur haplotipe dari tanaman target. Informasi ini berperan penting pada generasi berikutnya dari strategi pemuliaan seluruh genom.

Deteksi bobot molekul rendah gen HSP (*heat shock protein*) yang disintesis dari *T. durum* dalam kaitannya dengan thermo-toleransi telah dikenal. Respon toleran panas genotipe *T. aestivum* yang berbeda untuk enzim seperti NRA dan Peroksidase telah dibuktikan dapat menunjukkan thermo-toleransi. Secara umum gen penyandi cekaman toleransi abiotik sangat kompleks sehingga sulit dalam melakukan seleksi fenotipik. Pendekatan berbasis MAS (*Marker Assisted Selection*) lebih efektif untuk kasus tersebut. Namun belum banyak informasi mengenai pemanfaatan MAS secara rutin.

Waktu pengisian biji telah digunakan sebagai salah satu parameter untuk mengidentifikasi genotipe gandum toleran panas (Bhullar and Jenner 1985, Yang *et al.* 2002, Mohammadi *et al.* 2008). Sadat *et al.* (2013) mengungkapkan kegunaan penanda SSR dikaitkan dengan berbagai karakter yang berkaitan dengan toleransi sifat panas yang telah digunakan sebagai parameter seperti periode pengisian biji pada tanaman biji-bijian, HSI (*Heat Susceptibility Index*)/ bobot kernel malai utama, HSI/periode pengisian biji, dan HSI/bobot kernel pada kondisi cekaman panas dengan menggunakan MAS untuk skrining 25 genotipe gandum roti toleran cekaman panas. Penelitian masih terbatas untuk mengidentifikasi penanda genetik yang terkait dengan toleransi cekaman panas pada tanaman yang berbeda. Berdasarkan hal tersebut maka yang perlu dipahami terlebih dahulu adalah faktor genetik yang mempengaruhi toleransi cekaman panas serta mengidentifikasi penanda diagnostik baru yang akan digunakan dalam MAS, yang akan lebih memastikan hasil secara lebih cepat pada kondisi lingkungan cekaman panas.

DASAR MOLEKULER GANDUM TOLERANSI CEKAMAN SUHU TINGGI

Toleransi terhadap cekaman panas adalah fenomena yang kompleks dan dikontrol oleh beberapa gen yang menginformasikan sejumlah perubahan fisiologis dan biokimia dan tidak ada karakter tunggal menjelaskan mekanisme toleransi panas. Informasi dasar molekuler dan genetik toleransi panas untuk mengidentifikasi penanda molekuler akan meningkatkan efisiensi program perbaikan gandum yang ditargetkan untuk mengembangkan kultivar toleran panas.

Suhu tinggi mempersingkat durasi pengisian biji dan mengurangi waktu untuk apoptosis dan waktu panen (Altenbach *et al.* 2003). Paparan suhu tinggi ($> 35^{\circ}\text{C}$) pada fase akhir pertumbuhan merupakan masalah pada 40% daerah pengembangan gandum pada lingkungan beriklim sedang. Beberapa pendekatan berbasis pemuliaan telah diusulkan untuk karakter yang terkait dengan hasil dan yang selalu menjadi tolok ukur adalah mengukur keberhasilan genotipe pada lingkungan cekaman panas. Setiap kenaikan suhu di atas 15°C menurunkan hasil 3% (Wardlaw *et al.* 1989). Bobot kernel yang dapat dipertahankan secara optimum di bawah cekaman merupakan kriteria yang baik untuk mengukur toleransi panas (Tyagi *et al.* 2003).

Ada dua pendekatan untuk memahami sifat-sifat kuantitatif dan kompleks, yaitu melalui pendekatan *genome-wide scanning* dan kandidat gen. *Genome-wide scanning* merupakan pendekatan dengan sumberdaya yang mahal dan intensif yang menempatkan daerah kromosom dari lokus-lokus karakter kuantitatif pada tingkat cM dengan bantuan penanda molekuler berdasarkan desain percobaan berbasis populasi, yang biasanya mengandung sejumlah besar gen putatif. Sebagai perbandingan, pendekatan kandidat gen adalah

metode yang lebih efektif dan ekonomis untuk mempelajari arsitektur genetik dari sifat-sifat kompleks (Zhu and Zhao 2007). *Heat shock protein* (HSPs) berfungsi sebagai molekul chaperone yang bertanggung jawab untuk protein folding, perakitan, translokasi dan degradasi dalam banyak proses seluler, stabilisasi protein dan membran, dan membantu mempertahankan protein refolding di bawah kondisi cekaman, termasuk suhu tinggi (Wang *et al.* 2004).

Studi proteome menunjukkan kultivar gandum toleran panas memiliki respon yang berbeda terhadap cekaman panas dibandingkan dengan kultivar rentan dalam bentuk HSPs (Skylas *et al.* 2002). Profil protein setelah mengalami stres panas mengungkapkan tidak hanya perbedaan kuantitatif dalam HSPs secara individu tetapi juga beberapa HSPs unik ditemukan pada genotipe toleran panas. Messenger RNA yang mengkode kelas utama HSPs bobot molekul rendah (HSP16.9) terdeteksi pada genotipe gandum terkena suhu tinggi (Nguyen *et al.* 1994). Beberapa laporan menunjukkan bahwa berbagai jenis HSP disintesis dari jaringan gandum menanggapi durasi dan jenis cekaman panas yang berbeda (Zivy 1987, Weng and Nguyen 1992, Treglia *et al.* 1999, Rampino *et al.* 2009, Sharma-Natu *et al.* 2010, Xu *et al.* 2011). Sebagian besar studi tentang HSP dalam kaitannya dengan cekaman panas didasarkan pada analisis ekspresi HSP namun belum ditemukan literatur tentang HSP berbasis penanda dalam program pemuliaan yang toleran cekaman panas pada gandum. Analisis ekspresi juga membutuhkan keterampilan teknis yang tinggi dan tidak mungkin untuk melakukan studi ekspresi dengan memisahkan populasi.

Dalam penelitian genetik tanaman, MAS menyediakan strategi untuk mempercepat proses pemuliaan gandum. Polimorfisme nukleotida tunggal (SNP) terdapat dalam jumlah yang hampir tak terbatas, dan beberapa perbedaan urutan nukleotida antara individu memiliki potensi terpaut dengan fenotipe yang dapat dikonversi menjadi penanda genetik untuk genotipe *high-throughput* (Rafalski 2002). Informasi terkini menunjukkan belum ada laporan tentang SNP di HSP terkait dengan thermotoleransi. Dalam studi ini, telah dikembangkan penanda SNP pada gen HSP16.9 gandum roti untuk mengidentifikasi genotipe rentan dan toleran panas menggunakan PCR primer spesifik alel.

Ekspresi HSP adalah respon molekul yang paling banyak dipelajari di bawah cekaman panas. HSP menyimpan protein dari hasil agregasi akibat panas sehingga selama periode pemulihan dapat memfasilitasi protein kembali refolding (Hendrick and Hartl 1993, Schöfl *et al.* 1998, Feder and Hofmann 1999, Maestri *et al.* 2002). Ekspresi gen HSP merupakan respon awal terhadap cekaman (Rampino *et al.* 2009). Bila terkena suhu tinggi ($> 35^{\circ}\text{C}$), sintesis protein normal pada gandum berkurang, tetapi memproduksi HSP (Blumenthal *et al.* 1994).

Nguyen *et al.* (1994) mendeteksi RNA pembawa Hsp-HSP16.9 yang mengkode bobot molekul rendah pada genotipe gandum yang ditanam pada suhu 32-35°C. Pada studi lain, beberapa varietas gandum terkena suhu 3,2-3,6°C lebih tinggi dari biasanya, HSP18 terakumulasi lebih tinggi pada saat pembentukan biji pada varietas toleran panas dibandingkan varietas rentan

(Sharma-Natsu *et al.* 2010). Sumesh *et al.* (2008) juga mengamati kandungan HSP 100 lebih tinggi pada suhu tinggi pada berbagai varietas yang relatif toleran. Protein dehydrine merupakan bagian dari dua grup protein *late embryo genesis* (LEA) yang berlimpah. Dehydrins membantu menstabilkan makro-molekul yang disebabkan oleh kerusakan akibat panas (Brini *et al.* 2010). Pada gandum, misalnya, protein DHN-5 membantu melindungi dan menstabilkan enzim kunci untuk memulai metabolisme (Brini *et al.* 2010).

PERAKITAN VARIETAS GANDUM TROPIS BERBASIS PENANDA MOLEKULER

Perakitan varietas gandum tropis (suhu tinggi) merupakan salah satu alternatif dalam pengembangan gandum di Indonesia. Aplikasi marka molekuler (SSR) secara sederhana yang telah dilakukan selama beberapa tahun terakhir antara lain (1) karakterisasi secara molekuler beberapa set koleksi plasma nutfah gandum untuk mengetahui variabilitas genetik koleksi tersebut; (2) menyeleksi pasangan-pasangan rekombinan potensial berdasarkan estimasi nilai jarak genetik ($> 0,60$), sebagai salah satu cara untuk meningkatkan variabilitas genetik; (3) pembentukan populasi baru menggunakan metode persilangan konvergen untuk meningkatkan variabilitas genetik berdasarkan pasangan rekombinan potensial, kemudian progeny hasil persilangan dikarakterisasi kembali menggunakan penanda SSR untuk mengetahui apakah terjadi peningkatan variabilitas genetik; (4) mengidentifikasi koleksi plasma nutfah gandum yang mempunyai gen terpaut toleran suhu tinggi dan gen-gen ketahanan lainnya, yaitu ketahanan terhadap penyakit karat daun menggunakan marka spesifik, utamanya pada aksesi-aksesi yang berpeluang untuk meningkatkan variabilitas genetik. Hasil analisis keragaman genetik 147 koleksi plasma nutfah gandum yang dilakukan Andriani *et al.* (2015) menunjukkan nilai jarak genetik berkisar antara 0,04-0,62. Dari total 147 aksesi yang dianalisis terdapat 10.732 rekombinan, dan hanya 35 rekombinan yang potensial berdasarkan nilai jarak genetik $> 0,60$ yang melibatkan 28 aksesi, berpeluang untuk meningkatkan variabilitas genetik. Semua rekombinan yang berpeluang meningkatkan variabilitas genetik berada pada klaster atau sub-klaster yang berbeda.

KEMAJUAN INFORMASI GENOMIK GANDUM

Dalam beberapa tahun terakhir, alat analisis skala genom telah diterapkan untuk mempelajari perubahan global dalam ekspresi gen, proteome, dan metabolome untuk memahami jalur metabolisme dan regulasi jaringan yang terlibat dalam toleransi cekaman abiotik dan biotik (Nakashima *et al.* 2009, Hirayama and Shinozaki 2010). Data sekuensi pendek genom gandum telah dipublikasi dan diperkirakan terdapat 94.000-96.000 gen yang mengatur dua-pertiga dari tiga komponen genom (A, B dan D) dari gandum hexaploid (Brenchley *et al.* 2012).

Hal ini merupakan informasi penting yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya genom yang berharga untuk identifikasi gen, alel, dan daerah genom yang dapat dimanfaatkan dalam merakit sejumlah varietas toleran. Selain itu, beberapa fokus utama yang muncul ke permukaan seperti integrasi transkriptomik, proteomik, metabolomik bertujuan guna mengembangkan sistem pendekatan biologi untuk mengungkap mekanisme yang terlibat dalam toleransi cekaman abiotik pada tanaman (Urano *et al.* 2010, Moreno-Risueno *et al.* 2010, Cramer *et al.* 2011).

Studi tentang organisasi genom gandum menunjukkan lebih 85% dari total gen gandum menempati kurang dari 10% daerah kromosom (Deepak and Gill 2004). Perkiraan sederhana berdasarkan keterangan urutan 11,1 Mb dari klon BAC yang dipilih secara acak, dan dengan mempertimbangkan fakta bahwa jumlah gen bervariasi sebanyak 32% ketika urutan yang sama dijelaskan oleh peneliti yang berbeda, bahwa genom gandum mengandung gen protein penyandi antara 164.000 - 334.000, termasuk pseudo gen (Devos *et al.* 1994). Hasil pemetaan secara fisik menunjukkan gandum mengandung 3.025 lokus, termasuk 252 gen yang ditandai sebagai karakter fenotipik dan 17 lokus menunjukkan sifat kuantitatif (QTL). Terdapat 29% gen yang menempati sebagian kecil genom gandum pada daerah padat gen (*gen-rich region* = GRR), 18% muncul sebagai gen mayor dan 30% sebagai minor gen. GRR bervariasi dalam jumlah maupun kepadatan gen. Secara fisik, terdapat lima GRR terbesar mencakup 3% dari genom yang mengandung 26% gen gandum. Perkiraan ukuran GRR berkisar 3-71 Mb. Rekombinasi terutama banyak terjadi pada GRR. Dari berbagai macam GRR bervariasi sekitar 128 kali lipat untuk kepadatan gen dan 140 kali lipat untuk tingkat rekombinasi (Erayman *et al.* 2004).

Dalam beberapa tahun terakhir, alat analisis berbasis genomik telah diterapkan untuk mempelajari perubahan global dalam ekspresi gen, proteome, dan metabolome untuk memahami jalur metabolisme dan regulasi jaringan yang terlibat dalam toleransi cekaman abiotik dan biotik (Nakashima *et al.* 2009, Hirayama and Shinozaki 2010). Baru-baru ini data sekuens pendek genom gandum telah diterbitkan yang diperkirakan antara 94.000-96.000 gen, yang mengatur dua-pertiga dari tiga komponen genom (A, B dan D) gandum hexaploid (Brenchley *et al.* 2012). Informasi berharga yang bersumber dari genom tersebut bermanfaat untuk identifikasi gen, alel, dan daerah genom untuk pengembangan varietas toleran. Selain itu, penekanan utama pada integrasi transcriptomik, proteomik, metabolomik bertujuan untuk menciptakan sistem pendekatan biologi untuk mengungkap mekanisme yang terlibat dalam toleransi cekaman abiotik pada tanaman (Urano *et al.* 2010, Moreno-Risueno *et al.* 2010, Cramer *et al.* 2011).

Transcriptomik. Cekaman abiotik merupakan karakter kompleks, sehingga dipredksi banyak gen akan terlibat dalam berbagai respon fisiologis dan biokimia cekaman abiotik pada tanaman. Oleh sebab itu, studi tentang profil ekspresi gen secara komprehensif pada beberapa gen dapat memberikan informasi tentang mekanisme cekaman abiotik pada tanaman. Di masa lalu, alat-alat seperti

mikroarray, substraksi pustaka, cDNA-AFLP, *serial analysis of gene expression* (SAGE) dan hasil sekuensing transkriptome secara keseluruhan telah teridentifikasi pada sejumlah besar gen tanaman yang terlibat dalam respon cekaman abiotik dalam tanaman, termasuk gandum (Fowler and Thomashow 2002, Kreps *et al.* 2002, Seki *et al.* 2002, Wong *et al.* 2006). Qin *et al.* (2007) mengungkapkan profil ekspresi gen dari genom secara komprehensif pada benih genotipe gandum toleran panas ‘TAM107’ dan genotipe gandum ‘Spring Chinese’ yang rentan cekaman panas dengan menggunakan microarray. Pola perubahan ekspresi gen pada genotipe berbeda nyata dengan perlakuan panas waktu singkat dan waktu yang berlangsung lama. Selain itu, genotipe kontras menunjukkan karakter yang berbeda, baik *up-regulation* maupun *down-regulation*, termasuk jalur sinyal HSPs, faktor transkripsi, fitohormon biosintesis/signaling, kalsium, dan gula pada perlakuan panas yang singkat dan yang berlangsung lama. Oleh karena itu, respon gandum terhadap cekaman panas kemungkinan dimediasi melalui jalur sinyal transduksi yang melibatkan hormon tanaman, kalsium, dan molekul gula seperti yang dilaporkan juga terjadi pada spesies lain (Larkindale *et al.* 2005, Larkindale and Vierling 2008, Liu *et al.* 2003, Calderwood *et al.* 2010). Analisis transkriptome yang mengacu pada hasil biji dan perkembangan daun bendera pada gandum lebih relevan dalam mengidentifikasi sejumlah karakter dan *pathway* untuk toleransi cekaman panas pada gandum yang ditunjukkan oleh terjadinya penggulungan daun bendera dan penurunan hasil yang signifikan dari gandum tersebut. Chauhan *et al.* (2011) mengidentifikasi perbedaan *expressed sequence tags* (EST) gandum di bawah cekaman panas dari pustaka cDNA subtraktif dari 3' forward – 1' reverse yang dikonstruksi mulai dari tahap pembibitan sampai tahap pembungaan. Beberapa EST ditemukan spesifik untuk cekaman panas, namun juga banyak terdeteksi ekspresi yang menanggapi cekaman abiotik lain, sehingga diduga terjadi interaksi dengan cekaman abiotik lainnya. Rampino *et al.* (2012) menganalisis efek kombinasi toleransi cekaman panas dan kekeringan yang ditunjukkan oleh terjadinya perubahan dalam ekspresi gen secara global pada daun bendera gandum durum menggunakan cDNA-AFLP, dan ditemukan regulasi dari jumlah gen yang lebih tinggi setelah perlakuan kombinasi cekaman dibandingkan dengan perlakuan cekaman tunggal seperti yang terdeteksi pada spesies lain. Pada beberapa EST baru (selain EST yang terlibat dalam dehydrins dan HSPs) di bawah kondisi cekaman panas, kekeringan, atau cekaman gabungan juga diidentifikasi. Berdasarkan hal tersebut jelas bahwa studi transcriptome telah memberikan kontribusi yang besar dalam memahami cekaman panas pada gandum.

Proteomik. Perubahan ekspresi gen tanaman selama pertumbuhan, pengembangan dan paparan terhadap variasi lingkungan tercermin dari perubahan enzim dan/atau protein pada berbagai tingkat dari jalur metabolismik (Hakeem *et al.* 2012). Hal ini menunjukkan pentingnya analisis proteome gandum untuk memahami dasar molekuler toleransi cekaman panas pada beberapa kultivar gandum. Bahkan, dengan ketersediaan teknik analisis proteome yang sensitif dan akurat, proteomik telah muncul sebagai alat yang ampuh dalam

menemukan gen dan lintasan yang terlibat dalam respon cekaman abiotik pada tanaman (Chen and Harmon 2006, Kosova *et al.* 2011). Protein/enzim dan jalur metabolismik kunci diidentifikasi dari galur-galur gandum toleran yang berpotensi sebagai target dalam merakit varietas gandum toleran cekaman panas.

Majoul *et al.* (2004) menganalisis pengaruh cekaman panas pada proteome gandum hexaploid menggunakan elektroforesis dua dimensi (2-DE) dan *matrix-assisted laser desorption/ionization-time of flight-mass spectrometry* (MALDI-TOF-MS). Sebanyak 43 protein diferensial terekspresi di bawah cekaman panas, terdiri atas enzim metabolisme karbohidrat, ATP synthase α -chain yang terkait dengan empat protein penurun panas, *heat shock protein*, dan beberapa protein pertahanan lainnya. Titik-titik yang terekspresi secara berbeda mewakili berbagai kelompok protein termasuk HSPs, protein yang terlibat dalam glikolisis dan metabolisme karbohidrat, serta cekaman yang berhubungan dengan protein (Laino *et al.* 2010). Ekspresi HSPs ini tidak mengherankan karena dapat melakukan beberapa fungsi strategis seperti mencegah denaturasi protein yang ada atau *misfolding protein* yang baru disintesis (Vierling 1991, Timperio *et al.* 2008). Namun peran yang tepat dari sejumlah HSPs gandum pada kondisi cekaman panas belum dipahami secara menyeluruh. Panas hasil induksi HSPs pada gandum yang tergolong HSPs dengan bobot molekul tinggi seperti HSP70, HSP90, sedangkan HSPs yang tergolong bobot molekul rendah seperti HSP26 (Laino *et al.* 2010). Sebagai contoh, HSP70 sangat jelas terkait dengan fungsi akuisisi thermo-toleransi dan terlibat dalam pelipatan dan oligomerisasi protein untuk mencegah agregasi ireversibel (Hendrick and Hartl 1993). Oleh karena itu, selain HSPs dan metabolisme energi protein yang terkait, metabolisme enzim karbohidrat yang terekspresi berbeda di bawah kondisi cekaman panas dapat dipahami secara jelas, karena protein tersebut terlibat pada degradasi (genotipe rentan) maupun pada sintesis (genotipe toleran) pati pada saat pengisian biji.

Majoul *et al.* (2003, 2004) mengungkapkan bahwa penurunan tingkat dua enzim kunci, *glucose-1-phosphate adenyl-transferase* dan *granule bound starch synthase* pada fase pengisian biji yang berakibat kurangnya hasil biji di bawah kondisi cekaman panas menunjukkan peran enzim tersebut. Namun peranan dari proteomik dalam memahami secara rinci jalur metabolismik gandum yang terkena dampak cekaman panas dan identifikasi kandidat enzim sebagai target potensial dalam merakit gandum toleran cekaman panas belum sepenuhnya dipahami.

Metabolomitik. Tanaman menanggapi cekaman abiotik dengan mengubah komposisi dan konsentrasi metabolit sehingga dapat beradaptasi dengan perubahan lingkungan yang merugikan. Dalam konteks ini, profil metabolit global dapat memainkan peran penting karena berpeluang memantau prekursor secara simultan, intermediet, dan merupakan produk dari semua jalur metabolismik dari organisme tanaman apa pun (Kaplan *et al.* 2011). Profil metabolismik telah mempercepat penemuan molekul sinyal transduksi terhadap cekaman dan senyawa yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari respon tanaman cekaman abiotik (Shulaev *et al.* 2008). Namun, hanya sedikit

informasi yang tersedia mengenai profil metabolik gandum, dan tidak satu pun dari informasi tersebut yang terkait dengan cekaman panas (Matthews *et al.* 2012). Sejak protein dan karbohidrat merupakan metabolit utama pada membentuk biji gandum, sebagian besar studi terdahulu terfokus hanya pada senyawa tersebut dibandingkan dengan seluruh perubahan metabolit sebagai respon terhadap cekaman panas. Oleh karena itu perlu menganalisis profil metabolit global di bawah cekaman panas yang melibatkan kelompok heterogen molekul penanda yang terlibat dalam jaringan metabolisme yang kompleks.

TANTANGAN PENGEMBANGAN VARIETAS GANDUM

Pada tahun 2050, diperkirakan permintaan gandum meningkat sekitar 60% untuk memenuhi kebutuhan yang terus meningkat (Rosegrant and Agcaoili 2010). Pada saat yang sama, peningkatan suhu yang disebabkan oleh perubahan iklim diperkirakan akan menurunkan produksi gandum di negara berkembang sebesar 20-30%. Kecenderungan produksi berkaitan dengan penurunan potensi hasil gandum di daerah penghasil utama karena terjadinya perubahan iklim.

Belakangan ini, beberapa penanda molekuler yang berhubungan dengan toleransi panas telah dikembangkan. Skrining plasma nutfah gandum untuk toleransi cekaman suhu panas menggunakan pendekatan alat bantu penanda seleksi (MAS) untuk gen yang diketahui toleran dapat menjadi pendekatan yang tepat dalam membantu pemulia konvensional untuk mengembangkan gandum toleransi cekaman suhu panas. Hal ini berperan penting dalam meminimalisasi kehilangan hasil.

Genom gandum adalah hexaploid yang berukuran besar, sekitar 16 Gbp (Arumuganathan and Earle 1991). Faktor ini merupakan penghambat dalam pengembangan penanda molekuler pada gandum. Menurut Elshire *et al.* (2011), pendekatan baru untuk genotyping menggunakan alat *next generation sequencing (NGS)* efektif menghasilkan penanda *genom wide high-throughput* dengan biaya yang relatif murah. *Genotype-by-sequencing (GBS)* memanfaatkan enzim restriksi untuk menangkap representasi yang mengalami pengurangan target genom dan adaptor DNA barcode untuk urutan beberapa sampel (96-384) yang sekali jalan secara paralel sesuai platform NGS (*multiplexing*). GBS saat ini telah banyak diaplikasikan secara luas pada genom barley (*Hordeum vulgare L.*) dan gandum untuk menghasilkan penanda molekuler secara cepat (Poland *et al.* 2012).

Selain itu, pendekatan genomik, proteomik, dan transcriptomik dalam memahami mekanisme toleransi cekaman panas juga diperlukan. Pemahaman akan molekuler tentang mekanisme respon dan toleransi akan membuka jalan bagi perakitan tanaman yang memiliki toleransi terhadap cekaman panas. Respon cekaman panas penting artinya, khususnya untuk tanaman yang merupakan ekspresi HSPs dan beberapa protein terkait cekaman lainnya yang juga tersedia. Respon tanaman terhadap cekaman tunggal dan cekaman

kombinasi berbeda pada tingkat molekuler. Dengan demikian strategi alternatif diperlukan dalam perakitan varietas tanaman yang mengalami kombinasi cekaman dibanding cekaman tunggal.

Meskipun studi molekuler berpeluang membantu meningkatkan hasil yang bernilai ekonomi, namun hasil yang lebih mendekati adalah estimasi terbaik di tingkat fenotipik tanaman. Jadi sistem pemodelan tanaman mungkin diperlukan dalam hubungannya dengan studi biologi untuk meningkatkan hasil panen.

Ekspansi yang cepat dalam pemahaman tentang kontrol genetik dari sifat-sifat utama dalam mengendalikan ketahanan terhadap penyakit, toleransi terhadap cekaman dan komponen kualitas abiotik telah mengubah metode melalui aplikasi penanda molekuler dalam program pemuliaan. Tampilan penanda yang menawarkan alternatif cepat dan murah untuk bioassay telah sukses dan berkontribusi dalam mempercepat dan meningkatkan efisiensi seleksi. Namun, strategi ini tidak sepenuhnya memanfaatkan teknologi untuk struktur genom gandum dan barley. Keterbatasan utama upaya peningkatan dan kompleksitas penggunaan marker adalah besarnya populasi maksimal yang diperlukan jika ingin mencoba menyeleksi alel pada sejumlah besar lokus secara bersamaan dan pemahaman yang umumnya relatif kurang mengenai perilaku rekombinasi. Beberapa daerah genom di mana rekombinasi tidak terjadi seperti yang diharapkan seringkali tidak efektif memanfaatkan alel yang diinginkan dari kerabat liar atau *landrace*. Penggunaan marka secara konvensional belum efektif memanfaatkan daerah genom tersebut.

Tantangan utama dalam pemuliaan seluruh genom adalah bagaimana menggunakan informasi genom, memahami struktur haplotype dan perilaku rekombinasi, mengetahui lokasi utama sejumlah lokus dan marka penanda untuk alel yang diinginkan dan tidak diinginkan, merancang strategi pemuliaan optimal yang mengintegrasikan sebanyak mungkin informasi yang tersedia. Pendekatan ini memiliki potensi yang secara dramatis mengubah metode dimana plasma nutfah dikelola untuk meningkatkan fleksibilitas program pemuliaan.

KESIMPULAN

Marka secara bertahap telah diintegrasikan ke dalam program pemuliaan, bukan menggantikan pemuliaan konvensional, tetapi sebagai alat bantu. Tidak semua sifat menggunakan marka dalam proses seleksi, karena sifat-sifat yang secara fenotipik terlihat stabil, seperti umur genjah, tipe tanaman, tahan kereahan, relatif tidak memerlukan marka untuk seleksi. Integrasi ini hanya mungkin melalui interaksi yang erat antara pemuliaan konvensional dan peneliti molekuler sehingga ada pemahaman bersama tentang apa yang diperlukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan marka dalam program pemuliaan. Pertanyaan tentang penggunaan marka sudah tidak ada. Hal yang lebih penting sekarang adalah mengalokasikan sarana, menjaga keseimbangan yang tepat antara aktivitas fenotipik dan genotipik/molekuler. Tidak diragukan lagi bahwa penggunaan

MAS akan terus meningkat di masa mendatang sejalan dengan semakin menurunnya biaya penelitian dan lebih banyak marka untuk mengetahui sifat yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhunov, E.D., A.R. Akhunov, A.M. Linkiewicz, J. Dubcovsky, D. Hummel, G. Lazo, S. Chao, O.D. Anderson, J. David, L. Qi, B. Echalier, B.S. Gill, Miftahudin, J.P. Gustafson, M. La Rota, M.E. Sorrells, D.S. Zhang, H.T. Nguyen, V. Kalavacharla, K. Hossain, S.F. Kianian, J.H. Peng, N.L.V. Lapitan, E.J. Wennerlind, V. Nduati, J.A. Anderson, D. Sidhu, K.S. Gill, P.E. McGuire, C.O. Qualset, and J. Dvorak. 2003. Synteny perturbations between wheat homoeologous chromosomes caused by locusduplications and deletions correlate with recombination rates. Proc. Natl. Acad. Sci. USA100:10836-10841.
- Altenbach, S.B., F. DuPont, K. Kothari, R. Chand, E. Johnson, and D. Lieu. 2003. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in US spring wheat. J. Cereal Sci. 37:9-20.
- Andriani, A., Reflinur, and M.B. Pabendon. 2015. Genetic Diversity Analysis of Wheat Germplasm Collection of Indonesian Cereals Research Institute using SSR Markers. Presented at the Sabrao 13th Congress and International Conference, 14-16 September 2015 Bogor, Indonesia.
- Arumuganathan, K. and E. Earle. 1991. Nuclear DNA content of some important plant species. Plant Mol. Biol. Rep. 9:208-218.doi:10.1007/BF02672069.
- Blumenthal, C., C.W. Wrigley, I.L. Batey, and E.W.R. Barlow. 1994. The heat-shock response relevant to molecular and structural changes in wheat 820 yield and quality. Aust. J. Plant Physiol. 21:901-909.
- Brenchley, R., M. Spannagl, and M. Pfeifer. 2012. Analysis of the bread wheat genome using whole-genome shotgun sequencing. Nature 491:705-710.
- Brini, F., W. Saibi, I. Amara, A. Gargouri, K. Masmoudi, and M. Hanin. 2010. 825 wheat dehydrin dhn-5 exerts a heat-protective effect on α -glucosidase and glucose oxidase activities. Biosci. Biotechnol. Biochem. 74:1050-1054.
- Bhullar, S.S. and C.F. Jenner. 1985. Differential responses to high temperatures of starch and nitrogen accumulation in the grain of four cultivars of wheat. Aust. J. Plant Physiol. 12:363-375.
- Calderwood, S.K., Y. Xie, X. Wang, M.A. Khaleque, S.D. Chou, A.T. Murshid Prince, and Y. Zhang. 2010. Signal transduction always leading to heatshock transcription signal. Transduct Insights 2:13-24.
- Chalmers, K.J., A.W. Campbell, J. Kretschmer, A. Karakousis, P. Henschke, S. Pierens, N. Harker, M. Pallotta, G.B. Cornish, M.R. Shariflou, L. Rampling, A. McLauchlan, G. Daggard, P. Sharp, T. Holton, M.W. Sutherland, R. Appels, and P. Langridge. 2001. Construction of three linkage maps in breadwheat (*Triticum aestivum*). Aust. J. Agric. Res. 52:1089-1119.
- Chauhan, H., N. Khurana, A.K. Tyagi, J.P. Khurana, and P. Khurana. 2011. Identification and characterization of high temperature stress responsive genes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and their regulation at various stages of development. Plant Mol. Biol. 5:35-51.

- Chen, S. and A.C. Harmon. 2006. Advances in plant proteomics. *Proteomics* 6 (20):5504-16.
- Cramer, G.R., K. Urano, S. Delrot, M. Pezzotti, and K. Shinozaki. 2011. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biol.* 11:163. doi:10.1186/1471-2229-11-163.
- Deepak, S. and K.S. Gill. 2004. Distribution of genes and recombination in wheat and other Eukaryotes'. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 79:257-270.
- Devos, K.M., S. Chao, Q.Y. Li, M.C. Simonetti, and M.D. Gale. 1994. Relationship between chromosome 9 of maize and wheat homeologous group 7 chromosomes'. *Genetiks* 138:1287-1292.
- Elshire, R.J., J.C. Glaubitz, Q. Sun, J.A. Poland, K. Kawamoto, E.S. Buckler, and S.E. Mitchell. 2011. A robust, simple genotyping-by-sequencing (GBS) approach for high diversity species. *PLoS ONE* 6:e19379. doi:10.1371/journal.pone.0019379.
- Erayman, M., D. Sandhu, D. Sidhu, M. Dilbiligi, P.S. Baenziger, and K.S. Gill. 2004. Demarcating the gene-rich regions of the wheat genome. *Nucleic Acids Research* 32: 3546-3565.
- FAO. 2006. The State of Food Insecurity in the World 2006. Eradicating world hunger-taking stock ten years after the World Food Summit. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy. 39 p.
- Feder, M.E. and G.E. Hofmann. 1999. Heat-shock proteins, molecular chaperones, and the stress response: evolutionary and ecological physiology. *Annu. Rev. Physiol.* 61: 243-282.
- Feuillet, C. and B. Keller. 2005. Molecular markers for disease resistance, the example wheat. In: "Molecular Marker System in Plant Breeding and Crop Improvement". (Eds.). Lorz and Wenzel Biotechnology in Agriculture and Forestry 55: 353-370.
- Fowler, S. and M.F. Thomashow. 2002. Arabidopsis transcriptome profiling indicates multiple regulatory pathways are activated during cold acclimation in addition to the CBF cold-response pathway. *Plant Cell* 14:1675-1690.
- Gandon, B., and S. Crépieux. 2008. Marker implementation in wheat breeding programs: status and prospects. In : Molina-Cano J.L. (ed.), P. Christou (ed.), A. Graner A. (ed.), K. Hammer (ed.), N. Jouve (ed.), B. Keller (ed.), J.M. Lasa (ed.), W. Powell (ed.), C. Royo (ed.), P. Shewry (ed.), and A.M. Stanca (ed.). Cereal science and technology for feeding ten billion people: genomics era and beyond. Zaragoza: CIHEAM / IRTA, 2008. 93-98 (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 81).
- Gill, K.S., B.S. Gill, and T.R. Endo. 1993. A chromosome region-specific mapping strategy reveals gene-rich telomeric ends in wheat. *Chromosoma* 102:374-381.
- Griffiths, S., R. Sharp, T.N. Foote, I. Bertin, M. Wanous, S. Reader, I. Colas, and G. Moore. (2006). Molecular characterization of Ph1 as a major chromosome pairing locus in polyploid wheat. *Nature* 439 (9): 749-752.
- Hakeem, K.R., R. Chandna, P. Ahmad, M. Iqbal, and M. Ozturk. 2012. Relevance of proteomic investigations in plant abiotic stress physiology. *OMICS*. doi:10.1089/omi.2012.0041.
- Hendrick, J.P. and F.U. Hartl. 1993. Molecular chaperone functions of heatshockproteins. *Annu. Rev. Biochem.* 62: 349-384.

- Hiryama, T. and K. Shinozaki. 2010. Research on plant abiotic stress responses in the post-genome era: past, present and future. *Plant J.* 61:1041-1052.
- Huang, X.Q., H. Kempf, M.W. Ganal, and M.S. Röder. 2004. Advanced back-cross QTL analysis in progenies derived from a cross between a German elite wheat variety and a synthetic wheat. *Theor. Appl. Genet.* 109:933-943.
- Huang, X.Q., H. Cöster, M.W. Ganal, and M.S. Röder. 2003a. Advanced backcross QTL analysis for the identification of quantitative trait loci alleles from wild relatives of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 106: 1379-1389.
- Hussain, I., M. Burhanuddin, and M.K.J. Bhuiyan. 2010. Evaluation of physiochemical properties of wheat and mungbean from Bangladesh. *Internet Journal of Food Safety* 12:104-108.
- Johnson, R. 2004. MARS, association genetics, importance of accurate phenotypic data. *Plant Breeding Reviews* (J. Janick, ed.) 24: 293-309.
- Kaplan, F., J. Kopka, D.W. Haskell, W. Zhao, S.K. Cameron, N. Gatzke, K. Kosová, P. Vítámvás, I.T. Prášil, and J. Renaut. 2011. Plant proteome changes under abiotic stress-contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. *J. Proteomics* 74(8):1301-22.
- Koebner, R.M.D. and K.W. Shepherd. 1985. Induction of recombination between rye chromosome 1 RL and wheat chromosomes. *Theor. Appl. Genet.* 71:208-215.
- Kosová, K., P. Vítámvás, I.T. Prášil, and J. Renaut. 2011. Plant proteome changes under abiotic stress-contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. *J. Proteomics* 74(8):1301-22.
- Kreps, J.A., Y. Wu, H.S. Chang, T. Zhu, X. Wang, and J.F. Harper. 2002. Transcriptome changes for *Arabidopsis* in response to salt, osmotic, and cold stress. *Plant Physiol.* 130:2129-2141.
- Kuchel, H., P. Warner, R.L. Fox, K. Chalmers, N. Howes, P. Langridge, and S.P. Jefferies. 2003. Whole-genome based marker assisted selection strategies in wheat breeding. 10th Int. Wheat Genetiks Symp. (Eds.) Pogna, Romano, Pogna and Galterio. *Paestum* 1:144-147. Italy.
- Kumar, A. and M. Sharma. 2011. Wheat genome phylogeny and improvement. *AJCS* 5(9):1120-1126.
- Kumar, S. and A.K. Singh. 2010. A review on herbicide 2, 4-D damage reports in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 2: 118-124.
- Künzel, G., L. Korzun, and A. Meister. 2000. Cytologically integrated physical restriction fragment length polymorphism maps for the barley genome based on translocation breakpoints. *Genetiks* 154:397-412.
- Laino, P., D. Shelton, C. Finnie, A.M. De Leonardis, A.M. Mastrangelo, B. Svensson, D. Lafiandra, and S. Masci. 2010. Comparative proteome analysis of metabolic proteins from seeds of durum wheat (cv.Svevo) subjected to heat stress. *J. Proteom* 10:2359-2368.
- Langridge P., Q. Yang, C. Dong, and K. Chalmers. 2000. From genome structure to pragmatic breeding of wheat and barley. In "Genomes" (Eds.). J. Perry Gustafson, Kluwer Academic. pp.197-209.
- Larkindale, J. and E. Vierling. 2008. Core genome responses involved in acclimation to high temperature. *Plant Physiol.* 146(2):748-761.

- Larkindale, J., J.D. Hall, M.R. Knight, and E. Vierling. 2005. Heat stress phenotypes of *Arabidopsis* mutants implicate multiple signalling pathways in the acquisition of thermo tolerance. *Plant Physiol.* 138:882-897.
- Liu, H.T., B. Li, Z.L. Shang, X.Z. Li, R.L. Mu, D.Y. Sun, and R.G. Zhou. 2003. Calmodulin is involved in heat shock signal transduction in wheat. *Plant Physiol.* 132:1186-1195.
- Maestri, E., N. Klueva, C. Perrotta, M. Gulli, H.T. Nguyen, and N. Marmiroli. 2002. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. *Plant Mol. Biol.* 48: 667-681.
- Majoul, T., E. Bancel, E. Triboi, J.B. Hamida, and G. Branlard. 2003. Proteomic analysis of the effect of heat stress on hexaploid wheat grain: Characterization of heat-responsive proteins from total endosperm. *Proteomics* 3:175-183.
- Majoul, T., E. Bancel, E. Triboi, J.B. Hamida, and G. Branlard. 2004. Proteomic analysis of the effect of heat stress on hexaploid wheat grain: characterization of heat-responsive proteins from non-prolamins fraction. *Proteomics* 4:505-513.
- Matthews, S.B., M. Santra, M.M. Mensack, P. Wolfe, and P.F. Byrne. 2012. Metabolite profiling of a diverse collection of wheat lines using ultra performance liquid chromatography coupled with time-of-flight mass spectrometry. *PLoS One* 7(8):e44179. doi:10.1371/journal.pone.0044179.
- Mohammadi, V., A.A. Zali, and M.R. Bihamta. 2008. Mapping QTLs for heat tolerance in wheat. *J. Agric. Sci. Technol.* 10:261-267.
- Moreno-Risueno, M.A., W. Busch, and P.N. Benfey. 2010. Omics meet networks-using systems approaches to infer regulatory networks in plants. *Curr. Opin. Plant Biol.* 13(2):126-131.
- Nakashima, K., Y. Ito, and K. Yamaguchi-Shinozaki. 2009. Transcriptional regulatory networks in response to abiotic stresses in *Arabidopsis* and grasses. *Plant Physiol.* 149(1):88-95.
- Nguyen, H.T., C.P. Joshi, N. Kluev, J. Weng, K.L. Hendershot, and A. Blum. 1994. The heat-shock response and expression of heat-shock proteins in wheat under diurnal heat stress and field conditions. *Aust. J. Plant Physiol.* 105521: 857-867.
- Paull, J.G., M.A. Pallotta, and P. Langridge. 1994. RFLP markers associated with Sr22 and recombination between chromosome 7A of bread wheat and the diploid species *Triticum boeoticum*. *Theor. Appl. Genet.* 89:1039-1045.
- Peter, L.M., E.S. Buckler, and J. Ross-Ibarra. 2012. Crop genomics: advances and applications. *Nature Reviews Genetiks* 13:85-96.
- Pabendon, M.B., Baharuddin, A. Adriani, Muzdalifah, T. Kuswinanti, M. Azrai, dan Soenartiningsih. 2011. Karakterisasi molekuler koleksi plasma nutfah gandum menggunakan marka SSR. Laporan akhir Tahun 2011, Rintisan Penelitian Berbasis Marka Molekuler Tanaman Serealia (jagung, gandum, dan sorgum) untuk Perakitan Varietas Unggul. Badan Litbang Pertanian, Pusat Penelitian Tanaman Pangan, Balai Penelitian Tanaman Serealia.
- Poland, J.A., P.J. Brown, M.E. Sorrells, and J.L. Jannink. 2012. Development of high-density genetic maps for barley and wheat using a novel two-enzyme genotyping-by-sequencing approach. *PLoS ONE* 7:e32253. doi:10.1371/journal.pone.0032253.
- Qi, L.L. 2004. A chromosome bin map of 16,000 expressed sequence tag loci and distribution of genes among the three genomes of polyploid wheat. *Genetiks* 168:701-712.

- Qin, F., M. Kakimoto, Y. Sakuma, K. Maruyama, Y. Osakabe, L.S. Tran, K. Shinozaki, and K. Yamaguchi-Shinozaki. 2007. Regulation and functional analysis of ZmDREB2A in response to drought and heat stresses in *Zea mays* L.. Plant J. 50(1):54-69.
- Rafalski, J.A. 2002. Novel genetic mapping tools in plants: SNPs and LD-based approaches. Plant Sci. 162:329-333.
- Rampino, P., G. Mita, S. Pataleo, S., Pascali, M.D., Fonzo, N.D., and C. Perrotta. 2009. Acquisition of thermo tolerance and HSP gene expression in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars. Environ. Exper. Bot. 66:257-264.
- Rampino, P., G. Mita, P. Fasano, G.M. Borrelli, A. Aprile, G. Dalessandro, L. De Bellis, and C. Perrotta. 2012. Novel durum wheat genes up regulated in response to a combination of heat and drought stress. Plant Physiol. Biochem. 56:72-78.
- Reynolds, M.P. and N.E. Borlaug. 2006. Centenary review. Applying innovations and new technologies for international collaborative wheat improvement. Journal of Agricultural Science 144:95-110.
- Riley, R., V. Chapman, R.M. Young, and A.M. Belfield. 1996. Control of meiotic chromosome pairing by the chromosomes of homoeologous group 5 of *Triticum aestivum*. Nature 212:1475-1477.
- Rosegrant, M.W. and M. Agcaoili. 2010. International food policy research institute. Washington, D.C., USA.
- Safar, J., J. Bartos, J. Janda, A. Bellec, M. Kubalakova, M. Valarik, S. Pateyron, J. Weiserova, R. Tuskova, J. Cihalikova, J. Vrana, H. Simkova, P. Faivre-Rampant, P. Sourdille, M. Caboche, M. Bernard, J. Dolezel, and B. Chaloub. 2004. Dissecting large and complex genomes, flow sorting and BAC cloning of individual chromosomes from bread wheat. Plant Journal 39:960-968.
- Schöffl, F., R. Prandl, and A. Reindl. 1998. Regulation of the heat-shock response. Plant Physiol. 117:1135-1141.
- Sadat, S., K.A. Saeid, M.R. Bihamta, S. Torabi, S.G.H. Salekdeh, and G.A.L. Ayeneh. 2013. Marker assisted selection for heat tolerance in bread wheat. World App. Sci. J. 21(8):1181-1189.
- Seki, M., J. Ishida, M. Narusaka, M. Fujita, T. Nanjo, T. Umezawa, A. Kamiya, and M. Nakajima. 2002. Monitoring the expression pattern of around 7000 *Arabidopsis* genes under ABA treatments using a full-length cDNA microarray. Funct. Integr. Genomics 2:282-291.
- Sharma-Natu, P., K.V. Sumesh, and M.C. Ghildiyal. 2010. Heat shock protein in developing grains in relation to thermo tolerance for grain growth in wheat. J. Agron. Crop Sci. 196:76-80.
- Shulaev, V., D. Cortes, G. Miller, and R. Mittler. 2008. Metabolomics for plant stress response. Physiol. Plant 2:199-208.
- Skylas, D.J., S.J. Cordwell, P.G. Hains, M.R. Larsen, D.J. Basseal, B.J. Walsh, C. Blumenthal, W. Rathmell, L. Copeland, and C.W. Wrigley. 2002. Heat shock of wheat during grain filling: Proteins associated with heat-tolerance. J. Cereal Sci. 35:175-188.
- Sumesh, K.V., P. Sharma-Natu, and M.C. Ghildiyal. 2008. Starch synthase activity and heat shock protein in relation to thermal tolerance of developing wheat grains. Biol. Plant. 52: 749-753.
- Syahruddin, K., A. Nur, dan M.B. Pabendon. 2015. Keragaman Genetik Segregan Gandum (*Triticum aestivum* L.) Hasil Persilangan Konvergen Berdasarkan Marka Simple Sequence Repeat. Laporan Akhir Tahun, Penelitian Berbasis Marka Molekuler

- (Jagung, Gandum, dan Sorgum) untuk Mendukung Perakitan Varietas Unggul Baru. Balai Penelitian Tanaman Serealia. Puslitbang Tanaman Pangan. Balitbangtan. 2015.
- Timperio, A.M., M.G. Egidi, and L. Zolla. 2008. Proteomics applied on plant abiotic stresses: role of heat shock proteins (HSP). *J. Proteomics* 71:391-411.
- Treglia, A., G. Spano, P. Rampino, E. Giangrande, G. Nocco, G. Mita, N. Di Fonzo, and C. Perrotta. 1999. Identification by *in vitro* translation and Northern Blot analysis of heat shock mRNAs isolated from wheat seeds exposed to different temperatures during ripening. *J. Cereal Sci.* 30:33-38.
- Tyagi, P.K., R.K. Pannu, K.D. Sharma, B.D. Chaudhary, and D.P. Singh. 2003. Post anthesis dry-matter accumulation and its partitioning in different wheat (*Triticum aestivum*) genotypes under varying growing environments. *Ind. J. Agron.* 49: 163-167.
- Urano, K., Y. Kurihara, M. Seki, and K. Shinozaki. 2010. 'Omics' analyses of regulatory networks in plant abiotic stress responses. *Curr. Opin. Plant Biol.* 13:132-138.
- Vierling, E. 1991. The roles of heat shock proteins in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol. Biol.* 42:579-620.
- Vassos, E.J., A.R. Barr, and J.K. Eglinton. 2003. Genetic conversion of feed barley varieties to malting types. *Proc. Barley Technical/Cereal Chemistry Conf. (Eds.)*. Black and Panozzo, Adelaide, Australia, www.cdesign.com.au/bts2005/pages/Papers_2003/papers/087VassosE.pdf.
- Wang, W., B. Vinocur, O. Shoseyov, and A. Altman. 2004. Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in abiotic stress response. *Trends Plant Sci.* 9:244-252.
- Wardlaw, I.F., I.A. Dawson, P. Manibi, and R. Fewster. 1989. The tolerance of wheat to high temperature during reproductive growth. I. survey procedures and general response patterns. *Aust. J. Agr. Res.* 40:1-13.
- Weng, J. and H.T. Nguyen. 1992. Differences in the heat-shock response between thermo tolerant and thermo susceptible cultivars of hexaploid wheat. *Theor. Appl. Genet.* 84:941-964.
- Wong, C.E., Y. Li, A. Labbe, D. Guevara, and P. Nuin. 2006. Transcriptional profiling implicates novel interactions between abiotic stress and hormonal responses in *Thellungiella*, a close relative of *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 140:1437-50.
- Xu, Y., C. Zhan, and B. Huang. 2011. Heat shock proteins in association with heat tolerance in grasses. *Intl. J. Proteomics*. DOI:10.1155/2011/529648.
- Yang, J., R.G. Sears, B.S. Gill, and G.M. Paulsen. 2002. Quantitative and molecular characterization of heat tolerance in hexaploid wheat. *Euphytica* 126:275-282.
- Zhu, M. and S. Zhao. 2007. Candidate gene identification approach: Progress and Challenges. *Int. J. Biol. Sci.* 3:420-427.
- Zivy, M. 1987. Genetic variability for heat shock proteins in common wheat. *Theor. Appl. Genet.* 74: 209-213.

Aplikasi Teknologi Mutasi dalam Pembentukan Varietas Gandum Tropis

Amin Nur dan Karlina Syahruddin
Balai Penelitian Tanaman Serealia

PENDAHULUAN

Seleksi atau pemilihan tanaman oleh manusia menjadi awal ilmu pemuliaan tanaman. Seleksi dilakukan bila ada keragaman pada populasi tanaman. Sebelum abad ke-20, seleksi tanaman menggunakan segregasi silang dan mutan-mutan alam dalam perbaikan sifat tanaman. Alam menyediakan keragaman genetik. Selain dari tanaman, persilangan alam juga terjadi dengan mutasi spontan yang tidak melibatkan campur tangan manusia. Mutasi merupakan salah satu sumber variasi genetik pada makhluk hidup. Variasi berfungsi untuk menyediakan populasi dasar untuk seleksi alam dan bagian integral dalam evolusi.

Tanaman mutan dapat menunjukkan efek besar atau kecil terhadap sifat fenotipe, bergantung pada gen yang mengalami mutasi. Banyak mutasi mungkin merusak yang menyebabkan suatu organisme menjadi kurang beradaptasi terhadap lingkungannya dan beberapa mungkin bersifat letal. Namun mutasi gen dapat menghasilkan genotipe baru yang bermanfaat melalui proses segregasi bebas dan *crossing over* antara gen. Seleksi mutasi spontan telah dimulai sejak 300 tahun SM di Cina (Harten 1998a). Di akhir abad ke-19, Hugo De Vries menemukan pola pewarisan sifat yang tidak mengikuti hukum pewarisan Mendel. Pada tahun 1901 dia menemukan mutasi sebagai mekanisme yang menghasilkan variabilitas dan menetapkannya sebagai suatu perubahan terwariskan dengan suatu mekanisme yang sangat berbeda dengan rekombinasi dan segregasi. Dia menyebut kejadian tersebut dengan istilah “mutasi” dan mempresentasikan suatu konsep integratif mengenai perubahan yang terjadi secara tiba-tiba pada suatu sifat, yang menyebabkan terbentuknya suatu spesies baru dan munculnya keragaman (Kharkwal 2012).

Konsep mutasi Hugo de Vries sebagai sumber keragaman genetik dan ide-idenya tentang potensi tanaman mutasi untuk pemuliaan tanaman, dijadikan sebagai tonggak awal teknologi mutasi dalam disiplin ilmu pemuliaan. Hugo de Vries juga mengusulkan di dalam publikasinya pada tahun 1901 dan 1903 bahwa tipe radiasi baru seperti sinar X dan Gamma yang ditemukan oleh Konrad Van Roentgen (1895), Henry Becquerel (1896), dan Pierre serta Marie Curie (1897/1898) mungkin sangat bermanfaat untuk menginduksi mutasi buatan (Kharkwal 2012).

KATEGORI MUTASI, MUTAGEN DAN INDUKSI MUTAGENESIS

Kategori Mutasi

Mutasi digambarkan sebagai perubahan tiba-tiba pada genetik makhluk hidup yang mampu menunjukkan perubahan fenotipe tanaman dan dapat diturunkan. Sebelum tahun 1950an penelitian pemuliaan berbasis pada perubahan fenotipe. Dari pertengahan tahun 1950-an dan setelahnya, mikroskopi menyediakan observasi aberrasi pada tingkat ploidi, kariotipe dan kromosom. Saat ini mutasi dapat dideteksi pada tingkat sekuens DNA. Karena sejalan dengan material genetik, mutasi dapat ditemukan pada seluruh konstitusi selular yang membawa DNA, seperti nukleus, mitokondria, dan plastid. Klasifikasi mutasi bervariasi berdasarkan metode deteksi yang digunakan yaitu:

1. Stubbe (1938) membagi mutasi menjadi tiga kelas; 1) genom, 2) plastidom (semua plastida di sitoplasma sel), dan 3) plasmon (total sistem sitoplasmik eukariotik, mitokondria dan plastida). Mutasi genom dibagi menjadi genom, kromosom dan gen.
2. Gustafsson dan Ekberg (1977) mengkategorikan mutasi menjadi: 1) mutasi genom, 2) mutasi kromosom dan, 3) mutasi ekstra nuklear
3. Auerbach (1976) mengklasifikasikan mutasi menjadi: 1) perubahan jumlah kromosom, 2) mutasi intergenik, dan 3) mutasi intragenik.
4. Harten (1998b) mengklasifikasikan mutasi menjadi; 1) mutasi inti dan luar inti, 2) mutasi spontan dan induksi, 3) mutasi makro dan mikro, 4) mutasi fenotipe.

Klasifikasi pada Tingkat Fenotipe

Keragaman muncul pada fenotipe tanaman akibat terjadinya mutasi. Mutasi fenotipe menjadi perhatian pemulia tanaman karena mutasi menunjukkan karakter tanaman yang dapat memiliki nilai ekonomi. Pemuliaan tanaman merupakan suatu proses seleksi berdasarkan fenotipe. Populasi mutasi yang besar dapat dikembangkan dan digunakan untuk penelitian pemuliaan tanaman yang dikerjakan berdasarkan fenotipe tanaman. Pada tanaman serealia, kelas mutasi yang paling umum pada penampilan fenotipe tanaman umumnya terlihat pada warna daun, tinggi tanaman, sterilitas, dan pertumbuhan.

Klasifikasi pada Tingkat Genotipe

Genom terdiri atas set-set kromosom dasar dan sering diberi simbol spesifik. Tanaman diploid diberi simbol ganda seperti untuk Barley, *Hordeum vulgare* yaitu HH. Pada beberapa spesies genom ganda menghasilkan autoploid. Beberapa spesies poliploid tersusun dari genom yang berbeda dan dikenal sebagai allotriolid. Sebagai contoh, gandum durum merupakan tetraploid dengan dua genom diploid, AA BB, dan gandum heksaploid dengan tiga genom

diploid, AA BB DD. Poliploidi menjadi mekanisme evolusi pada tanaman dan telah banyak dimanfaatkan pada beberapa spesies tanaman budi daya, seperti tebu, kapas, pisang, kacang tanah, dan kentang.

Mutasi Ploidi

Mutasi ploidi tipe defisiensi termasuk pengurangan jumlah genom, seperti barley diploid (HH) menjadi barley haploid (H). Tanaman haploid dapat menghasilkan haploid ganda sehingga menghasilkan galur homozigot, yang merupakan teknologi alternatif dalam pemuliaan dan genetika tanaman pada banyak spesies. Haploid ganda dapat diperoleh dengan menginduksi embriogenesis pada sel kultur haploid, untuk menghasilkan genom ganda. Pada beberapa spesies tanaman terdapat mekanisme alami yang dapat memacu pengurangan ploidy. Sebagai contoh, gen penginduksi haploid pada jagung dan barley meningkatkan frekuensi embrio haploid pada biji (Barret *et al.* 2008, Finch 1989). Ravi dan Chan (2010) memperoleh tanaman haploid dengan teknik eleminasi genom yang dimediasi oleh centromer.

Penambahan genome, poliploidi dengan cara duplikasi (autopolloid) atau penambahan genom (allopolloid) terjadi secara alami dalam proses evolusi spesies tanaman dan juga memungkinkan diinduksi secara buatan. Salah satu efek dari poliploidi adalah meningkatkan volume nukleus, yang juga meningkatkan ukuran sel, jaringan, dan organ tanaman.

Allopolloid memiliki tambahan genom berbeda yang mengandung gen-gen yang berbeda, untuk memperkaya keragaman gen dalam proses dan peluang meningkatkan heterosis (Lundqvist *et al.* 2012). Beberapa contoh tanaman poliploid adalah:

1. Triploid: pisang, semangka, dan apel.
2. Tetraploid: randu, kubis, gandum durum, kentang, dan tembakau.
3. Hexaploid: gandum terigu, oat, triticale, dan krisan.
4. Oktaploid : dahlia dan strawberi.

Mutasi Kromosom

Kromosom merupakan organ dalam nucleus sebagai tempat kedudukan gen-gen secara bersama-sama, yang juga dikenal sebagai kelompok pautan (*linkage group*). Kromosom memiliki dua lengan yang panjangnya seimbang atau tidak, yang bersatu pada centromer. Setiap spesies normalnya memiliki set kromosom standar yang disebut euploid. Genom dari euploid yang tidak normal diistilahkan aneuploid yang merupakan penambahan atau kehilangan satu atau lebih kromosom atau bagian kromosom. Duplikasi dan delesi, khususnya hilangnya bagian dari kromosom, tidak dapat ditoleransi oleh kebanyakan spesies diploid. Beberapa diploid mentoleransi penambahan kromosom, tetapi duplikasi tersebut sering menghilang selama proses meiosis. Pada generasi selanjutnya, aneuploid kembali ke euploid. Poliploid memiliki lebih banyak pengendali genetik dan tanaman aneuploid viable dapat diproduksi dari poliploid (Lundqvist *et al.* 2012).

Mutasi Gen

Mutasi gen dapat dibagi berdasarkan perubahan dalam jumlah dan komposisi gen, yang terdiri atas:

1. Mutasi jumlah copy gen

Jumlah copy gen (paralogus) dapat meningkat dan menurun oleh mutasi spontan atau induksi. Duplikasi suatu gen dapat terjadi pada lokus mana pun dalam genom meskipun kebanyakan terjadi pada kromosom homologus. Mutasi yang mempengaruhi jumlah copy gen dapat menurunkan atau meningkatkan ekspresi gen yang menghasilkan sifat tertentu. Perubahan dalam mutasi jumlah copy gen biasanya berasal dari suatu produk kesalahan perpasangan selama proses meosis dan rekombinasi. Namun, peristiwa mutasi yang umum adalah penurunan jumlah copy gen yang efektif, disebabkan oleh mutasi titik.

2. Mutasi tak terstruktur: perubahan pada sekuens DNA

Kategori ini melibatkan perubahan dalam sekuens pasangan basa dari DNA. Mutasi juga disebabkan oleh perubahan pada daerah yang tidak dikodekan (*non coding region*) seperti promoter, intron, heterokromatin dan DNA repetitif. Mutasi gen nonstruktural yang umum terjadi adalah sebagai berikut:

- a. **Mutasi titik:** umumnya diakibatkan oleh mutagen kimia. Mutasi ini melibatkan perubahan basa tunggal dan dapat menghasilkan kodon missense (kode untuk asam amino yang berbeda), silent (diam, tidak ada perubahan asam amino), dan nonsense (kodon asam amino berubah). Mutasi titik juga dikenal sebagai subsitusi basa tunggal, yang berkontribusi terhadap polimorfisme nukleotida tunggal (SNP), **insersi dan delesi** satu atau lebih nukleotida. Penggabungan keduanya disebut InDel, dapat menghasilkan perubahan kodon dan frameshift pada codon reading frame dengan efek kuantitatif dan kualitatif pada produksi protein. Mutasi pada daerah spesifik gen, seperti promoter, daerah pengkodean, stop, intron dan sekuens 3' yang tidak ditranslasi, **insersi transposon**, juga dikenal sebagai mutagenesis insersi. Transponson merupakan sekuens DNA yang dapat berpindah, masuk atau keluar dari kromosom. Biasanya transposon aktif karena stres lingkungan dan aktivitasnya dapat mematikan atau mengaktifkan gen dengan masuk ke dalam gen.
- b. **Mimik mutasi:** Keadaaan lingkungan tumbuh yang tidak teratur dari proses fisiologi yang beragam dapat menghasilkan mutan fenotipik. Namun hal ini bukan bersifat genetik dan dapat dibedakan dari mutasi sebenarnya dengan tidak adanya pewarisan sifat kepada keturunannya. Banyak efek epigenetik yang kurang dipahami dan istilah tersebut digunakan untuk banyak penyimpangan fisiologi yang disebabkan faktor lain yang bukan genetik. Untuk memberikan pemahaman yang baik tentang hal tersebut adalah metilasi DNA yang dapat mengganggu ekspresi gen normal. Metilasi merupakan penyimpangan yang umum terjadi pada DNA tanaman yang dibiakkan dalam kultur jaringan. Beberapa perubahan epigenetik dapat diwariskan pada saat pola metilasi tidak secara sempurna diperbaiki di gamet dan setelah fertilisasi.

Jenis Mutagen

Banyak jenis mutagen yang dapat digunakan dalam menghasilkan keragaman atau menimbulkan mutasi induksi pada tanaman. Namun secara garis besar, jenis mutagen tersebut dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok besar, yaitu mutagen fisik (agen fisik) dan mutagen kimia (agen kimia). Kedua jenis mutagen tersebut tidak hanya berbeda dari segi bahan bakunya, namun juga memiliki efek yang berbeda.

Mutagen Fisik

Mutagen fisik dapat menyebabkan kerusakan pada molekul-molekul DNA organisme hidup. Di awal abad ke-20, penemuan kembali hasil penelitian Gregor Mendel yang dikenal sebagai genetika Mendel, sangat dekat dengan pemahaman teori bahwa mutasi, perubahan terwariskan, dan menyusun suatu individu dapat diinduksi. Mutasi induksi dapat berupa mutasi mimik spontan, yang mengendalikan evolusi dan spesiasi. Kebanyakan mutagen fisik adalah radiasi ionisasi dan telah digunakan secara luas untuk menginduksi penyimpangan hereditas dan lebih dari 70% mutan dikembangkan dari mutagenesis fisik.

Tipe dan Efek Radiasi Mutagenik

Radiasi didefinisikan sebagai energi yang berpindah dalam bentuk gelombang atau partikel. Radiasi dibagi menjadi dua kategori, yaitu radiasi elektromagnetik dan korpuskular, untuk membedakan jenis radiasi partikel dan gelombang. Radiasi elektromagnetik diklasifikasikan lebih lanjut berdasarkan sumbernya dan yang paling membedakan adalah jumlah energi yang terlibat, frekuensi dan sumbernya. Mutagen fisik yang dimaksud adalah sinar X, sinar gamma, neutron, partikel beta, partikel alfa dan proton atau deuteron. Tipe mutagen fisik, sumber, deskripsi, energi dan daya tembus disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1.Tipe mutagen fisik, sumber, deskripsi, energi dan daya tembus.

Tipe radiasi	Sumber	Deskripsi	Energi	Daya tembus
Sinar X	Mesin sinar X	Radiasi elektromagnetik	50-300 kV	Beberapa mm sampai banyak cm
Sinar gamma	Radioisotop dan reaksi nuklir	Radiasi elektromagnetik	Sampai beberapa MeV	Banyak cm
Neutron	Reaktor nuklir dan aselerator	Partikel tidak berubah	Kurang dari 1 sampai berjuta eV	Banyak cm
Partikel beta	Radioisotop atau aselerator	Berupa elektron	Sampai beberapa MeV	Sampai beberapa mm
Partikel alfa	Radioisotop	Inti helium	2-9 mm	Sedikit mm
Proton atau deuteron	Reaktor nuklir atau aselerator	Inti hidrogen	Sampai beberapa GeV	Sampai banyak cm

Sumber: IAEA (1977).

Radiasi Ionisasi dan Nonionisasi

Berdasarkan kapasitasnya untuk menghasilkan ion, radiasi dibagi menjadi radiasi ionisasi dan non-ionisasi. Radiasi non-ionisasi kuat mempengaruhi atom, namun tidak cukup kuat mempengaruhi strukturnya. Sebaliknya, radiasi ionisasi memiliki energi yang cukup untuk secara langsung mempengaruhi struktur atom dan material, termasuk makhluk hidup. Istilah ionisasi muncul dari fakta bahwa ketika bentuk radiasi melalui suatu jaringan, selalu ada kecendrungan untuk mengeksitasi suatu elektron dari orbitnya di sekitar nukleus, sehingga menghasilkan ion sebagai proton yang terionisasi.

Untuk memahami cara kerja mutagen fisik yang berbeda, pengetahuan peran sentral atom diperlukan. Semua zat terdiri atas atom, terutama ruang. Tiga partikel atom adalah proton, neutron, dan elektron. Di tengah atom adalah neutron dan proton yang sangat kuat ikatannya dan bermuatan positif, sedangkan elektron bermuatan negatif dan berada pada orbit nukleus. Jumlah proton dalam nukleus unik dan menentukan elemen atom tersebut. Sebagai contoh, jika suatu nukleus mengandung delapan proton, maka atom tersebut adalah oksigen, dan jika mengandung 17 proton, atom tersebut adalah klorin. Jumlah neutron dalam nukleus seluruh atom dari zat tertentu tidak pasti.

Laju dosis dan satuan dosis bergantung dari besarnya aktivitas jenis radioisotop sebagai sumber pengion, salah satu contoh yang paling sering digunakan adalah Co⁶⁰, yaitu radioisotop yang memancarkan sinar gamma. Makin tinggi aktivitas Co⁶⁰ makin tinggi laju dosisnya. Laju dosis adalah jumlah dosis terserap per satuan waktu (rad/detik atau Gy/detik). Satuan dosis terserap adalah rad atau gray (Gy) misalnya 1 rad = 100 erg/g materi, 1 Gy = 100 rad = 1 joule/kg materi. Pengaruh laju dosis pada pemuliaan mutasi masih belum ada kesamaan pendapat. Laju dosis, satuan dosis dan lamanya penyinaran sinar gamma disajikan pada Tabel 2.

Terdapat beberapa teknik meradiasi dalam pemuliaan mutasi dengan menggunakan mutagen fisik, yaitu **radiasi akut**, teknik meiradiasi dengan laju dosis yang tinggi sehingga waktu iradiasi hanya dalam hitungan detik, menit atau beberapa jam. **Radiasi kronik** adalah teknik meiradiasi dengan laju dosis yang rendah atau sangat rendah, sehingga waktu meiradiasi dapat berhari-hari, berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun. Teknik ini hanya dapat dilakukan bila ada kebum gamma. **Radiasi berulang** adalah teknik meiradiasi dengan berulang 2-3 kali dengan dosis yang sama pada materi pemuliaan yang sama dengan selang waktu yang sama atau berbeda. **Radiasi bertahap** adalah teknik meiradiasi berulang yang dosisnya makin lama makin tinggi atau makin rendah. Dengan teknik meiradiasi bertahap ini, materi pemuliaan dapat menerima dosis iradiasi yang lebih tinggi daripada dosis iradiasi tunggal.

Tabel 2. Laju dosis iradiasi sinar gamma pada bulan Mei 2009 dengan aktivitas 1046,16976 ci.

Rad	Gy	Menit	Detik
1	10	-	43
2	20	1	26
3	30	2	9
4	40	3	12
5	50	3	35
6	60	4	18
7	70	5	1
8	80	6	44
9	90	6	27
10	100	7	10
15	150	10	45
20	200	14	20
25	250	17	55
30	300	21	30
35	350	25	5
40	400	28	40
50	500	35	50
60	600	43	0
70	700	50	10
80	800	57	20
90	900	64	30
100	1000	71	40
150	1500	107	50
200	2000	143	20
250	2500	179	10
300	3000	215	0
350	3500	250	50
400	4000	286	40
450	4500	322	30
500	5000	358	20
600	6000	430	0
700	7000	501	40
800	8000	573	20

Sumber: PATIR BATAN (2009).

Mutagen Kimia

Mutagen kimia adalah senyawa kimia yang dapat menimbulkan mutasi. Senyawa kimia mudah terurai, membentuk radikal yang aktif, dan dapat bereaksi dengan asam amino dalam DNA sehingga terjadi perubahan genetik. Jenis mutagen kimia yang sering digunakan dalam pemuliaan mutasi tanaman adalah EMS (Ethylene methane sulphonat), dES (diethyl sulphate), EI (ethyleneimine), ENU (ethyl nitroso urethane), ENH (ethyl nitroso urea), NMU (Nitroso methyl Urea), MNH (methyl nitroso urea), dan NTG (Nitrosoguanidine).

Dosis mutagen kimia

Dosis perlakuan dengan mutagen kimia sebenarnya sama dengan dosis pada perlakuan dengan radiasi fisik atau pengion yaitu ditentukan oleh konsentrasi mutagen kimia dalam larutan dan lama perlakuan. Terdapat tiga faktor yang berpengaruh terhadap hasil perlakuan dengan mutagen kimia, yaitu **konsentrasi** dengan menggunakan mutagen kimia bertanda (^{14}C -EMS²²atau ^{14}C -MMS²²), lama perlakuan, dan suhu. Penyerapan mutagen kimia dalam biji mengikuti hukum difusi selama konsentrasi mutagen lebih tinggi dari konsentrasi cairan dalam sel biji, **Lama perlakuan** adalah lama perendaman larutan mutagen kimia terkait dengan konsentrasi suhu waktu perlakuan dan kondisi fisiologis biji. **Suhu** erat kaitannya dengan waktu paruh mutagen kimia. Suhu ruang tempat perlakuan disarankan 20–25°C, sebab pada suhu ini mutagen tidak cepat terhidrolisis sehingga perlakuan dapat lebih lama berlangsung.

Objek Pelakuan Mutagen

Objek perlakuan mutasi baik menggunakan mutagen fisik (pengion) maupun mutagen kimia, materi pemuliaan mutasi dapat berupa tanaman, biji/benih, tepung sari, jaringan maristem (umbi, stek, tunas, stolon), dan sel/kultur jaringan/kallus. Objek perlakuan mutagen fisik memiliki perbedaan radiosensitivitas yang besar dari setiap bagian tanaman, bergantung pada kondisi fisiologis bagian yang diperlakukan. Objek perlakuan mutagen kimia pada umumnya berupa biji atau benih dengan merendam ke dalam larutan mutagen kimia lalu mengocok, mencuci dan menanamnya. Bagian tanaman yang lain seperti tunas, stek, tanaman dan bagian tanaman lain dapat ditumbuhkan, sukar diperlakukan dengan mutagen kimia dan hasilnya sering kurang memuaskan. Oleh karena itu, penggunaan mutagen kimia pada tanaman yang membiak vegetatif kurang dianjurkan.

APLIKASI TEKNOLOGI MUTASI PADA PEMULIAAN TANAMAN GANDUM

Pemuliaan mutasi dimulai sejak ditemukannya sinar X, gamma dan neutron 100an tahun yang lalu dan menjadi alternatif teknologi dalam perbaikan sifat utama tanaman (Ahloowalia 2001). Semula, pemulia tanaman menganggap bahwa mutasi induksi merupakan teknik pemuliaan yang kurang meyakinkan. Namun, seiring dengan berkembangnya bioteknologi, keberhasilan regenerasi sel berdasarkan teori *totipotensi sel*, dan terbentuknya variasi somaklonal, mutasi induksi merupakan alternatif teknik pemuliaan tanaman yang menjanjikan.

Penerapan mutasi induksi di Indonesia dimulai pada tahun 1967 setelah berdirinya instalasi sinar Co 60 di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi. Program pemuliaan mutasi secara intensif dimulai pada tahun 1972 dengan bantuan teknik dari International Atomic Energy Agency (IAEA) yang berpusat di Wina

(Hendratno dan Mugiono 1996). Prioritas kegiatan diarahkan pada perbaikan varietas padi, yakni umur genjah, tahan patogen, toleran kekeringan, dan kualitas beras yang disenangi konsumen.

Pemuliaan mutasi pada gandum di laboratorium Brookhaven National, Upton New York, Amerika Serikat, menggunakan biji gandum kadar air 11% dan sinar X dengan dosis 150-250 Gy sinar-X atau $8,38 \times 10^{12}$ Nth/cm² Nth. Turunan M₂ dianalisis secara kimia dan fisika, dan menghasilkan beberapa mutan yang berbeda sifat khlorofilnya (Mugnozza *et al.* 1993). Perbaikan sifat gandum menggunakan iradiasi sinar gamma telah berhasil di beberapa negara, diantaranya Argentina (1 mutan), Chili (1 mutan), Cina (124 mutan), Bulgaria (2 mutan), Finlandia (1 mutan), Jepang (2 mutan), Jerman (2 mutan), Rusia (36 mutan), India (4 mutan), Hongaria (1 mutan), Irak (60 mutan), Italia (2 mutan), Swiss (1 mutan), Mongolia (3 mutan), Amerikan (3 mutan) dan Pakistan (6 mutan). Mutan gandum yang pertama tahun 1966 terhadap biji dengan iradiasi sinar X, J, α , laser, neutron cepat, EI, MNH dan sinar gamma meningkatkan produksi, umur genjah, toleran suhu dingin, tahan patogen, tahan rebah, lebih keras dan kualitas biji lebih baik (Cheng *et al.* 1990, Vrinten *et al.* 1999).

Mekanisme Pewarisan Gen Mutasi

Perlakuan dengan mutagen fisik (pengion) maupun mutagen kimia dapat menyebabkan mutasi karena secara langsung bereaksi dengan DNA. DNA merupakan polimer dari nukleotida yang terkait antara satu dengan yang lain melewati kelompok fosfat. Dalam struktur model DNA terdapat ikatan fosfat-gula (-P-S-P-S-) sebagai tulang punggung dan ikatan adenin – timin (A-T) dan guanin-sitosin (G-S) sebagai rantai nukleotida. Akibat mutagen dapat terjadi kesalahan penerjemahan pada rantai nukleotida sehingga terjadinya mutasi. Akibat kesalahan penerjemahan pada rantai nukleotida, atau terjadinya pemutusan kromosom menyebabkan peningkatan keragaman genetik pada individu turunan. Berdasarkan penelitian Manjaya dan Nandanwar (2007), dengan dosis penyinaran sinar gamma 250 Gy berhasil menginduksi terjadinya mutasi dan menyebabkan terjadinya keragaman genetik pada kedelai cv JS 80-21. Dosis iradiasi optimal berbeda untuk tiap kultivar kedelai yang ada.

Generasi keturunan tanaman mutan yang diperlakukan dengan mutagen disimbolkan dengan M₁, M₂, M₃, dan seterusnya untuk membedakan dengan generasi hibridisasi yang disimbolkan dengan F₁, F₂, F₃ dan seterusnya. Hanya mutan gen dominan yang terekspresikan pada generasi M₁. Mutasi pada sel somatik akan membentuk jaringan kimera, yaitu keturunan sel-sel mutan dan sel-sel normal akan membentuk jaringan genotipe dengan susunan berbeda. Tanaman M₁ biasanya bersifat kimerik, melalui pertumbuhan tanaman M₁, kesempatan kompetisi antara mutan dan nonmutan terjadi (Nasir 2002).

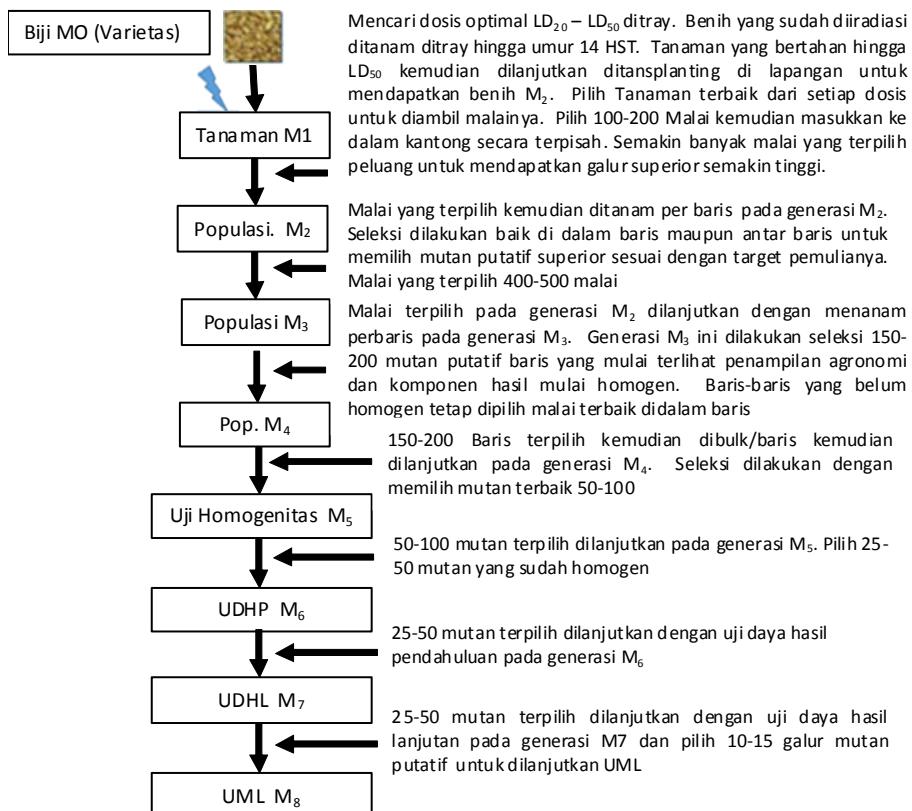
Aplikasi Teknologi Iradiasi Sinar Gamma pada Pemuliaan Mutasi Gandum Tropis

Upaya perbaikan sifat dan peningkatan keragaman genetik tanaman gandum di Indonesia selama ini hanya bertumpu pada introduksi galur-galur homosigot atau yang telah dilepas sebagai varietas di negara tertentu. Gandum pada dasarnya merupakan tanaman subtropik yang diupayakan untuk dikembangkan di daerah tropik, khususnya di Indonesia. Hal ini menjadi alasan rendahnya keragaman genetik tanaman gandum di Indonesia. Peningkatan keragaman genetik tanaman gandum yang telah diintroduksi dapat dilakukan melalui hibridisasi dan mutasi. Pada umumnya mutagen fisik dapat menyebabkan mutasi pada tahap kromosom, sedangkan mutagen kimia umumnya menyebabkan mutasi pada tahapan gen atau basa nitrogen (Aisyah 2006).

Perbaikan genetik gandum tropis melalui program pemuliaan telah berjalan dan memperlihatkan hasil yang cukup baik, berasal dari pemuliaan melalui persilangan dan pemuliaan mutasi (mutasi biji dan variasi somaklonal) (Nur *et al.* 2013a).

Pemuliaan gandum tropis dengan teknik mutasi berpeluang meningkatkan keragaman genetik dan diharapkan mampu meningkatkan potensi genetik gandum. Faktor yang mendukung keberhasilan perakitan gandum tropis toleran suhu tinggi dan berdaya hasil tinggi adalah: (1) adanya keragaman genetik yang luas; (2) respon dan mekanisme toleransi gandum terhadap lingkungan berelevasi rendah diketahui dengan jelas; (3) metode rekombinasi genetik yang tepat; (4) populasi bersegregasi; (5) metode seleksi yang tepat dalam mengidentifikasi genotipe yang diharapkan.

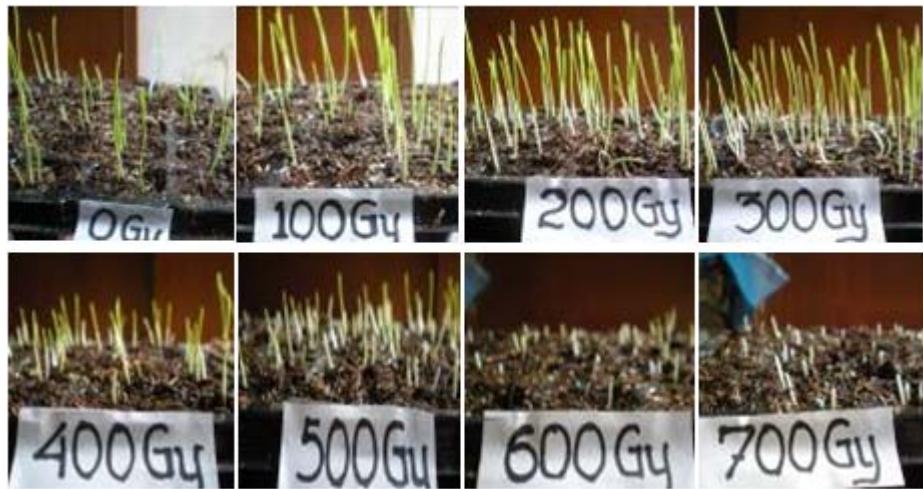
Pemuliaan mutasi gandum tropis menggunakan mutagen iradiasi sinar gamma telah diaplikasikan di Indonesia sejak tahun 1983 oleh Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN- PATIR). Dr. Knut Mikaelson, pakar pemuliaan mutasi dari Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA), memperkenalkan benih dua varietas gandum tropis asal CIMMYT Meksiko, yaitu *Sonalika* dan *SA-75* yang telah diirradiasi. Namun saat ini terbatas untuk mendapatkan galur-galur mutan dengan daya hasil tinggi pada ketinggian > 1.000 m dpl. Dengan perlakuan mutagen iradiasi sinar gamma menghasilkan beberapa galur mutan dan satu varietas yang dilepas pada tahun 2013 dari galur mutan CBD-17 dengan nama varietas Ganesha. Penelitian mutasi gandum tropis sejak tahun 2009 diarahkan untuk mendapatkan galur-galur mutan potensial yang beradaptasi pada dataran yang lebih rendah dan toleran suhu tinggi. Penelitian pemuliaan mutasi dengan mutagen iradiasi sinar gamma diawali dengan mempelajari respons atau sensitivitas tanaman gandum terhadap iradiasi gamma untuk tujuan pemuliaan mutasi tanaman lebih lanjut (Gambar 2). Hasil penelitian menyimpulkan bahwa dosis optimal iradiasi gamma dalam pemuliaan gandum berkisar antara 200-350 Gy (Soeranto 1997, Soeranto *et al.* 2002). Dosis optimal adalah dosis iradiasi gamma yang dapat menimbulkan keragaman genetik tertinggi pada generasi kedua setelah perlakuan iradiasi (M2). Tahapan pemuliaan mutasi pada biji



Gambar 1. Tahapan pemuliaan mutasi melalui biji gandum menggunakan mutagen iradiasi sinar gamma (Nur 2013).

gandum menggunakan mutagen iradiasi sinar gamma disajikan pada Gambar 1.

Dari penelitian yang sama diketahui dosis iradiasi sinar gamma 0–700 gy memperlihatkan daya kecambahan yang lebih baik pada dosis 100 gy, 200 gy dan 300 gy dibanding kontrol (tidak diiradiasi sinar gamma) (Gambar 2). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan iradiasi dengan dosis rendah dapat memperbaiki perkecambahan benih dan menstimulasi perkecambahan gandum dan barley (Sheppard 1986a, Sheppard 1987b). Penelitian lainnya menggunakan dosis dengan kisaran 1-4 krad juga memberikan hasil yang sama, yaitu menstimulasi perkecambahan gandum dan barley, dimana daya berkecambahan menurun dengan meningkatnya dosis radiasi. Kecenderungan yang sama juga ditunjukkan oleh karakter tinggi bibit (Khanna 1986). Dosis 400 dan 500 gy memperlihatkan pertumbuhan kecambahan gandum mulai menurun dan pada umur 30 HST tidak memperlihatkan perkembangan yang lebih baik (Nur 2013).



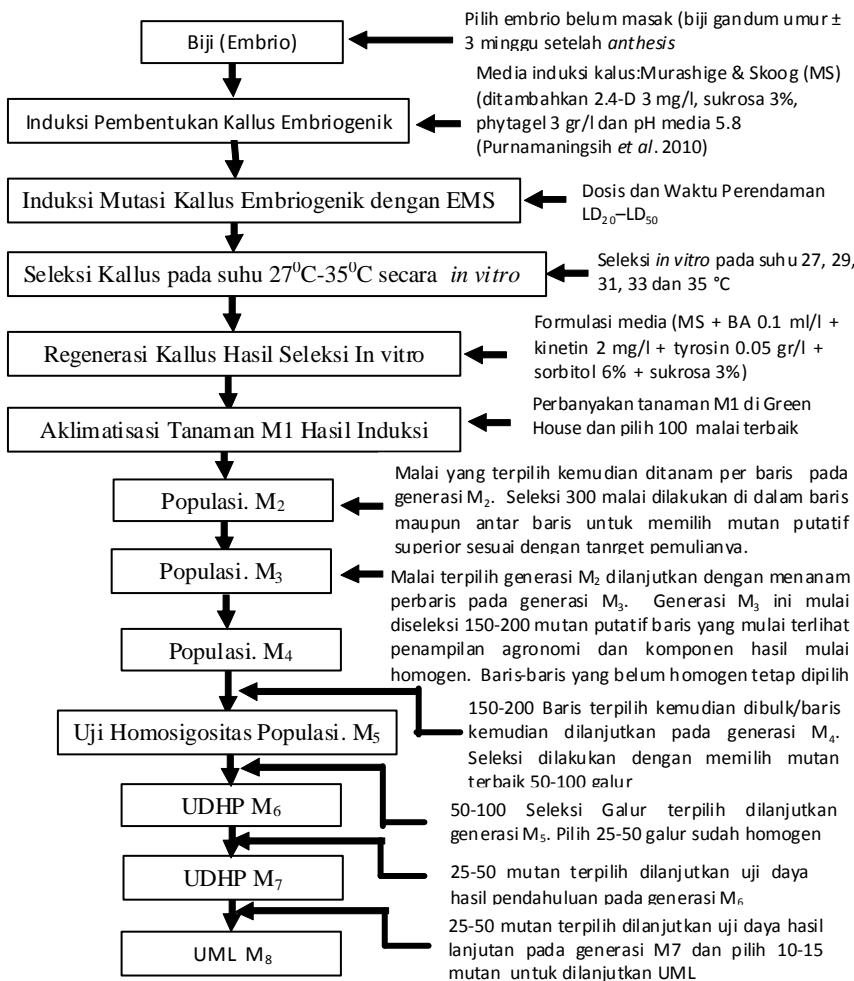
Gambar 2. Laju perkecambahan biji gandum dengan dosis irradiasi sinar gamma 0-700 gy.

Aplikasi Pemuliaan Mutasi Gandum Tropis Melalui Variasi Somaklonal.

Proses mutasi alami (spontan) biasanya sangat jarang dengan frekuensi 10-6-10-7 sehingga perlu mutagen untuk menginduksi frekuensi dan kecepatan mutasi tanaman. Salah satu mutagen yang paling potensial, efektif, dan banyak digunakan pada berbagai jenis organisme mulai dari virus sampai mamalia adalah mutagen kimia EMS (Ethylene methane sulphonat) (Chopra 2005, Medina *et al.* 2005, Sega 1984). EMS sering digunakan dalam penelitian karena mudah diperoleh, murah, dan tidak bersifat mutagenik setelah terhidrolisis (Natarajan 2005). EMS pada umumnya menyebabkan mutasi titik yaitu terjadinya delesi pasangan basa tertentu dalam kromosom. Senyawa EMS merupakan senyawa alkali yang efektif sebagai mutagen untuk tanaman tingkat tinggi (Greene *et al.* 2003) dan dapat mengubah lokus tertentu tanpa menginduksi sejumlah besar mutasi yang terpaut dengan lokus tersebut. Tahapan pemuliaan mutasi gandum dengan variasi somaklonal dengan mutagen kimia EMS (Ethylene methane sulphonat) disajikan pada Gambar 3.

Keragaman somaklonal adalah keragaman genetik yang dihasilkan melalui kultur jaringan (Scowcroft 1985). Menurut Wattimena (1992), keragaman somaklonal berasal dari keragaman genetik eksplan dan terjadi dalam kultur jaringan. Keragaman pada eksplan disebabkan oleh adanya sel-sel bermutasi maupun polisomik dari jaringan tertentu. Keragaman genetik yang terjadi dalam kultur jaringan disebabkan oleh penggandaan kromosom (fusi endomitosis), perubahan struktur kromosom (pindah silang), perubahan gen dan sitoplasma (Evans and Sharp 1986, Ahlowalia 1986).

Keragaman somaklonal merupakan mutasi *in vitro* yang dapat ditingkatkan frekuensi mutan somaklon melalui pemberian mutagen fisik (Ahlowalia and Maluszynski 2001). Penggunaan mutagen fisik seperti iradiasi sinar gamma pada



Gambar 3. Tahapan pemuliaan mutasi gandum dengan variasi somaklonal dengan mutagen EMS.

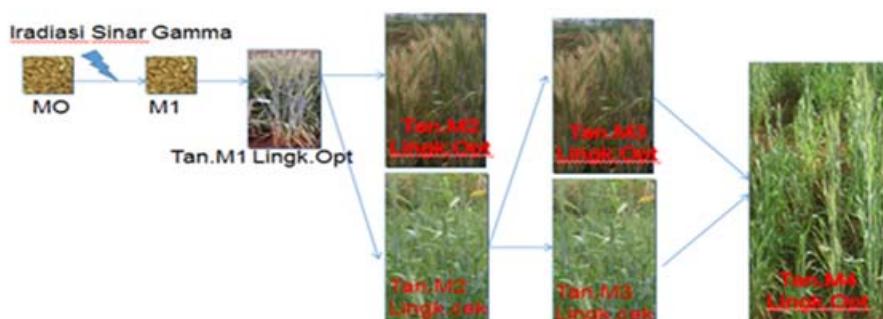
kultur *in vitro* telah dilaporkan penggunaannya dalam upaya mendapatkan keragaman somaklon dengan berbagai karakter unggul yang diinginkan (Ahloowalia 1990). Iradiasi sinar gamma dilakukan pada sel-sel yang masih aktif membelah seperti kalus karena sensitif terhadap iradiasi sinar gamma. Pemberian iradiasi sinar gamma dengan dosis 10-100 Gy pada kalus dapat meningkatkan keragaman somaklonal (Harten 1998).

Perbaikan Genetik Gandum dengan Metode *Shuttle Breeding*

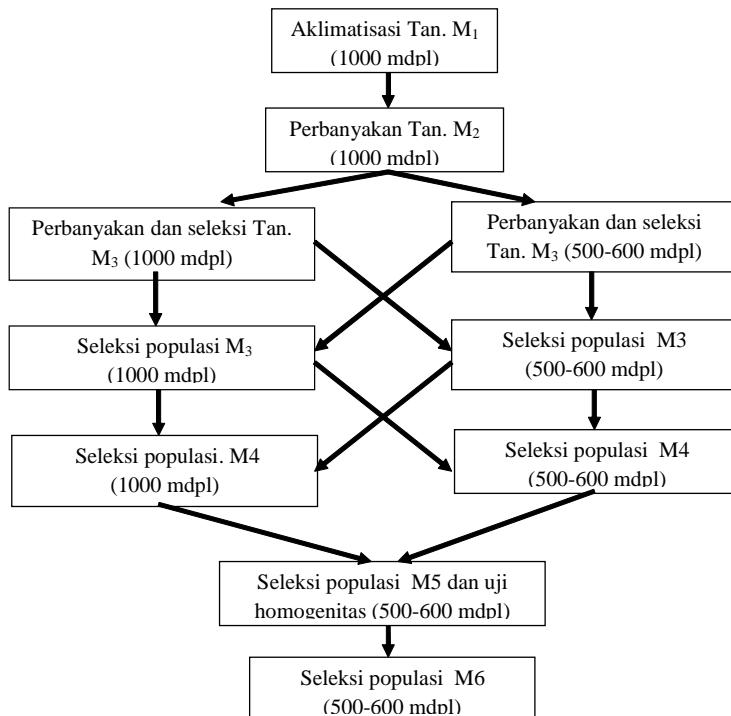
Pemuliaan dengan teknik mutasi dapat digabungkan dengan metode ***shuttle breeding***, yang merupakan salah satu metode dalam program pemuliaan tanaman yang bertujuan untuk merakit varietas tanaman pada lingkungan dengan cekaman biotik maupun abiotik pada wilayah yang luas. Metode ini pada awalnya dikembangkan antarinstansi. Penelitian sejumlah materi genetik yang mempunyai potensi mengatasi masalah dikirim ke suatu wilayah, kemudian dievaluasi secara sistematis dengan melibatkan berbagai pihak. Materi genetik yang mampu bertahan dalam lingkungan seleksi selanjutnya dikembangkan, sedangkan materi genetik lainnya dikembalikan ke institusi penyelenggara pemuliaan untuk keperluan perbaikan genetik. Materi genetik yang telah diperbaiki dikirimkan kembali ke wilayah bermasalah untuk mengetahui respons seleksi tahap lanjut. Proses tersebut dapat terjadi berulang-ulang hingga diperoleh satu atau dua materi genetik yang mantap untuk mengatasi suatu masalah. Tahapan seleksi pemuliaan mutasi menggunakan biji dan variasi somaklonal dengan mutagen iradiasi sinar gamma melalui metode *shuttle breeding* disajikan pada Gambar 4 dan 5.

Kelebihan metode *shuttle breeding* dalam merakit varietas untuk lingkungan dengan cekaman tertentu menghasilkan materi genetik yang dapat digunakan dan dipertahankan jika salah satu lingkungan (cekaman sangat tinggi) menyebabkan materi genetik mati dan lingkungan optimal digunakan sebagai *backup* materi genetik. Seleksi langsung pada lingkungan dengan cekaman tertentu berpotensi memaksimalkan ekspresi gen-gen yang dapat mengendalikan daya hasil maupun daya adaptasi tanaman terhadap cekaman lingkungan (Ceccarelli *et al.* 2007).

Kegiatan *shuttle breeding* menggunakan materi generasi awal dari program pemuliaan. Seleksi tahap pertama dilakukan oleh pemulia untuk memilih individu tanaman atau sekelompok tanaman yang memiliki karakter unggul berdasarkan penilaian tertentu. Seleksi selanjutnya dilaksanakan berdasarkan cekaman pada



Gambar 4. Tahapan seleksi pemuliaan mutasi menggunakan biji gandum dengan mutagen iradiasi sinar gamma melalui metode *shuttle breeding* (Nur 2015).



Gambar 5. Tahapan seleksi pemuliaan mutasi variasi somaklonal dengan mutagen irradiasi sinar gamma melalui metode *shuttle breeding*.

lingkungan target. Seleksi generasi selanjutnya dilakukan dengan mengembalikan individu pada lingkungan optimal yang bertujuan untuk perbanyak benih untuk seleksi yang lebih luas. Hal ini dilakukan berulang-ulang hingga didapatkan materi genetik yang betul-betul toleran terhadap lingkungan bercekaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahloowalia, B.S. 1990. In vitro radiation induced mutagenesis in potato. Kluwer Acad Pub. Dordrechi. p. 39-46.
- Ahloowalia, B.S. 1986. Limitations to the use of somaclonal variation in crop improvement. p. 14-27. In: J. Serial (Eds). Somaclonal variation and crop improvement. Martinus Nijhoff Publisher. USA.
- Ahlowalia, B.S. and M. Maluszynski. 2001. Induced mutation A new paradigm in plant breeding. Euphytica 118:167-173.
- Aisyah, I.S. 2006. Induksi mutagen fisik pada anyelir (*Dianthus caryophyllus* Linn.) dan pengujian stabilitas mutannya yang diperbanyak secara vegetatif [Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor. Bogor. 195 hal.

- Auerbach, C. 1976. Mutation Research. Problems, Results and Perspectives. London: Chapman and Hall.
- Barret, P., M. Brinkmann, and M. Beckert. 2008. A major locus expressed in the male gametophyte with incomplete penetrance is responsible for in situ gynogenesis in maize. *Theoretical and Applied Genetics* 117:581-594.
- Ceccarelli, S., Erskine, Humblin, and Brando. 2007. Genotype by environment interaction and international breeding program. <http://www.icrisat.com> [2 juni 2012].
- Cheng, X.Y., M.W. Gao, Z.Q. Liang, and K.Z. Liu. 1990. Effect of mutagenic treatments on somaclonal variation in wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Breeding* 105:47-52.
- Chopra, V. 2005. Mutagenesis: Investigating the process and processing the outcome for crop improvement. *Current Sci.* 89:353-359.
- Evans, D.A. and W.R. Sharp. 1986. Somaclonal and gametoclonal. In: Evans, D.A., W.R. Sharp, and P.V. Ammirato (Eds.). Hand Book of Plant Cell Culture. Vol. 4 Mc. Miilan Publ. Co., New York. p. 87-132.
- Finch, R.A. 1989. The hap gene causes facultative pseudogamy in barley. *Barley Genetics Newsletter* 13:4-6.
- Greene, E.A., C.A. Codomo, N.E. Taylor, J.G. Henijoff, B.J. Till, S.H. Reynolds, L.C. Enns, C. Burtner, J.E. Johnson, A.R. Odden, L. Comal, and S. Henikoff. 2003. Spectrum of chemically induced mutations from a large-scale reverse- genetics screen in *Arabidopsis*. *Genetics* 164:731-740.
- Gustafsson, A. and I. Ekberg. 1977. Types of mutation. Manual on mutation breeding. Technical reports no.119. Vienna: IAEA. p.107-123.
- Harten, A.M.V. 1998a. Mutation Breeding Theory and Practical Applications. Cambridge University Press.
- Harten, A.M.V. 1998b. Nature and types of mutations. *Mutation Breeding. Theory and Practical applications*. Cambridge: Cambridge University Press. p.64-110.
- Hendratno and Mugiono. 1996. Present status of plant mutation breeding in Indonesia Plan Mutation breeding in Asia. Proc. Oh Plant Mutation Breeding Seminar. Beijing. p. 21-37.
- Khanna, V.K. 1986. Effect of gamma radiation on seedling growth and cell division in wheat and Triticale. *Acta Bot. Lndica.* 14:43-49.
- Kharkwal, M.C. 2012. A brief history of plant mutagenesis. *Plant Mutation Breeding and Biotechnology*. Joint FAO/IAEA Programme. British Library, London, UK.
- Lundqvist, U., J.D. Franckowiak, and B.P. Forster. 2012. Mutation Categories. *Plant Mutation Breeding and Biotechnology*. Joint FAO/IAEA Programme. British Library, London, UK.
- Manjaya, J.G. and R.S. Nandanwar. 2007. Genetic improvement to soybean variety JS 80-21 through induced mutations. *Plant Mutation Reports* 1(3):36-40.
- Medina, F.I.S., E. Amano, and S. Tano. 2005. Mutation Breeding Manual. Japan. Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA).
- Miflin, B. 2000. Crop improvement in the 21st century. *J Exp Bot* 51:1-8.
- Mugnozza, G.T.S., F.D. Amato, S. Avanzi, D. Bagnara, M.C. Belli, A. Bozzimi, A. Brunori, T. Cervigni, M. Devreux, B. Donini, B. Giorgi, G. Martoni, L.M. Monti, E. Moschini, and C. Mosconi. 1993. Mutation breeding for durum wheat (*Triticum aurgidum sp*). Durum improvement in Italy. *Mutation Breeding Rev.* 10:1-28.

- Nasir, M. 2002. Bioteknologi molekuler: teknik rekayasa genetik tanaman. Penerbit P.T Citra Aditya Bakti. Bandung.
- Natarajan, A.T. 2005. Chemical mutagenesis from plants to human. Curr. Sci. 89:312-317.
- Nur, A. 2015. Perbaikan genetik gandum tropis toleran suhu tinggi dan permasalahan pengembangannya pada dataran rendah. Jurnal penelitian dan pengembangan pertanian 34(1):19-30.
- Nur, A., M. Azrai, H. Subagio, H. Soeranto, Ragapadmi, Sustiprajitno dan Trikoesermaningtyas. 2013a. Perkembangan Pemuliaan Gandum Di Indonesia. Jurnal Inovasi Teknologi Pertanian 8(2): 97-105.
- Nur A. 2013b. Adaptasi Tanaman Gandum (*Triticum aestivum* L.) Toleran Suhu Tinggi Dan Peningkatan Keragaman Genetik Melalui Induksi Mutasi Dengan Menggunakan Iradiasi Sinar Gamma[Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Purnamaningsih, R., I. Mariska, dan E. Gati. 2010. Perakitan gandum adaptif daerah tropis melalui keragaman somaklonal dan seleksi in vitro. Laporan Hasil Penelitian Konsorsium Gandum. p. 21.
- Ravi, M. and S.W.L Chan. 2010. Haploid plants produced by centromere-mediated genome elimination. Nature. 464:615-619.
- Scowcroft, W.R., S.A. Ryan, R.L.S. Brettle, and P.J. Larkin. 1985. Somaclonal variation in crop improvement. Proc. Inter-Centre Seminar on International Agricultural Research Centre (IARCs) and Biotechnology. Biotechnology in International Agricultural Research. Los Banos Manila. April 23-27, 1984. p. 99-109.
- Sega, G.A. 1984. A review of the genetic effects of ethylmethanesulfonate. Mutat Res 134(2-3):113-142.
- Sheppard, S.C. and W.G. Evenden. 1986a. Factors controlling the response of field crops to very low doses of gamma radiation of the seed. Canad. J Plant Sci. 66:431-441.
- Sheppard, S.C. and P.J. Regiting. 1987b. Plant effects: factors controlling the hormesis response in irradiated seed. Health Phys. 52:599-605.
- Soeranto, H., Carkum, dan Sihono. 2002. Perbaikan varietas tanaman gandum melalui pemuliaan mutasi. Makalah Pertemuan Koordinasi Penelitian dan Pengembangan Gandum. Direktorat Serealia DEPTAN, 3-4 Sept 2002.
- Soeranto, H. 1997. Perbaikan adaptasi tanaman gandum tropis melalui program pemuliaan mutasi induksi. Prosiding Simposium dan Kongres III PERIPPI Bandung, 24-25 Sep. 1997. ISBN 979-95503-0-0.
- Stubbe, H. 1938. Genmutation I. Allgemeiner Teil. Handbuch der Vererbungswissenschaft. Band II F. Berlin: Verlag von Gebrüder Bornträger.
- Vrinten, P., T. Nakamura, and M. Yamamori. 1999. Molecular characterization of waxy mutations in wheat. Mol. Gen Genet. 261:463-471.
- Wattimena, G.A. 1992. Bioteknologi Tanaman. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Pusat Antar Universitas IPB. Bogor. p. 308.

Pengelolaan Benih Gandum

Ramlah Arief, Oom Komalasari, dan Fauziah Koes
Balai Penelitian Tanaman Serealia

PENDAHULUAN

Gandum (*Triticum aestivum L*) berperan sebagai sumber pangan di beberapa belahan dunia. Pada tahun 2010, produksi gandum dunia 651 juta ton, sehingga merupakan tanaman sereal ketiga setelah jagung (844 juta ton) dan beras (672 juta ton) (Farmers Weekly 2010).

Gandum adalah sumber protein nabati, kadar proteininya lebih tinggi dari jagung dan beras. Di Indonesia, gandum telah diuji adaptasi di beberapa provinsi, antara lain Sulawesi Selatan (Malino), Jawa Timur (Tosari), Jawa Tengah (Salatiga), dan Sumatera Barat (Sukarami). Gandum dapat tumbuh pada lingkungan suhu udara 4-31°C dengan suhu optimum rata-rata 20°C (Fischer 1980). Suhu tinggi pada pembungaan pada umumnya berpengaruh buruk terhadap proses pengisian biji. Secara umum gandum membutuhkan air dan kelembaban lebih rendah daripada tanaman pangan tropis. Curah hujan ideal berkisar antara 640-890 mm per tahun dengan dua bulan kering (100-150 mm) sejak sebulan sebelum tanaman siap dipanen.

Dalam sistem produksi tanaman, benih merupakan input yang paling penting untuk mendapatkan hasil optimal yang memerlukan perhatian dan investasi khusus, yang tidak dapat dipenuhi hanya dari sektor publik. Meskipun biaya untuk benih hanya 5-10% dari total biaya produksi, peningkatan hasil panen 20-30% dapat diperoleh dengan penggunaan benih bermutu (Gupta 2013).

Pengelolaan tanaman untuk produksi biji relatif sama dengan produksi benih, kecuali beberapa hal yang menjadi perhatian utama dalam produksi benih gandum, antara lain takaran benih lebih rendah untuk meningkatkan multiplikasi, menyisakan lahan/ruang di lapangan untuk proses roguing (membuang tanaman menyimpang) dan inspeksi lapangan, menghindari pemberian hara nitrogen secara berlebihan untuk menghindari tanaman rebah di lapangan, dan pencegahan hama dan penyakit tanaman terbawa benih (*seed borne disease*). Produksi benih berbeda dengan produksi biji gandum dalam beberapa hal, seperti persyaratan lahan untuk lokasi produksi benih, isolasi, roguing, kontaminasi, mengikuti persyaratan standar administrasi dan teknis di masing-masing wilayah produksi benih.

Beberapa penelitian telah dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan produktivitas gandum melalui perbaikan genetik dan pengelolaan agronomis. Untuk memperoleh pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang baik, beberapa tahapan dalam pengelolaan tanaman menjadi pertimbangan utama. Pengelolaan benih gandum mencakup keseluruhan aspek produksi secara

teknis di lapangan dan mutu di laboratorium dan secara administratif untuk memperoleh standar mutu.

Makalah ini membahas teknik produksi, faktor yang mempengaruhi mutu fisiologi benih, pengembangan dan distribusi benih gandum.

TEKNIK PRODUKSI BENIH GANDUM

Dalam sistem produksi benih gandum, dua aspek yang menjadi persyaratan utama adalah standar lapangan dan laboratorium. Standar lapangan: isolasi jarak 5 m untuk benih penjenis, 5 m untuk benih dasar, dan 4 m untuk benih pokok dan benih sebar, tipe simpang maksimal 0,05% untuk benih dasar dan 0,10% untuk benih pokok dan benih sebar. Penyakit yang ada maksimal 0,05% untuk benih dasar dan 0,10% untuk benih pokok dan benih sebar. Standar laboratorium: benih murni minimum 98%, materi lain maksimum 2%, jumlah benih tanaman lain maksimum 10/kg benih, jumlah benih varietas lain maksimum 20/kg benih, benih berpenyakit maksimum 0,04%, daya berkecambahan minimum 85%, kadar air maksimum untuk wadah yang tidak kedap udara 12% dan wadah kedap udara 8% (Balitsereal 2014).

Gandum diklasifikasikan sebagai tanaman yang menyerbuk sendiri (*self-pollinated crop*). Jumlah tanaman yang menyerbuk silang bervariasi, umumnya berkisar antara 1-4% melalui bantuan angin (Doerfler 1976). Oleh karena itu, standar lapangan diperlukan dalam produksi benih gandum untuk menjamin kemurnian benih dari kontaminasi fisik di lapangan. Selain diperlukan untuk menjamin kemurnian fisik dan genetik benih, standar laboratorium juga diperlukan untuk menjamin mutu fisiologis benih sehingga memiliki daya tumbuh yang tinggi, lebih vigor, dan tahan terhadap organisme pengganggu tanaman.

Dalam produksi benih gandum, ada tiga hal yang menjadi perhatian: (1) kualitas benih harus lebih baik daripada kualitas biji. Oleh karena itu, perhatian dan input diberikan dalam sistem produksi benih lebih besar dibandingkan dengan sistem produksi biji; (2) kesuburan lahan lebih seragam untuk memudahkan seleksi dan rouging terhadap tipe tanaman yang menyimpang (*off type*); dan (3) fasilitas pendukung tersedia pada saat dibutuhkan, seperti tenaga kerja roguing, pemeliharaan tanaman, panen, prosesing dan penyimpanan hasil.

Pemilihan Lokasi

Tanaman untuk produksi benih harus memberikan hasil yang tinggi agar kualitas benihnya prima. Tempat produksi benih memiliki temperatur malam 15°C dan pada siang hari 26-28°C, tanah remah dan subur, pada waktu tanam masih ada curah hujan atau dapat diairi, pada waktu menjelang panen tidak ada hujan. Keadaan yang demikian dapat ditemukan pada dataran tinggi yang biasa

ditanami sayur-sayuran. Bekas tanaman sayuran memiliki tanah yang subur karena memanfaatkan sisa pupuk organik yang diberikan sebelumnya.

Satu lokasi disarankan hanya satu varietas, untuk menghindari campuran dari varietas lain yang terjadi pada waktu panen, pengangkutan, prosesing benih. Apabila satu lokasi untuk dua atau lebih varietas maka jarak antara blok minimal 3 m, karena walaupun gandum termasuk tanaman silang diri tetapi masih ada penyerbukan silang yang pada umumnya kurang dari 2%. Tanaman terdahulu sebaiknya bukan bekas pertanaman gandum dari varietas yang berbeda, untuk menjaga sisa-sisa biji yang dapat berkecambah kembali, lahan sebaiknya dibajak dan digaruk ulang.

Pengolahan Tanah

Tanah diolah sampai gembur, diratakan dan dibuat bedengan dengan lebar 2-3 m, dan antar bedengan dibuat saluran. Pembuatan bedengan bertujuan untuk memudahkan penyiraman, pengairan dan roguing, dan pemeliharaan lainnya. Apabila di areal tanaman banyak tumbuh gulma maka perlu disemprot terlebih dahulu dengan herbisida seperti paraquat diklorida, glifosat, dan herbisida lainnya. Setelah itu tanah baru diolah. Kesuburan tanah dalam satu bedeng hendaknya seragam untuk memudahkan menentukan tanaman tipe simpang. Apabila tanah tidak seragam kesuburnya maka ada kemungkinan perbedaan tinggi tanaman, yang dapat menimbulkan kesalahan pada pencabutan tipe tanaman simpang.

Penanaman

Untuk mencapai hasil yang tinggi penanaman harus tepat waktu sehingga pembijian jatuh pada saat curah hujan sudah berkurang. Hujan yang terlalu banyak waktu pembijian menyebabkan biji banyak yang hampa dan mudah terinfeksi cendawan (Murray *et al.* 1998, Hamdani 2004).

Penyiapan Benih

Benih yang digunakan untuk produksi benih sebaiknya bermutu (genetik, fisik, fisiologis). Benih sumber yang digunakan untuk perbanyakan benih kelas di bawahnya biasanya disimpan dalam gudang penyimpanan untuk jangka waktu tertentu, sehingga dalam kondisi tertentu dapat menyebabkan menurunnya vigor benih. Demikian juga kondisi lapangan yang tidak optimum, dapat menyebabkan rendahnya persentase tanaman tumbuh.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan pengaruh positif perlakuan priming/invigorisasi benih terhadap peningkatan viabilitas dan vigor awal benih di lapangan (Heydecker and Coolbear 1977). Priming ialah proses yang mengontrol hidrasi/dehidrasi benih untuk proses-proses metabolismik yang berlangsung sebelum terjadinya perkecambahan. Khan *et al.* (1992) menyatakan priming dapat

Tabel 1. Pengaruh perlakuan priming terhadap daya berkecambah, kecepatan tumbuh, bobot kering kecambah dan panjang akar primer kecambah (Arief *et al.* 2012).

Perlakuan priming	Daya berkecambah (%)	Kecepatan tumbuh (%/etmal)	Bobot kering kecambah (mg)	Panjang akar primer (cm)
Kontrol	94,1 a*	20,0 a*	22,2 a*	15,4 a*
Air bebas ion, 40°C	96,1 b	20,7 a	23,0 b	15,5 a
Air bebas ion	98,4 c	23,8 b	26,8 c	17,5 b
KCL-10 ppm	98,7 c	25,4 c	29,1 d	19,2 c
KCL-20 ppm	99,1 c	26,5 d	31,6 f	19,6 d
KCL-30 ppm	99,3 c	27,8 e	32,9 g	20,3 e
CaCl ₂ -10 ppm	98,4 c	24,3 b	31,2 e	19,3 c
CaCl ₂ -20 ppm	98,6 c	25,5 c	33,0 g	19,8 d
CaCl ₂ -30 ppm	99,3 c	27,3 de	33,3 g	20,8 f

*)Angka selanjutnya diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 0,05 uji Duncan

**)Data merupakan nilai rata-rata dari dua varietas uji (Nias dan Dewata)

meningkatkan daya berkecambah, kecepatan tumbuh kecambah, memperbaiki vigor tanaman dan hasil biji. Selanjutnya Soon *et al.* (2000) menyatakan bahwa priming dengan menggunakan air (hydropriming) meningkatkan daya berkecambah benih di lapangan. Hasil penelitian Arief *et al.* (2012) pada gandum varietas Nias dan Dewata, menunjukkan adanya pengaruh positif perlakuan priming dengan menggunakan air, larutan KCl, CaCl₂ terhadap peningkatan daya berkecambah, kecepatan tumbuh, bobot kering per kecambah dan panjang akar primer (Tabel 1).

Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Farooq *et al.* (2006) yang menyatakan penggunaan CaCl₂ dan KCl dalam priming benih menyebabkan terjadinya perubahan fisiologi pada benih dan meningkatkan hidrolisis pati dan gula yang digunakan untuk menambah cadangan makanan embrio, sehingga pertumbuhan kecambah lebih vigor, mempercepat pertumbuhan tanaman, dan memperbaiki mutu dan hasil benih. Taiz dan Zeiger (2002) menyatakan bahwa lebih tingginya efisiensi osmotik pada CaCl₂ dan KCl berkaitan dengan unsur Ca²⁺ dan K⁺ yang mampu memperbaiki status air sel. Kedua unsur ini sekaligus berfungsi sebagai kofaktor dalam berbagai aktivitas sejumlah enzim yang aktif pada proses metabolisme cadangan makanan dan keluarnya radikal-radikal. Meningkatnya aktivitas amilase, protease, dan lipase yang berperan aktif dalam penguraian molekul-molekul besar untuk pertumbuhan dan perkembangan embrio berakibat pada makin cepatnya pertumbuhan kecambah (Farooq *et al.* 2006).

Jumlah/Takaran Benih

Takaran benih yang optimum bervariasi, bergantung pada varietas, lokasi dan cara penanaman. Nelson (1986) mengemukakan bahwa untuk produksi benih, sebaiknya menggunakan benih dengan takaran rendah untuk meningkatkan

Tabel 2. Pengaruh takaran benih gandum terhadap hasil benih dan rasio multiplikasi.

Takaran benih (kg/ha)	Hasil benih (kg/ha)	Rasio Multiplikasi
25	4.081	157
50	4.907	98
75	5.176	69
100	4.949	49
125	5.574	44

Sumber: FAO 1975; van Gastel and Hopkins 1988.

multiplikasi, namun menurunkan hasil benih per unit luas lahan (Tabel 2). Tingginya multiplikasi meningkatkan “hasil benih” (dalam arti lebih banyak benih yang dipanen untuk setiap kg benih yang ditanam) dan petani akan memperoleh lebih banyak keuntungan. Takaran benih yang rendah tidak hanya meningkatkan multiplikasi, namun juga memperbaiki mutu benih, jumlah tanaman yang lebih sedikit per unit lahan memberi peluang bagi tanaman untuk memperoleh hara lebih baik, sehingga tanaman dapat menghasilkan benih bermutu.

Meskipun multiplikasi semakin meningkat dengan rendahnya takaran benih, secara praktis takaran benih rendah tidak dapat digunakan untuk produksi benih secara luas, karena akan meningkatkan risiko kehilangan hasil, terutama akibat cekaman lingkungan.

Kebutuhan benih untuk setiap hektar lahan adalah 100 kg dengan daya kecambah 100%, bebas dari hama penyakit, dan kemurniannya terjamin. Apabila daya tumbuh kurang maka jumlah benih harus ditambah. Pada daya tumbuh benih 80% dan 90%, jumlah benih yang digunakan masing-masing menjadi 125 dan 110 kg/ha. Jarak antara barisan 25 cm, biji disebar dalam barisan, dan takaran 2,5 g per m baris. Apabila bobot 1000 biji sekitar 40 g maka dalam 1 m baris ada sekitar 60 biji. Barisan tanaman dibuat dengan cara larikan sedalam \pm 5 cm dan benih disebar merata dalam larikan dan ditutup dengan tanah. Hasil penelitian Hamdani (2004) menunjukkan jarak antara varietas minimum 3 m, untuk menghindari persilangan antar varietas dan tercampurnya satu varietas dengan varietas yang lain pada saat panen. Herbisida pratumbuh dapat digunakan untuk mencegah tumbuhnya gulma sehingga gandum dapat tumbuh baik.

Ukuran benih

Ukuran benih gandum berkorelasi positif dengan vigor benihnya. Benih gandum berukuran besar menghasilkan kecambah yang lebih vigor dibanding benih berukuran kecil (Ries dan Everson 1973). Arief dan Pabendon (2011) mengemukakan gandum ukuran biji besar mempunyai daya berkecambah, kecepatan tumbuh, bobot kering kecambah yang lebih tinggi dibandingkan dengan biji gandum ukuran kecil pada varietas yang sama. Selanjutnya Singh dan Kailasanathan (1976) mengemukakan hasil benih gandum ukuran biji besar lebih tinggi dibanding ukuran biji kecil. Khah *et al.* (1989) menyatakan benih

gandum bervigor rendah menghasilkan persentase tumbuh dan hasil benih yang lebih rendah. Hasil penelitian Arief dan Pabendon (2010) menunjukkan benih gandum varietas Dewata berukuran kecil memberikan hasil yang lebih tinggi dari benih berukuran besar.

Pemupukan, Penyiangan, dan Pengairan

Takaran pupuk yang digunakan adalah 120-135 kg N, 50-72 kg P₂O₅ dan 50 kg K₂O, bergantung pada tingkat kesuburan lahan produksi benih. Pupuk P dan K diberikan seluruhnya pada waktu tanam atau paling lambat 10 hari setelah tanam (HST). Pupuk N dapat diberikan dua kali, yaitu pada waktu tanam dan umur 30 HST, masing-masing 1/3 dan 2/3 bagian. Pemberian pupuk dua kali atau lebih dianjurkan apabila gandum ditanam pada musim kemarau sehingga kehilangan pupuk lebih sedikit. Pupuk diberikan secara larikan, ± 10 cm di samping tanaman, dan ditutup dengan tanah.

Tanaman harus bersih dari gulma, gangguan gulma pada fase vegetatif dapat menurunkan hasil sampai 50%. Apabila tidak menggunakan herbisida pratumbuh maka tanaman disiangi pada umur 15 dan 30 HST. Apabila masih banyak rumput, tanaman disiangi lagi menjelang berbunga.

Apabila tidak ada hujan maka pengairan dilakukan melalui antara bedengan sehingga tanah menjadi cukup lembab, dengan cara ini pengairan dilakukan tiap 3-4 minggu sekali. Tanaman dapat pula diairi dengan sprinkle, dan jumlah pengairan bergantung pada besarnya air. Pengairan menambah biaya sehingga gandum perlu ditanam pada waktu masih ada hujan, yaitu pada bulan Maret-April.

Pengendalian Hama dan Penyakit

Pengendalian hama utama tanaman gandum dilakukan dengan penanaman varietas tahan atau menggunakan pestisida carbamyl, carbofuran, dan deltametrin. Untuk mengurangi tingkat penularan penyakit dapat digunakan fungisida ditiokarbamat.

Isolasi

Isolasi dalam produksi benih gandum bertujuan agar tanaman terbebas dari kontaminasi (genetik, fisik, dan patologik). Kontaminasi dapat dikurangi atau dicegah dengan tidak menanam tanaman pada lahan yang telah ditanami gandum dari varietas berbeda. Jarak minimum isolasi yang disyaratkan dalam produksi benih gandum bergantung pada aturan sertifikasi benih dari tiap negara dan kelas benihnya.

Gandum merupakan tanaman menyerbuk sendiri, penyerbukan silang hanya terjadi 1-4% (Doerfler 1976). Meskipun demikian, risiko genetik akibat

Tabel 3. Jarak minimum isolasi dalam produksi benih gandum di beberapa negara.

Negara	Jarak minimum isolasi (m)		
	Benih penjenis	Benih dasar	Benih bersertifikat
Cyprus	-	2	2
Mesir	5	5	5
Iran	5	5	5
Sudan	4	4	4
Syria	2	2	2
Tunisia	1	1	1

Sumber: WANA Secretariat (1995).

penyerbukan silang sangat kecil. Isolasi hanya diperlukan untuk meminimalkan kontaminasi fisik. Sebagai gambaran, jarak minimum isolasi yang disyaratkan di beberapa negara disajikan pada Tabel 3.

Dalam produksi benih gandum, isolasi jarak lebih penting digunakan pada tanaman peka terhadap penyakit tertentu, misalnya karat. Di India, Agrawal (1993) melaporkan bahwa produksi gandum kelas benih dasar dan bersertifikat diisolasi sejauh 150 m dari tanaman yang terinfeksi penyakit karat 0,1-0,5%. Di Maroko, jarak isolasi minimal 150 m dari tanaman yang terinfeksi karat untuk kelas benih penjenis infeksi 0,1%, benih dasar 0,2%, benih bersertifikat grade 1, terinfeksi 0,3%, dan benih bersertifikat grade 2, terinfeksi 0,5% (WANA secretariat 1995). Agar lebih aman dari kontaminasi, sebaiknya produksi benih untuk satu varietas terpisah dari varietas lainnya.

Roguing

Roguing ialah kegiatan mengeluarkan tipe tanaman yang tidak sesuai dari lahan produksi benih. Roguing bertujuan untuk mempertahankan kemurnian benih dari aspek genetik, fisik, fisiologis varietas dan spesies tanaman agar benih terbebas dari penyakit terbawa benih (*seed borne disease*).

Tanaman yang tidak sesuai ialah: (i) tanaman tipe simpang (*off-types*) dari satu varietas yang sama; (ii) varietas lain dari spesies yang sama; (iii) spesies tanaman lain yang memiliki karakteristik benih dan tipe pertumbuhan tanaman serupa; (iv) gulma; dan (v) tanaman yang terinfeksi dengan penyakit terbawa benih. Tipe simpang dapat dilihat dari jumlah anakan, umur berbunga, tinggi tanaman, tanaman terserang hama dan penyakit. Umur berbunga juga dipengaruhi oleh kelembaban dan jika kelembaban tanah tinggi maka umur berbunga meningkat.

Waktu roguing terbaik dilaksanakan pada saat keluar malai (*heading*) dan fase pemasakan (*maturity*), karena pada saat ini tanaman tipe simpang dan tanaman yang terinfeksi penyakit lebih mudah diidentifikasi. Pelaksanaan roguing di lapangan sebaiknya dilakukan secara seksama dan hati-hati. Jika tanaman

tipe simpang tetap dibiarkan di lapangan dan terbawa hingga panen sulit memisahkannya pada saat prosesing (Agrawal and Gupta 1989).

Panen dan Perontokan

Waktu Panen

Panen dilakukan pada saat tanaman telah menunjukkan tanda-tanda siap di panen, yaitu biji telah cukup masak, sudah keras dan bila digigit tidak keluar cairan. Batang dan daun kelihatan kuning dan berwarna putih keabu-abuan, demikian juga kelopak buah. Panen sebaiknya jangan ditunda. Kelambatan panen 5-10 hari dapat menyebabkan kehilangan hasil 2-5% tiap hektar, terutama pada gandum yang mudah rontok. Gandum dipanen pada kadar air biji 20-22% (Gupta *et al.* 1999). Untuk benih, biji dikeringkan sampai mencapai kadar air 9-10%.

Perontokan dan Pengeringan

Tanaman yang sudah dipanen dikeringkan hingga mencapai kadar air 15-18%. Pada kadar air biji di bawah 15% terjadi kerusakan benih akibat retak. Sebaliknya, jika kadar air biji masih di atas 18% berpeluang terjadinya kerusakan mekanis. Kerusakan mekanis berpengaruh terhadap daya berkecambah dan vigor benih dan memudahkan terjadinya infeksi jamur. Setelah panen, gandum langsung dikeringkan dan dilepaskan bijinya menggunakan thresher. Pada kondisi tertentu, seperti panen pada musim hujan, gandum ditumpuk dan pengeringannya tidak sempurna sehingga terjadi penurunan mutu fisik dan fisiologis benih.

Penyimpanan

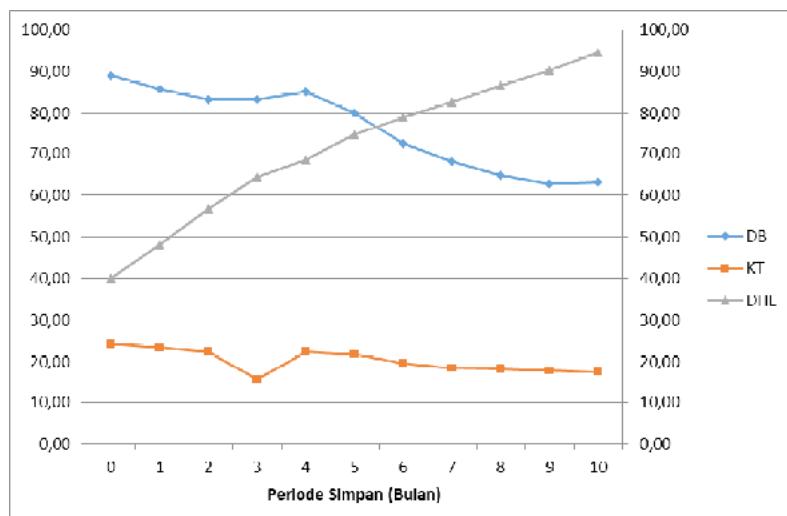
Benih gandum yang disimpan di dalam gudang tidak diletakkan langsung di atas lantai, tetapi di atas rak kayu yang sudah tertata rapi. Penyimpanan benih dalam kemasan/wadah/plastik kedap udara dalam gudang berdinding tembok dan tidak bersentuhan langsung dengan lantai gudang mempertahankan daya berkecambah benih varietas Nias dan Dewata di atas 90% setelah disimpan 18 bulan (Arief *et al.* 2013). Penyimpanan benih terbaik ialah dalam wadah kedap udara dan terdapat kontrol kelembaban dan suhu ruang simpan. Hasil penelitian penyimpanan benih gandum disajikan pada Gambar 1.

Klas Benih Gandum

Benih penjenis adalah benih pemulia yang diproduksi di bawah pengawasan pemulia tanaman, dan merupakan benih sumber untuk perbanyakan benih dasar dengan warna label kuning. Benih dasar merupakan keturunan pertama dari benih penjenis yang diproduksi di bawah bimbingan yang intensif dan

pengawasan yang ketat dari pemulia atau pengawas benih, sehingga kemurnian varietas dapat terpelihara dengan warna label putih. Benih pokok merupakan keturunan dari benih dasar yang diproduksi dan dipelihara sedemikian rupa, sehingga identitas maupun tingkat kemurnian varietas memenuhi standar mutu yang ditetapkan dan disertifikasi sebagai benih pokok dengan warna label ungu. Benih sebar merupakan keturunan dari benih pokok yang diproduksi dan dipelihara sedemikian rupa sehingga identitas dan tingkat kemurniannya dapat dipelihara dan memenuhi standar mutu yang ditetapkan dan disertifikasi sebagai benih sebar dengan warna label biru.

Pembagian kelas benih dalam produksi benih gandum di beberapa negara disajikan pada Tabel 4.



Gambar 1. Daya berkecambah, kecepatan tumbuh dan daya hantar listrik air rendaman benih gandum pada beberapa periode simpan. Sumber: Arief *et al.* (2013)

Keterangan: DB = daya berkecambah; KT = kecepatan tumbuh; DHL = daya hantar listrik air rendaman benih, suhu ruang simpan 28-32°C

Tabel 4. Beberapa klas benih di beberapa negara.

Definisi	OECD ^a	AOSCA ^b	Ethiopia	Mesir	Indonesia
Generasi pertama dari pemulia	Breeder	Breeder	Breeder	Breeder	Breeder/ Benih Penjenis
Generasi kedua	Pre-basic	Foundation	Pre-basic	Foundation	Benih Dasar
Generasi ketiga	Basic	Registered	Basic	Registered	Benih Pokok
Generasi keempat	Certified 1	Certified	Certified 1	Certified	-
Generasi kelima	Certified 2	-	Certified 2	-	-

^a OECD=Organisation for Economic Cooperation and Development.

^b AOSCA = Association of Official Seed Certifying Agencies.

Sumber: FAO (1975), van Gastel dan Hopkins (1988).

Benih Penjenis

- Benih inti ditanam untuk menghasilkan benih penjenis.
- Plot terisolasi minimal 5 m dari plot tanaman gandum lainnya.
- Benih ditanam dalam larikan dengan takaran 50-100 kg/ha
- Saat tanaman berumur 2-4 minggu dilakukan seleksi vigor tanaman dengan mencabut tanaman yang kerdil, lemah, pucat, bentuk menyimpang, tumbuh di luar barisan, dan tertular penyakit. Saat itu juga dilakukan penjarangan tanaman yang tumbuh lebih dari satu tiap rumpun atau terlalu rapat
- Sebelum berbunga tanaman simpang telah dicabut.
- Selama pembungaan, tanaman diamati setiap hari untuk mengidentifikasi dan mengeluarkan tanaman tipe simpang.
- Roguing terakhir dilaksanakan pada tanaman sebelum panen untuk memastikan tidak ada lagi tanaman tipe simpang di lapangan.
- Tipe simpang maksimal tidak lebih dari 0,01%.
- Pada waktu panen dipilih malai terbaik, dikeringkan, diproses terpisah. Benih yang berasal dari malai tersebut merupakan benih inti untuk memproduksi benih penjenis berikutnya. Sisa dari benih terpilih merupakan benih penjenis yang digunakan untuk memproduksi benih dasar.

Benih Dasar

- Benih dasar ditanam dari benih penjenis pada lahan yang terisolasi minimal 5 m dari pertanaman gandum lainnya.
- Sebelum pembungaan lakukan roguing untuk memilah tanaman tipe simpang.
- Sebelum panen dilakukan roguing terakhir untuk memastikan tidak ada lagi tanaman tipe simpang.
- Tanaman tipe simpang maksimal tidak lebih dari 0,05% (Gupta *et al.* 1999).

Berlainan dengan benih inti dan benih penjenis, produksi benih dasar, benih pokok dan benih sebar sebaiknya memerhatikan beberapa hal sebelum produksi untuk memperoleh label benih sebagai berikut:

- Mengajukan ijin penangkaran ke Unit Pelaksana Teknis Daerah (UPTD) Balai Pengawasan dan Sertifikasi Benih (BPSB).
- Setelah peninjauan lokasi oleh BPSB dan mendapat persetujuan baru dilakukan penanaman.
- Sebelum peninjauan pertanaman oleh BPSB sebaiknya dilakukan roguing untuk mengeluarkan tipe tanaman simpang.
- Menjelang panen, BPSB segera diberitahukan tentang mutasi calon benih, kemudian disusul dengan surat permohonan pengambilan contoh benih dan permintaan label.

FAKTOR YANG MEMPENGARUHI MUTU FISIOLOGIS BENIH GANDUM

Penanganan benih gandum dilakukan mulai dari saat penanaman hingga proses panen dan prosesing. Setelah biji mencapai masak fisiologis, penurunan vigor benih atau proses deteriorasi benih mulai berlangsung. Deteriorasi benih mencakup hilangnya integritas membran sel, respirasi lebih lambat, tingginya daya hantar listrik dari bocoran membran sel dan penurunan aktivitas enzim yang dicerminkan oleh rendahnya persentase perkecambahan (Delouche and Baskin 1973).

Beberapa faktor berpengaruh terhadap vigor benih antara lain genetik, nutrisi tanaman induk, kondisi lingkungan tumbuh dan cuaca, waktu dan cara panen, pengeringan dan prosesing, perlakuan terhadap benih, dan penyimpanan (Harman and Stasz 1986, Adetunji 1991). Kondisi prapanen dan penyimpanan yang tidak sesuai mempercepat proses deteriorasi benih yang berpengaruh terhadap perkecambahan dan pertumbuhan tanaman di lapang. Tekrony dan Egli (1991) menyatakan pertumbuhan kecambah yang lambat dan pertumbuhan tanaman yang beragam merupakan indikasi rendahnya mutu benih.

Mutu benih yang tinggi merupakan faktor penting dalam memeroleh pertumbuhan tanaman yang baik. Benih dengan mutu fisiologis tinggi menunjang perkecambahan dan pertumbuhan kecambah yang cepat (Hampton and Coolbear 1990, Baalbaki and Copeland 1987).

Panen pada musim kering memberi pengaruh yang baik terhadap mutu benih, sebaliknya panen pada kondisi lembab dan basah menurunkan mutu benih gandum dengan cepat. Hasil penelitian Arief *et al.* (2012) menunjukkan gandum yang dipanen pada kondisi tidak hujan mempunyai daya berkecambah di atas 90% setelah disimpan selama 18 bulan pada gudang penyimpanan dingin (suhu 18-22°C). Selanjutnya hasil penelitian Arief *et al.* (2013) menunjukkan pula bahwa gandum yang dipanen pada musim hujan, meskipun daya berkecambah awalnya di atas 90%, namun daya hantar listrik air rendaman benih sangat tinggi, lebih dari 40 uS/cm/g, yang menunjukkan telah terjadi kebocoran membran sel. Setelah benih ini disimpan selama 10 bulan di gudang penyimpanan dingin (suhu 18-22°C), daya berkecambahnya menurun menjadi sekitar 60%. Pengeringan benih sebaiknya dilakukan hingga mencapai kadar air 10-12%. Pada saat prosesing, semua kotoran benih dan benih yang tidak seragam, dipilah untuk mencegah terjadinya kontaminasi fisik.

Penyimpanan benih ortodoks seperti gandum terletak pada pengaturan kadar air dan suhu ruang simpan. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian Harrington (1972) dan Delouche (1990). Namun, suhu hanya berperan nyata pada kondisi kadar air di mana sel-sel pada benih memiliki air aktif (*water activity*) yang memungkinkan proses metabolisme dapat berlangsung. Proses metabolisme meningkat dengan meningkatnya kadar air benih, dan dipercepat

dengan meningkatnya suhu ruang simpan. Peningkatan metabolisme benih menyebabkan kemunduran benih lebih cepat (Justice and Bass 1979). Kaidah umum yang berlaku dalam penyimpanan benih menurut Matthes *et al.* (1969) adalah untuk setiap 1% penurunan kadar air, daya simpan dua kali lebih lama. Kaidah ini berlaku pada kisaran kadar air 5-14%, dan suhu ruang simpan tidak lebih dari 40°C.

Benih gandum yang dipanen pada musim hujan, lalu ditumpuk selama beberapa waktu, meskipun diproses dan diturunkan kadar airnya hingga 10-12%, tetap mempunyai mutu yang lebih rendah dibandingkan dengan benih yang dipanen pada musim kering berdasarkan nilai daya hantar listrik air rendaman benih yang lebih tinggi, yang mengindikasikan telah terjadi peningkatan bocoran membran sel (Arief *et al.* 2013). Daya hantar listrik air rendaman merupakan salah satu indikator tingkat kebocoran membran sel benih, berkorelasi negatif dengan daya berkecambah dan kecepatan tumbuh kecambah. Nilai daya hantar listrik meningkat dengan makin lamanya penyimpanan, sedangkan daya berkecambah dan kecepatan tumbuh kecambah semakin menurun seiring dengan semakin lamanya penyimpanan benih.

PENGEMBANGAN DAN DISTRIBUSI BENIH GANDUM

Di beberapa negara, model pengembangan industri benih menurut Douglas (1980) melalui empat tahap evolusi yang dicirikan oleh perbaikan teknologi dan kompleksitas manajemen, sebagai berikut:

1. Pertama, petani menyimpan benih dengan memilah benih yang terbaik secara visual dari pertanaman terdahulu untuk digunakan sebagai benih pada musim tanam berikutnya atau saling bertukar benih dengan petani lainnya.
2. Ke dua, pemerintah mengadakan penelitian perakitan dan pengembangan varietas di lahan petani dan melibatkan petani dalam proses perbanyakan dan distribusi benih.
3. Ke tiga, perusahaan benih swasta terlibat dalam industri benih dan berinvestasi dengan mengadakan penelitian perakitan dan pengembangan varietas, produksi, proses dan pemasaran benih.
4. Ke empat, perakitan varietas tanaman, produksi benih dan pemasaran telah tertata dengan menggunakan teknologi terbarukan. Pemerintah dan swasta bersinergi dalam proses produksi benih, pemasaran dan perdagangan benih.

Pengembangan gandum di Indonesia belum meluas karena kondisi lingkungan tumbuh yang tidak mendukung, sehingga penyediaan benihnya masih dikelola oleh pemerintah. Peranan swasta dalam penyediaan benih belum terlihat secara nyata, mengingat kebutuhan gandum terbesar oleh produsen

terigu diperoleh melalui impor. Perakitan varietas gandum oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian melalui Balai Penelitian Tanaman Serealia masih berlangsung, dan perbanyakannya benih gandum yang dikelola oleh Unit Pengelola Benih Sumber, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian ditempatkan di lahan petani di Malino, Kab. Gowa, Propinsi Sulawesi Selatan. Benih yang diperoleh dijadikan sebagai penyanga benih gandum nasional dan melayani kebutuhan pengguna dari berbagai lapisan untuk penelitian, perbanyakannya benih, dan lain-lain. Pada tahun 2013 Balai Penelitian Tanaman Serealia telah mendistribusikan benih gandum 2.584,5 kg yang terdiri dari 1.170,5 kg varietas Nias, 1.239,5 kg varietas Selayar, dan 174,5 kg varietas Dewata kepada pengguna yang tersebar di beberapa propinsi di Indonesia.

KESIMPULAN

Pengelolaan benih gandum mencakup keseluruhan aspek, mulai dari proses produksi, panen, dan penyimpanan hingga distribusi merupakan satu kesatuan yang saling berpengaruh satu dengan lainnya. Produksi benih gandum seperti halnya tanaman serealia lainnya mengutamakan aspek mutu yang tercermin dalam setiap tahapan produksi mulai dari pemilihan benih sumber yang akan digunakan, pemilihan lokasi penanaman, waktu produksi, teknik produksi yang efektif dan efisien dan persyaratan laboratorium untuk menjamin mutu benih.

Mutu benih gandum yang telah disimpan akan mengalami penurunan yang dipengaruhi oleh viabilitas dan vigor awal benihnya, kadar air awal sebelum simpan, cara panen dan proses benih. Penyediaan benih sumber gandum oleh Balai Penelitian Tanaman Serealia terus dilakukan hingga saat ini dan benihnya telah didistribusikan ke beberapa wilayah di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, V.K. 1993. Quality seed production at Pantnagar. India. *Seed Sci. Tech.* 11:1071-1078.
- Agrawal, V.K. and M.C. Gupta. 1989. Loose smut of wheat-A treat to seed Production. *Seed Res.* 17(1):55-68.
- Adetunji, M.T. 1991. An evaluation of the soil nutrient status for maize production in Southwestern Nigeria. *Samaru J. Agric. Res.* p.101-113.
- Arief, R., F. Koes, dan O. Komalasari. 2012. Effect of priming on seed vigor of wheat (*Triticum aestivum L.*). *Agrivita Journal of Agricultural Science* 34(1):50-55.
- Arief, R. dan M.B. Pabendon. 2010. Pengaruh bobot/ukuran biji terhadap hasil benih gandum. *Laporan Tahunan Hasil Penelitian. Balitsereal*.
- Arief, R. dan M.B. Pabendon. 2011. Pengaruh ukuran biji terhadap viabilitas dan vigor benih gandum. *Laporan Tahunan Hasil Penelitian. Balitsereal*.
- Arief, R., O. Komalasari, dan F. Koes. 2013. Vigor benih gandum pada beberapa periode simpan. *Laporan Tahunan Hasil Penelitian. Balitsereal*.

- Baalbaki, R.Z. dan L.O. Copeland. 1987. Vigor testing of wheat and its relationship to field performance, storage and seed quality. Newsletter of Association of Official Seed Analysis. 61:25.
- Balisereal. 2014. Gandum. Bhratara, Jakarta.
- Delouche, J.C. 1990. Research on association of seed physical properties to seeds quality. Prepared for Seed Research workshop. AARP II Project. Sukamandi. Indonesia.
- Delouche, J.C and C.C. Baskin. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Sci. Tech.* 1:427-452.
- Doerfler, T. 1976. Seed production guide for the tropics. Eschborn, Germany, GTZ.
- Douglas, J.E. 1980. Successful Seed Programs: A planning and Management Guide. Boulder, Colorado: Westview Press.
- FAO. 1975. Cereal seed technology: a manual of cereal seed production, quality control, and distribution. In: W.P. Feistritzer (Eds). Rome.
- Farmers Weekly. 2010. World Wheat Crop To Be Third Largest Ever. Academic Search Premier 152:13-134.
- Farooq, M., S.M.A. Basra, and A. Wahid. 2006. Priming of field sown rice enhances germination, seedling establishment, allometry and yield. *Plant Growth Regulation* 49:285-294.
- Fischer, R.A. 1980. Paper presented at the symposium on potential productivity of field crops under different environments. IRRI.
- Gupta, A.K., V. Govindarajan, and A. Malhotra. 1999. Feedback-seeking behavior within multinational corporations. *Strategic Management Journal* 20:205-222.
- Gupta, H.S. 2013. Current status and future strategy for seed production in Asia. In: R. Paroda, S. Dasgupta, Bhag Mal, S.S. Singh, M.L. Jat and Gyanendra Singh (Eds). Proceedings of the regional consultation on improving wheat productivity in Asia. Bangkok, Thailand. 26-27 April 2012. p. 204-206.
- Hamdani, M. 2004. Teknologi produksi benih gandum. Balisereal. Maros.
- Hampton, J.G. and P. Coolbear. 1990. Potential versus actual seed performance can vigour testing provide an answer. *Seed science and technology* 18:215-228.
- Harman, G.E and T.E. Stasz. 1986. Influence of seed quality on soil microbes and seed rots. *CSSA, Spec. Pub.* 12:11-37.
- Heydecker, W. and P. Coolbear. 1977. Seed treatment for improved performance survey and attempted prognosis. *Seed Science and Tech.* 5:353-42.
- Harrington, J.F. 1972. Seed storage longevity. In: T.T. Kozlowski, (Eds). *Seed Biology* 3:145-245. Academic Press. New York.
- Justice, O.L dan L.N. Bass. 1979. Prinsip dan praktik penyimpanan benih (Terjemahan). PT Raja grafindo Persada. Jakarta. p. 219-273.
- Khah, E.M., E.H. Roberts, and R.H. Ellis. 1989. Effects aging on growth and yield of spring wheat at different plant population densities. *Field Crops Res.* 20:175-190.
- Khan, A.A. 1992. Preplant physiological seed conditioning. *Hort. Rev.* 14:131-181.
- Matthes, R.K., G.B. Welch, J.C. Delouche, and G.M. Dougherty. 1969. Drying, processing and storage of corn seed in tropical and subtropical regions. *American Society of Agricultural Engineers*. New York No. 1838.
- Mian, A.R. and E.D. Nafziger. 1992. Seed size effects on emergence, head number, and grain yield of winter wheat. *J. Prod. Agric.* 5:265-268.

- Murray, T.D., D.W. Parry, and N.D. Cattlin. 1998. A color of handbook of diseases of small grain cereal crops. Iowa State University Press, Ames. p. 142.
- Nelson, W.L. 1986. Cultural practices for cereal seed production. In: J.P. Srivastava and T.L. Simarski, (Eds). Seed production technology. Aleppo, ICARDA.
- Randhawa, A.S. 1983. Seed production in wheat. Ind Farm. February 1983:17-18.
- Ries, S.K. and E.H. Everson. 1973. Protein content and seed size relationships with seedling vigour of wheat cultivars. Agron. J. 65:884-886.
- Singh, S.K. dan K. Kaliasanathan. 1976. A note of the effect of seed size on yield of wheat cultivar Kalayan Sona under late sown conditions. Seed Res. 4:130-131.
- Soon, K.J., C.Y. Whan, S.B. Gu, A.C. Kill, and C.J. Lai. 2000. Effect of hydropriming to enhance the germination of gourd seeds. Journal of Korean Soc. of Hort. Sci. 41:559-564.
- Taiz, L. And E. Zeiger. 2002. Plant Physiology. 3rd (Eds). Sinauer Associates, Inc. Publishers, Su and Land, Massachusetts.
- Tekrony, D.M. and D.B. Egli. 1991. Relationship of seed vigor to crop yield: A review. Crop Science 31:816-822.
- Van Gastel, A.J.G. dan J.D. Hopkins. 1988. Seed production in Mediterranean Countries. Proc. ICARCA/EC Workshop, 16-18 dec. 1986, Cairo Egypt. Aleppon, Syria, ICARDA. p. 245.
- WANA Secretariat. 1995. WANA catalogue of field and seed standards cereals and legumes. Aleppo, Syria, ICARDA.

Pemupukan Tanaman Gandum

Syafruddin

Balai Penelitian Tanaman Serealia

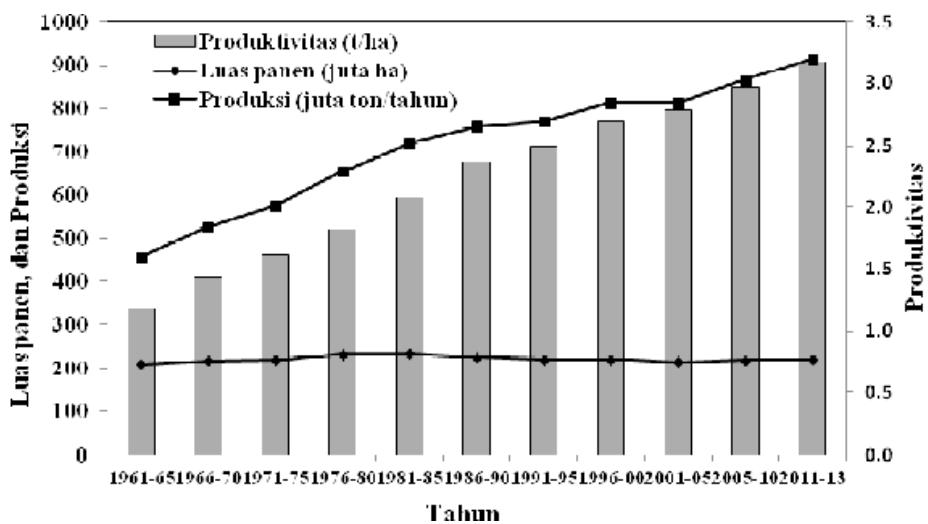
PENDAHULUAN

Dibandingkan dengan jagung dan padi, respon tanaman gandum terhadap pupuk lebih rendah, tercermin dari rata-rata produktivitas gandum dunia pada tahun 2013 yang hanya 3,2 t/ha. Produktivitas <4 t/ha lebih dominan yang mencapai 78% dari luas pertanaman gandum dunia, 172 juta hektar. Produktivitas gandum yang tinggi mencapai 7-9 t/ha di Perancis, Denmark, Inggris, Jerman, Belanda, Irlandia, dan Selandia Baru. Di China, produktivitas gandum termasuk sedang, 5 t/ha (FAOSTAT 2015).

Laju pertumbuhan produksi gandum dunia pada awal revolusi hijau tahun 1965 hingga 1990 meningkat 3,3% per tahun, tetapi pada periode 1991-2012 rata-rata pertumbuhan produksi gandum hanya sekitar 1,0 persen pertahun. Peningkatan produksi tersebut terutama disebabkan oleh peningkatan produktivitas. Pada periode 1961-1990 produktivitas gandum dunia meningkat dari 1,2 t/ha menjadi 2,5 t/ha atau meningkat 2 kali lipat, sedangkan perluasan areal tanam dari 207 juta ha menjadi 222 juta ha atau meningkat 6,7% (Gambar 1). Pada periode 1991-2013 produktivitas gandum meningkat dari 2,5 menjadi 3,2 t/ha, sedangkan luas tanam melandai. Peningkatan produktivitas yang tinggi pada periode 1961-1990, karena kontribusi relatif varietas unggul baru tipe batang pendek yang mempunyai potensi hasil lebih tinggi dibanding varietas sebelumnya. Di samping itu, penggunaan pupuk juga meningkat sama mendukung pengembangan varietas tipe batang pendek tersebut. Penggunaan pupuk untuk tanaman serealia (gandum, padi, sorgum, jagung, dan serealai lainnya) pada awal revolusi hijau tahun 1961-1965 rata-rata 36,5 juta ton/tahun, meningkat menjadi 133 juta ton/tahun pada periode 1986-1990 dengan rata-rata peningkatan 8,8%/tahun. Kemudian pada periode 1991-1995 sampai 2006-2010 penggunaan pupuk meningkat menjadi 153,9 juta ton/tahun yang berarti meningkat rata-rata 0,8% setiap tahun (Philips and Norton 2012).

Gandum menjadi pangan pokok sumber kalori utama bagi warga dunia, ditinjau dari jumlah konsumennya yang lebih banyak dibandingkan dengan beras atau jagung. Negara-negara di Eropa, Amerika Utara, Asia Selatan dan Asia Timur, Australia dan New Zealand, penduduknya menggunakan gandum sebagai makanan pokok dan negara-negara pengomsumsi beras pun sebagian penduduknya menjadi konsumen bahan pangan gandum, seperti halnya Indonesia, Filipina, dan Malaysia.

Indonesia yang semula tidak mengenal pangan yang bersumber dari gandum, kini lebih dari 90% penduduk telah menjadi konsumen gandum secara rutin dalam bentuk mie, roti, kue kering dan cake. Kebutuhan gandum Indonesia



Gambar 1. Produksi, luas tanam, produktivitas gandum dunia dalam periode 1961-2013 (FAOSTAT 2015).

meningkat rata-rata 10% setiap tahun, karena pertambahan penduduk dan pola konsumsi yang meningkat. Kebutuhan gandum seluruhnya dipenuhi dari impor, dan Indonesia merupakan negara pengimpor gandum terbesar kedua setelah Mesir. Dalam tiga tahun terakhir (2012-2014) impor gandum mencapai >7 juta/tahun dan setiap tahun impor gandum diperkirakan meningkat 5% (BPS 2015).

Tanaman gandum pada dasarnya tergolong tanaman subtropis. Namun pengembangannya di daerah tropika seperti di Indonesia memungkinkan pada wilayah dengan ketinggian >800 m dpl dengan temperatur <25°C. Oleh karena tanaman gandum berasal dari daerah subtropis, maka faktor pembatas utama pengembangannya di Indonesia adalah temperatur yang tinggi. Selain temperatur, kecukupan hara dari dalam tanah juga mempengaruhi pertumbuhan, perkembangan, hasil dan kualitas gandum. Umumnya tanah-tanah di daerah tropika basah defisiensi hara, terutama N, P, dan K. Karena itu, untuk mencukupi kebutuhan hara di dalam tanah diperlukan pemupukan. Pemberian pupuk yang tepat bersifat spesifik lokasi bergantung pada ketersediaan hara, bahan organik dalam tanah, dan target hasil yang ingin dicapai.

Pemberian pupuk yang dititikberatkan untuk mencapai hasil maksimal, berakibat negatif berupa efisiensi penggunaan pupuk yang rendah, ketidakseimbangan hara tanah, dan sebagian lahan kahat unsur mikro. Pemupukan harus mempertimbangkan ketersediaan hara dalam tanah dan produktivitas optimal yang bersifat spesifik lokasi. Pemupukan spesifik lokasi dengan dosis yang tepat akan diperoleh hasil yang optimal, meningkatkan efisiensi pemberian pupuk, dan menekan dampak negatif pemupukan. Pemupukan yang tepat menggabungkan rekomendasi dosis pemupukan anorganik dan anjuran penggunaan suplementasi bahan organik.

KEBUTUHAN HARA TANAMAN GANDUM

Tanaman gandum mempunyai pola serapan hara hampir sama dengan tanaman cerealia lainnya. Sebanyak 17 hara esensial yang dibutuhkan tanaman gandum untuk dapat tumbuh dan berproduksi secara optimal dapat diperoleh dari dalam tanah, air, dan udara. Hara karbon, hydrogen, dan oksigen diperoleh dari udara atau air. Hara lainnya umumnya diperoleh dari dalam tanah. Nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) diklasifikasikan sebagai hara makro primer karena dibutuhkan dalam jumlah banyak dan ketersediaannya sering kekurangan dalam tanah. Sulfur (S), magnesium (Mg), dan kalsium (Ca) diklasifikasikan sebagai hara makro sekunder, karena dibutuhkan dalam jumlah agak banyak, namun ketersediaannya dalam tanah sering mencukupi dibanding hara primer. Hara besi (Fe), zinc (Zn), klor (Cl), mangan (Mn), tembaga (Cu), boron (B), molybdenum (Mo), dan nikel (Ni) digolongkan sebagai hara mikro karena dibutuhkan dalam jumlah sedikit. Ketersediaan hara dan serapan hara oleh tanaman dipengaruhi oleh kondisi tanah, tanaman dan lingkungan, termasuk kelembaban tanah, suhu, pH, dan sifat kimia dan fisik tanah. Kecukupan dan keseimbangan hara dalam tanah sejak perkecambahan hingga fase pengisian biji sangat menetukan produktivitas tanaman gandum.

Untuk menghasilkan setiap satu ton biji, tanaman gandum menyerap hara N, P, dan Mg lebih banyak untuk pembentukan biji dibandingkan untuk jerami. Sebaliknya, hara K, S, dan Ca lebih banyak diserap untuk pembentukan jerami dibanding biji. Hara mikro Zn, B, dan Fe diserap hampir sama banyaknya untuk jerami maupun biji (Tabel 1).

Laju serapan hara N, P dan K sangat cepat, mulai pada saat pembentukan anakan sampai pembentukan malai. Hara N yang diperlukan tanaman telah terserap semuanya pada fase pembungaan, sedangkan P dan K terserap semuanya pada saat pembentukan malai (Tabel 2).

Tabel 1. Unsur hara yang diserap tanaman gandum dari setiap produksi 1 ton biji.

Hara	Biji (kg)	Brangkasan (kg)
Nitrogen (N)	24,83	11,67
Fosfor (P ₂ O ₅)	9,50	2,67
Kalium (K ₂ O)	5,50	20,00
Sulfur (S)	1,67	2,33
Magnesium (Mg)	2,50	2,17
Kalsium (Ca)	0,42	1,25
Tembaga (Cu)	0,01	0,004
Mangan (Mn)	0,03	0,08
Zink (Zn)	0,04	0,04
Boron (B)	0,01	0,01
Iron (Fe)	0,09	0,09

Sumber: Whitney (1997).

Tabel 2. Persentase serapan hara N, P, dan K oleh tanaman gandum pada setiap fase tumbuh.

Fase tumbuh	Serapan hara maksimum (%)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Perkecambahan	8	3	6
Pembentukan Anakan	25	17	36
Pemanjangan batang	49	47	72
Pembentukan daun bendera	71	64	95
Pembentukan malai	97	100	100
Pembungaan	100	93	82
Pembentukan biji	100	90	72
Masak fisiologi	100	86	68

Sumber: Heyland dan Werner (2014).

PEMUPUKAN N, P, K, DAN S

Pemupukan merupakan bagian integral dari teknologi peningkatan produksi tanaman. Pemupukan dalam takaran/jumlah, jenis hara, cara dan waktu pemberian yang tepat merupakan faktor kunci dalam peningkatan efisiensi pemupukan dan hasil. Umumnya tanah-tanah untuk pengembangan gandum di Indonesia kekurangan N, P, K atau S, sedangkan unsur mikro belum menjadi masalah.

Nitrogen

Nitrogen merupakan salah satu hara yang sangat menentukan dalam memperoleh hasil gandum yang tinggi. Nitrogen merupakan bagian dari klorofil, yang memungkinkan tanaman mengkonversi energi sinar matahari menjadi karbohidrat. Nitrogen berperan dalam pembentuk protein dan merupakan komponen DNA dan RNA pada setiap sel tanaman. Nitrogen paling banyak dibutuhkan tanaman dan sering menjadi defisien dibanding hara lainnya. Tanaman gandum seperti halnya serealia lainnya sangat sensifit terhadap ketidakcukupan hara N dan sangat respon terhadap pemupukan N.

Nitrogen bersifat mobil dalam tanaman, pada kondisi suplai hara dari dalam tanah rendah, maka N pada daun tua ditransfer ke daun muda, sehingga gejala kekurangan hara akan tampak pada daun tua. Gejala tanaman gandum yang kekurangan N adalah tumbuh lambat, batang kecil, tipis dan mudah rebah, daun menyempit dan pendek, jumlah anakan berkurang dan hasil biji rendah. Apabila terjadi kahat N pada fase awal pertumbuhan maka seluruh permukaan daun berwarna hijau pucat atau hijau kekuningan yang disebabkan rendahnya klorofil daun. Jika kahat N pada fase pembentukan anakan, maka daun yang terletak pada bagian bawah menguning, dimulai dari pinggir ke tulang daun, kemudian berubah menjadi pucat kecokelatan dan akhirnya daun layu dan

anakan mati. Tanaman gandum menunjukkan gejala kekurangan hara N jika kadar N di daun <3,4% (Snowbal and Robson 1991). Kekurangan N sering dijumpai pada tanah dengan kandungan bahan organik rendah, bertekstur pasir, curah hujan tinggi, intensitas pertanaman tinggi, dan tanaman tergenang (Sharma and Kumar 2011).

Pemberian N yang berlebih dapat menyebabkan tanaman gandum mudah rebah, mudah terserang hama dan penyakit dan hasil panen rendah. Di samping itu, pemupukan N yang berlebih akan meningkatkan emisi gas N_2O dan NH_3 yang berdampak buruk terhadap lingkungan (Wang *et al.* 2014). Pemupukan N yang optimal pada tanaman gandum meningkatkan jumlah anakan, jumlah malai, panjang malai, jumlah biji/malai, bobot biji, hasil, indeks panen, dan kadar protein biji (Rahman *et al.* 2011; Woyema 2012, Shahzad *et al.* 2013, Yousaf *et al.* 2014).

Dosis pemupukan N perlu mempertimbangkan ketersedian N dalam tanah, kandungan bahan organik, dan potensi hasil yang ingin dicapai. Tanah dengan kandungan bahan organik tinggi membutuhkan pupuk N lebih sedikit dibanding tanah dengan kandungan bahan organik rendah. Pada tanah dengan kandungan bahan organik >4% tanaman gandum membutuhkan 55-80 kg N/ha, pada tanah dengan bahan organik 2-4% membutuhkan 80-105 kg N, dan bila kandungan bahan organik tanah <2% tanaman gandum membutuhkan 105-130 kg N/ha (Shelley 2014). Secara umum takaran pupuk N untuk tanaman gandum untuk memperoleh hasil 4 t/ha adalah 80-125 kg N/ha (Leikam *et al.* 2003). Untuk menghasilkan biji gandum dengan kandungan protein tinggi memerlukan hara N relatif lebih banyak dibanding untuk produksi biji secara optimal (Whitney 1997).

Hasil penelitian pemupukan N pada tanah lempung liat berpasir dengan kandungan bahan organik rendah (1,1%) dan kandungan N sangat rendah (0,07 %) menunjukkan pemupukan N yang optimal untuk tanaman gandum adalah 100-120 kg/ha (Tabel 3). Takaran 100-120 kg N/ha menghasilkan jumlah malai/m² dan hasil biji yang nyata lebih tinggi dibanding pemberian 80 kg/ha (Rahman *et al.* 2011). Pada tanah lempung berliat dengan pH 8, bahan organik rendah 0,6% total N sangat rendah 0,03%, tanaman gandum membutuhkan pupuk N 120 kg N/ha. Pada takaran 120 kg N/ha, pertumbuhan tanaman jumlah biji/malai, bobot biji, hasil biji, dan indeks panen nyata lebih tinggi dibanding tanaman yang dipupuk dengan 100 kg N/ha. Apabila takaran pupuk dinaikkan menjadi 180 kg N/ha, hasil biji gandum sama dengan pemberian 120 kg N/ha (Tabel 4). Pada tanah liat pH 7,1 dengan bahan organik tergolong tinggi 4,5%, dan total N tergolong sedang 0,24%, tanaman gandum yang dipupuk 69 kg N/ha menghasilkan 4,33 t/ha (Tabel 5).

Pemupukan N pada tanah alkali atau bersifat basa memerlukan dosis 25% lebih tinggi dibanding tanah nonalkali (Gupta and Abrol 1990, Mehdi *et al.* 2007). Umumnya pemupukan N pada tanah alkali di Asia Selatan 150 kg N/ha yang diaplikasikan secara bertahap (Swarup and Yaduvanshi 2012).

Tabel 3. Pengaruh takaran pemupukan N terhadap malai, jumlah biji/malai, bobot biji dan hasil biji tanaman gandum pada tanah dengan bahan organik rendah (0,6%). Gazipur, Bangladesh, 2008.

Takaran N (kg/ha)	Jumlah malai/m ²	Jumlah biji/malai	Bobot 1.000 (g)	Hasil biji (t/ha)
80	286 b	35	48,8	3,03 b
100	306 a	36	49,0	3,61 a
120	305 a	37	49,4	3,73 a
LSD	18	tn	tn	0,28

Sumber: Rahman *et al.* (2011).

Tabel 4. Pengaruh takaran pemupukan N terhadap tinggi tanaman, jumlah biji/malai, bobot, bobot biji, dan hasil biji dan indeks panen tanaman gandum pada tanah dengan bahan organik (0,6%). D.I. Khan, Pakistan, 2010.

Takaran N (kg/ha)	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah biji/malai	Bobot 1.000 biji (g)	Hasil (t/ha)	Indeks panen
0	47 e	25 d	39,7 d	1,72 d	28,5 d
80	71d	34c	41,9 c	2,16 c	32,2 c
100	85 c	40b	42,2 c	2,35 b	29,6 d
120	92 b	46 a	43,0 b	3,08 a	37,4 a
180	95 a	45 a	43,1 a	3,09 a	34,5 b
LSD	1,2	1,38	0,21	0,2	1,9

Sumber: Yousaf *et al.* (2014).

Tabel 5. Pengaruh takaran pemupukan N terhadap tinggi tanaman, panjang malai, bobot biji, dan hasil biji, indeks panen dan kandungan protein biji tanaman gandum pada tanah dengan bahan organik tinggi (4,5%). Sinana, Ethiopia, 2009.

Takaran N (kg/ha)	Tinggi tanaman (cm)	Panjang malai (cm)	Hasil (t/ha)	Indeks panen	Bobot 1000 biji (g)	Kandungan protein biji (%)
0	84,5 c	5,9 b	2,99 c	36 a	44,5 b	11,3 b
23	86,0 b	6,1 a	3,45 b	34 b	45,1 ab	11,3 b
46	88,2 a	6,2 a	3,85 b	32 c	45,9 a	11,9 b
69	89,4 a	6,2 a	4,33 a	32 c	45,9 a	13,0 a
LSD (P<,05)	1,4	0,12	0,27	0,02	1,07	0,71

Sumber: Woyema *et al.* (2012).

Selain takaran pupuk N yang tepat, sinkronisasi waktu pemberian N dengan kebutuhan tanaman juga sangat berperan dalam meningkatkan hasil, kualitas hasil, dan menekan kehilangan pupuk N. Umumnya tanaman menyerap N sangat cepat pada fase pertumbuhan vegetatif maksimum; karena itu pupuk N perlu diberikan pada fase pertumbuhan tersebut (Scharf and Lory 2002). Tanaman gandum akan tumbuh dengan cepat sejak fase 5 awal pemanjangan batang (Alley *et al.* 2009, Wise *et al.* 2014), sehingga pemberian pupuk N dalam jumlah yang sesuai pada awal fase 5 diperlukan untuk menunjang kebutuhan hara bagi tanaman.

Untuk mengurangi kehilangan pupuk dan meningkatkan efisiensi pemupukan N, sebaiknya aplikasi pupuk N dilakukan secara bertahap. Pemberian N secara bertahap meningkatkan jumlah anakan produktif, jumlah biji per malai, bobot biji, dan hasil, lebih tinggi dibanding pupuk diberikan semuanya pada awal tanam (Tabel 6 dan 7). Pemberian N secara bertahap juga

Tabel 6. Pengaruh waktu pemberian N terhadap indeks luas daun, tinggi tanaman, jumlah anakan produktif, jumlah biji/malai, dan hasil biji gandum. D.I. Khan, Pakistan, 2006.

Waktu pemberian N	Indeks luas daun	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah anakan produktif/m ²	Jumlah biji/malai	Hasil (t/ha)
Tanpa N	1,34 c	77 c	91d	37 d	1,051 d
Semuanya saat tanam	2,34 b	11 b	225 c	47 c	3,43 c
2/3 saat tanam+1/3 60HST	2,49 b	113 ab	246 b	52 b	3,93 b
1/2 saat tanam+1/2 saat 60 HST	2,98 a	115 a	257 ab	57 a	4,06 ab
1/3 saat tanam + 2/3 saat 60 HST	3,04 a	112 ab	269 a	57 a	4,15 a
LSD (5%)	0,21	3,8	12	2,4	0,196

Sumber: Naved *et al.* (2013).

Tabel 7. Pengaruh waktu pemberian N terhadap jumlah anakan produktif, jumlah biji/malai, bobot biji, dan hasil biji gandum. Peshawar, Pakistan, 2012.

Waktu pemberian	Jumlah anakan produktif/m ²	Jumlah biji/malai	Bobot 1.000 biji (g)	Hasil (t/ha)
100% S1 (saat tanam)	234 cd	51 a	39,93 ab	2,75 c
100% S2 (25 HST)	244 bc	42 d	40,89 a	2,65 c
100% S3 (45 HST)	227 d	47 bc	36,62 c	2,67 c
1/2S1+1/2S2	230 d	46	37,78 c	2,94 ab
1/2S1+1/2S3	229 d	48 b	38,23 bc	2,86 ab
1/2S2+1/2S3	251 b	46 bc	40,13 ab	2,96 a
1/3S1+1/2S2+1/2S3	266 a	45 c	41,33 a	2,78 bc
LSD (5%)	14	2	2,42	0,17

S1= saat tanam, S2= fase pembentukan anakan (25 HST), S3= fase booting (45 HST)

Sumber: Jan *et al.* (2011).

mengurangi peluang tanaman rebah (Murdock *et al.* 2009), meningkatkan efisiensi penggunaan hara N dan kandungan protein biji (Velasco *et al.* 2012). Pemupukan N secara bertahap diberikan sepertiga takaran N pada saat tanam (<10 HST) dan dua pertiga takaran N pada antara fase pembentukan anakan dan awal pemanjangan batang (25-35 HST). Pada tanah yang kadar N rendah, pemberian N sebelum fase 2 sangat diperlukan untuk meningkatkan jumlah anakan (Wise *et al.* 2014). Apabila kadar N dalam tanah tinggi, pemupukan N cukup satu kali, yaitu semua takaran N diberikan pada awal fase pemanjangan batang 30 HST. Jika pupuk diberikan pada awal tanam maka tanaman mudah rebah dan banyak anakan tidak produktif. Kekurangan N pada fase awal pemanjangan batang menyebabkan banyak anakan mati sehingga populasi tanaman berkurang dan hasil menurun (Alley *et al.* 2009). Pemberian N pada fase pengisian biji tidak meningkatkan hasil, tetapi dapat meningkatkan kandungan protein (Alley *et al.* 2009, Heyland and Werner 2014).

Pemberian pupuk N secara bertahap dapat dilakukan dengan memantau warna daun (kehijauan daun) menggunakan Bagan Warna Duan (BWD) pada fase tertentu. Tingkat kehijauan daun menunjukkan status kecukupan hara N pada tanaman. Penggunaan BWD untuk menentukan tambahan pupuk N setelah pemberian N pada awal tanam (pemberian basal) meningkatkan efisiensi pemupukan N pada tanaman padi (Witt *et al.* 2005) dan jagung (Syafruddin *et al.* 2008 dan Effendi *et al.* 2012). Pemberian N pada tanaman gandum berdasarkan BWD menghemat penggunaan pupuk N sebesar 29 kg N/ha (Singh *et al.* 2014). Pemberian 20 kg N/ha berdasarkan skala BWD setelah anakan maksimum meningkatkan hasil 0,8 t/ha (Alam *et al.* 2006). Batas kritis BWD untuk pemupukan N tambahan adalah pada skala 4-5 (Singh *et al.* 2012). Penggunaan BWD untuk menentukan tambahan pupuk N pada tanaman gandum tidak efisien jika dilakukan pada fase awal pertumbuhan (< 1 bulan setelah tanam) karena daun masih kecil, dan akan efektif jika tambahan N setelah pembentukan anakan maksimum (\pm 55 HST). Pemupukan N berdasarkan BWD dilakukan dengan cara pemberian 25 kg N/ha pada saat tanam sebagai pupuk dasar, 45 kg pada umur 14-2 HST, dan kemudian berdasarkan BWD pada fase pembentukan anakan maksimum. Jika nilai BWD <4, tanaman dipupuk dengan 45 kg N/ha dan jika nilai BWD >4 dipupuk 30 kg N/ha (Singh *et al.* 2012).

Sumber pupuk N yang umum tersedia di tingkat petani adalah urea (45-46% N), ammonium sulfat/ZA (21% N dan 24% S), phonska (15% N, 15% P_2O_5 , 15% K_2O), dan NPK (20%N, 10% K_2O , dan 10% P_2O_5). Pemupukan N menggunakan urea pada tanah dengan pH 5,9 tidak berbeda pengaruhnya terhadap pertumbuhan vegetatif maupun hasil gandum dibanding ZA (Tabel 8). Namun pada tanah alkali dengan pH 7,5 penggunaan pupuk yang berasal dari ZA lebih baik.

Tabel 8. Pengaruh sumber N terhadap tinggi tanaman, jumlah biji/malai, jumlah malai/m² bobot biji, dan hasil gandum. Selvíria, Brazil, 2006.

Sumber N	Tinggi tanaman (cm)	Kandungan N daun (g/kg)	Jumlah biji/malai	Jumlah malai/m ²	Bobot 1000 biji (g)	Hasil (t/ha)
ZA	74,73 b	44,21 a	41 a	266 a	36,4 a	3,43 a
Urea	75,20 b	43,84 a	41 a	253 a	37,1 a	3,41 a
LSD (%)	1,08	1,19	1,6	16	1,2	1,63

Sumber: Filho *et al.* (2011)

Fosfor

Fosfor sangat penting dalam proses metabolisme tanaman, antara lain untuk pembentukan energy (ATP) dan fotosintesis, dan komponen utama dari materi gentik DNA. P berpengaruh terhadap perkembangan akar, pembentukan anakan, pengisian biji, dan pemasakan biji.

Tanaman gandum yang kekurangan P berwarna hijau gelap, batang memendek, sistem perakaran tidak berkembang dengan baik (pendek dan kurang menyebar) dan dapat menunda pemasakan, ukuran biji dan malai kecil sehingga hasil menurun. P dalam tanaman bersifat mobil, jika pasokan hara P dalam tanah rendah, maka P akan dimobilisasi dari daun tua ke daun muda. Gejala kahat P pada daun akan menunjukkan warna ungu-kemerahan, dimulai dari ujung sampai pangkal daun. Tanaman gandum defisien P apabila pada daun mempunyai kadar P <0,2% (Snowbal and Robson 1991). Pada tanah yang kahat P, bahan organiknya rendah, bereaksi masam dengan pH <4,5, tanah alkalin atau kalkarik pH>7,5, dan top soilnya telah hilang karena erosi (Sharma and Kumar 2011).

Takaran pupuk P yang dibutuhkan tanaman gandum untuk memperoleh hasil 4 t/ha adalah 17 -67 kg P2O5/ha (Leikam *et al.* 2003). Pemberian P yang optimal meningkatkan indeks luas daun, jumlah anakan, dan bahan kering (Jiang *et al.* 2006, Khalid *et al.* 2004) bobot 1.000 biji, hasil dan biomas tanaman (Chaturvedi 2006). Pemberian P yang tepat meningkatkan serapan P dan N (Jiang *et al.* 2006).

Hasil penelitian pada tanah kalkareus dengan sifat lempung berpasir, pH 8,2, kandungan P (olsen) 8,0 ppm, kadar bahan organik 1,13% menunjukkan pemupukan P meningkatkan jumlah anakan, jumlah biji/malai, bobot biji, hasil dan indeks panen gandum. Takaran pupuk yang optimal pada tanah ini adalah 81 kg P2O5 (Tabel 9). Pemupukan P pada tanah kalkareous dengan tekstur lempung berpasir, pH tanah 8,08, kadar P 5,25 ppm, dan kandungan bahan organik 0,69% meningkatkan tinggi tanaman, jumlah biji/malai bobot biji, indeks luas daun, hasil dan indeks panen serta mempercepat masak fisiologi tanaman gandum (Tabel 10). Pemupukan optimal pada tanah ini adalah 120 kg P2O5/ha (Hussain *et al.* 2008).

Tabel 9. Pengaruh pemupukan P terhadap jumlah anakan, jumlah biji/malai, bobot biji, hasil, dan protein biji gandum pada tanah kalkareous (pH 8,2). Toba Tek Singh, Pakistan, 2006.

Takaran P_2O_5	Jumlah anakan/ m^2	Jumlah biji/malai	Bobot 1.000 biji (g)	Hasil (t/ha)	Protein biji (%)
0	229 d	26 c	26,28 d	1,58 d	8,01 d
47	271 c	31 b	31,92 c	3,33 c	9,66 c
81	307 a	39 a	36,25 a	3,94 a	11,29 b
111	295 b	37 a	34,48 b	3,67 b	12,35 a
LSD 0,05	7,6	1,9	1,047	0,107	0,083

Sumber: Rahim *et al.* (2010).

Tabel 10. Pengaruh pemberian P terhadap tinggi tanaman, jumlah biji, bobot biji, indeks luas daun, indeks panen dan masak fisiologi pada tanaman gandum tanah kalkareous (pH 8,08). Multan, Pakistan, 2007.

Takaran P_2O_5 (kg/ha)	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah biji/malai	Bobot 1.000 biji (g)	Indeks luas daun	Hasil (t/ha)	Indeks panen (%)	Masak fisiologi (hari)
60	89 c	41	36 c	4,19 c	3,57 c	38,82 c	138 a
90	91 b	43 ab	37 b	4,38 b	3,69 b	39,11 b	134 b
120	92 a	44	38 a	4,54 a	3,80 a	39,93 a	129 c
LSD	0,56	Ns	0,16	0,047	0,112	0,222	1,998

Sumber: Hussain *et al.* (2008).

Pemupukan P pada tanah lempung berpasir dengan pH netral (6,8) dan kandungan bahan organik 0,48% meningkatkan tinggi tanaman, jumlah malai, bobot 1.000 biji, dan hasil (Tabel 11). Takaran P optimal untuk tanaman gandum pada tanah ini adalah 22-44 kg P_2O_5 /ha (Mojid *et al.* 2012).

P di dalam tanah tidak bersifat mobil, karena itu pemupukan P pada tanaman gandum jika memungkinkan dekat dengan benih dan pada awal tanam secara alur, terutama jika kadar P dalam tanah sangat rendah. Pemberian P pada awal tanam dimaksudkan untuk mempercepat perkembangan akar agar dapat menyerap hara lainnya dengan baik. Pemberian P dilakukan bersamaan dengan pemberian N tahap pertama. Hasil penelitian Rahim *et al.* 2010 menunjukkan pemberian P secara alur dekat benih meningkatkan hasil biji, kadar P dalam biji dan jerami, efisiensi penggunaan P total serapan P dan protein biji dibanding pemberian P secara sebar (Tabel 12). Pemberian P sekaligus pada awal tanam lebih baik dibanding secara bertahap (Tabel 13).

Sumber pupuk P yang umum tersedia di tingkat petani adalah pupuk tunggal SP36 (36% P_2O_5) dan TSP (45% P_2O_5), dan pupuk majemuk NPK. Hasil penelitian Maqbool *et al.* (2012) menunjukkan sumber pupuk P dalam bentuk TSP tidak

Tabel 11. Pengaruh takaran pemupukan P terhadap tinggi tanaman, jumlah malai, bobot biji, hasil, dan indeks panen pada tanah dengan pH netral (6,8). Mymensingh, Bangladesh, 2010.

Takaran P ₂ O ₅ (kg/a)	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah malai/m ²	Bobot 1.000 biji (g)	Hasil (t/ha)	Indeks panen
0	94 a	296 a	41,03 a	2,82 a	36,4 a
22	100 b	343 b	40,96 a	3,51 ab	36,2 a
44	101 b	361 b	40,30 a	4,16 b	38,6 a
66	102 b	372 b	41,13 a	4,09 b	36,7 a
88	102 b	366 b	41,13 a	3,78 b	33,6 a
HSD0,05	3,9	41,9	2,98	0,8	5,0

Sumber: Mojid *et al.* (2012).

Tabel 12. Pengaruh cara pemberian pupuk P terhadap hasil biji, kadar P dalam biji dan jerami, efisiensi penggunaan P, total serapan P dan protein biji gandum. Toba Tek Singh, Pakistan, 2006.

Cara pemberian	Hasil (t/ha)	P dalam biji (%)	P dalam jerami (%)	Efisiensi penggunaan P (%)	Total serap P (kg/ha)	Protein biji (%)
Alur	3,17	0,156 a	0,108 a	10,98 a	10,09 a	10,73 a
Sebar	3,10	0,140 b	0,100 b	9,72 b	8,47 b	9,93 b
LSD (P=0,05)	0,076	0,003	0,0024	0,182	0,217	0,059

Sumber: Rahim *et al.* (2010).

Tabel 13. Pengaruh waktu pemberian P terhadap hasil, bobot jerami, indeks panen, dan total serapan P. Faisalabad, Pakistan, 2001.

Perlakuan	Hasil (t/ha)	Bobot kering jerami (t/ha)	Indeks panen (%)	Total serapan P (kg/ha)
Kontrol (tanpa P)	2,88 b	6,25 b	31,3	16,9 c
100% awal tanam	3,54 a	7,10 a	33,2	31,3 ab
50% awal tanam+50% pada 45 HST	2,98 b	6,60 b	33,1	37,4 a

Sumber: Yaseen *et al.* (2003).

Tabel 14. Pengaruh sumber pupuk P terhadap tinggi tanaman, jumlah anakan, jumlah malai, bobot biji, hasil dan indeks panen. D.I Khan, Pakistan, 2010.

Jenis pupuk	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah anakan/m ²	Jumlah malai	Bobot 1.000 biji (g)	Hasil (t/ha)	Indeks panen
MAP	63,46	428,37	13,14	43,61	5,55	49,69
DAP	63,08	419,87	13,13	43,70	5,42	49,53
TSP	63,78	430,06	13,36	44,62	5,59	49,77
LSD (0,05)	TN	TN	TN	TN	TN	TN

MAP= mono-amonium phosfat, DAP=Diamonium phosfat (46% P₂O₅, 18% N),

TSP=triple super fosfat 45% P, TN (tidak nyata).

Sumber: Maqbool *et al.* (2012).

memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan dan hasil gandum dibanding DAP maupun MAP (Tabel 14).

Kalium

Kalium berperan dalam aktivitas fungsi biokimia tanaman, misalnya mengaktifkan berbagai enzim dan co-enzim, pembentukan protein, karbohidrat dan kadar lemak, mengatur dalam membuka dan menutup stomata, sehingga tanaman dapat terhindar dari pengaruh kekeringan, meningkatkan ketahanan terhadap hama dan penyakit, dan tanaman tidak mudah rebah.

Gejala kahat K pada tanaman gandum adalah daun berwarna kuning, dimulai pada ujung daun kemudian menjalar ke sepanjang pinggir daun dan lambat laun daun berwarna cokelat tetapi tulang daun tetap hijau. Pada tanaman yang sangat kahat K, anakan muda banyak yang mati sebelum membentuk malai, bila terbentuk, malai pendek sehingga sedikit biji yang dihasilkan, bobot biji ringan, tanaman mudah rebah, dan mudah terinfeksi fungi yang ada di tanah. Tanaman gandum kekurangan K apabila kandungan K dalam jaringan daun <1,3% (Snowbal and Robson 1991). Kahat K umumnya dijumpai pada tanah bertekstur ringan karena terjadinya pencucian akibat curah hujan tinggi, bahan organik tanah rendah, pH yang ekstrim (basa atau masam), rasio Na:K, Mg:K, atau Ca:K tinggi (Sharma and Kumar 2011).

Takaran K pada tanaman gandum untuk mencapai hasil 4 t/ha adalah 17-72 kg K₂O/ha (Leikam *et al.* 2003). Hasil penelitian Tahir *et al.* (2008) dan Abbas *et al.* (2013) menunjukkan pemupukan K pada tanaman gandum meningkatkan jumlah anakan produktif, tinggi tanaman, jumlah biji per malai, bobot biji, dan hasil biji (Tabel 15). Pada tanah dengan pH 8,1 dan ketersedian K 139 ppm, tanaman gandum membutuhkan 90 kg K₂O/ha (Tabel 16).

Tanaman gandum di wilayah tropis sering tidak bermalai (*unfertile*). Penyemprotan KNO₃ dengan dosis 10 kg/ha yang diaplikasikan sebelum tanaman berbunga akan membantu singkronisasi pembungaannya dan mengatasi tanaman *unfertile*.

Tabel 15. Pengaruh takaran pemupukan K terhadap jumlah anakan produktif, tinggi tanaman, jumlah anakan, bobot biji, dan hasil. Faisalabad, Pakistan, 2005.

Takaran K ₂ O/ha	Jumlah anakan produktif/m ²	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah biji/malai	Bobot 1.000 biji (g)	Hasil (t/ha)
30	313 c	90, b	45 b	40,0 c	4,1 c
60	376 b	91, a	45 a	40,9 b	4,3 b
90	385 a	89, c	46 a	41,8 a	4,4 a
LSD (5%)	1,74	0,34	0,24	0,18	0,04

Sumber: Tahir *et al.* (2008).

Tabel 16. Pengaruh pemupukan K terhadap jumlah anakan produktif, tinggi tanaman, jumlah biji/malai, bobot biji dan hasil tanaman gandum. Miawali, Pakistan, 2008.

Takaran K ₂ O (kg/ha)	Jumlah anakan produktif	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah biji/malai	Bobot 1.000 biji (g)	Hasil (t/ha)
0	410 b	99 a	33 e	40 c	3,75 c
31	431 a	99 a	38 e	43 c	4,17 b
62	430 a	100 a	42 c	45 ab	4,45 a
93	431 a	100 a	47 a	49 a	4,53 a
124	430 a	100 a	46 b	47ab	4,48 ab
LSD	12,05	99,5	1,15	3,44	1,18

Sumber: Abbas *et al.* (2013).

Pemberian K lebih awal diperlukan untuk mendapatkan pertumbuhan dan hasil maksimum. Pada tanah berpasir dengan potensi pencucian hara K tinggi, pemberian K sebaiknya secara betahap (dua kali aplikasi), setengah dosis diberikan pada awal tanam dan setengah dosis lainnya, pada fase pembentukan anakan. Pemberian K setelah fase pembentukan anakan kurang bermanfaat (Crozier *et al.* 2015).

Sumber pupuk K yang umumnya tersedia di petani adalah pupuk tunggal KCl (60-66% K₂O), kalium sulfat/ZK (50% K₂O dan 17% S), dan KNO₃ (13% N dan 44% K₂O), atau K dalam pupuk majemuk NPK.

Sulfur

Sulfur berperan sebagai pembentuk asam amino dan klorofil. Tanaman gandum yang kekurangan S akan memendek, kurus dan tipis, ukuran malai kecil dan jumlah biji per malai rendah (jumlah malai sangat berkontribusi terhadap hasil), pemasakan biji lambat. Gejala kahat S mirip dengan gejala kahat N, karena S dalam tanaman bersifat tidak mobil sehingga gejala klorosis terlihat pada daun

muda dan daun yang terletak dekat pucuk. Pangkal daun muda berwarna hijau pucat hingga kuning. Kekurangan S dalam tanaman tidak hanya sebagai faktor pembatas bagi pertumbuhan tanaman dan hasil biji, tetapi juga menurunkan kualitas biji dan tepung, karena S merupakan penyusun dari beberapa senyawa penting, seperti sistein, metionin, koenzim, thioredoxine, dan sulfolipids (Marschner 1997).

Kahat S pada tanaman gandum sering dijumpai pada tanah yang kandungan bahan organiknya rendah, tekstur berpasir, kadang juga pada tanah lempung berpasir dengan kandungan bahan organik sedang, atau pada tanah kalkarik (Sharma and Kumar 2011, Camberato and Casteel 2010). Kadar S pada daun gandum <0,15% menunjukkan tanaman kekurangan S (Leikam *et al.* 2003). Kadar S dan rasio N:S dalam jaringan tanaman digunakan untuk mengidentifikasi status S. Semakin rendah konsentrasi S dan semakin tinggi rasio N:S semakin besar kemungkinan tanaman kekurangan S. Kadar S dalam jaringan tanaman gandum <0,12% dan rasio N:S dalam jaringan tanaman >20:1 menunjukkan defisiensi S. Hara sulfur kemungkinan besar cukup jika kadar S dalam jaringan tanaman >0,20% dan rasio kadar N:S dalam jaringan tanaman <12:1. Apabila rasio kadar N:S lebih besar dari 15:1 dapat dilakukan pemupukan S sebanyak 24–48 kg S/ha (Camberato and Casteel 2010). Pemupukan S yang rasional pada tanaman gandum meningkatkan kapasitas fotosintesis dan protein daun pada setiap fase tumbuh, daun bendera, jumlah malai, jumlah biji per malai, bobot biji dan hasil (Chun-ying *et al.* 2005).

Pemupukan S pada tanah alkalin meningkatkan jumlah anakan, tinggi tanaman, panjang malai, jumlah biji/malai, bobot biji, bobot jerami, serapan S dalam biji dan hasil (Ali *et al.* 2012)

Penelitian pada tanah alkalin lempung berlatar dengan pH 8,2, kandungan bahan organik 1,3%, dan kadar S(SO₄) 7,66 ppm menunjukkan pemupukan optimal adalah 50 kg S/ha dengan hasil 4,04 t/ha (Tabel 17).

Tabel 17. Pengaruh pemupukan S terhadap pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman gandum. Sheikhupura, Pakistan, 2010.

Takaran S (kg/ha)	Jumlah anakan/ 5 tanaman	Tinggi tanaman (cm)	Panjang malai (cm)	Jumlah biji/malai	Bobot 1.000 biji (g)	Bobot jerami (t/ha)	Hasil (t/ha)
0	64 c	87 c	7,4 c	42 c	32 c	4,53 d	3,2 c
25	96 b	105 a	9,5 b	56 b	43 b	5,03 c	3,6 b
50	110 a	98 b	10,7 a	63 a	47 a	5,80 a	4,0 a
75	96 b	100 ab	9,5 b	46 c	41 b	5,53 b	3,6 b
LSD	4,21	5,7	0,49	6,6	3,03	0,25	0,35

Sumber: Ali *et al.* (2012).

Selain berpengaruh pada hasil biji, hara S berpengaruh positif terhadap kualitas gabah dan tepung. Pemupukan S meningkatkan kandungan asam amino dalam protein. Pemberian S meningkatkan kandungan rata-rata sistein 24,5%, metionin 35,3%, treonin 14,4% dan lisin 7,7% lebih tinggi dibanding tanpa pemupukan S (Jarvan *et al.* 2008).

Sumber pupuk S yang dapat digunakan adalah gipsum (CaSO_4), kalium sulfat/ZK, dan amonium sulfat. Pemupukan menggunakan gipsum memberikan hasil yang sama dengan pemberian kalium sulfat (Ceh *et al.* 2008) dan amonium sulfat (Islam *et al.* 2013).

KESEIMBANGAN HARA

Pemupukan dengan takaran yang tepat dan seimbang antar berbagai hara meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan meningkatkan hasil biji secara berkesinambungan. Defisiensi salah satu hara yang dibutuhkan tanaman menurunkan efisiensi setiap hara, sehingga produktivitas tanaman menurun. Pemupukan pada tanaman serealia (jagung, padi, gandum dan sorgum) di tingkat petani umumnya mengutamakan penggunaan N dan cenderung dengan dosis berlebih dengan maksud untuk meningkatkan produktivitas. Pemberian pupuk N tanpa P dan K dan hara lainnya yang masih kekurangan menyebabkan keseimbangan hara terganggu. Pengaruh negatif ketidakseimbangan hara dapat berupa tanaman mudah rebah, persaingan dengan gulma, mudah terserang hama dan penyakit, serta penurunan produktivitas. Hasil penelitian Wang *et al.* (2008) pada tanah berkapur dengan terkstur lempung menunjukkan jika tanaman dipupuk lengkap dengan 375 N, 150 P_2O_5 , 200 kg K_2O dan 15 Zn kg/ha memberikan hasil biji 7,79 t/ha tetapi jika salah satu hara yang dibutuhkan tidak diberikan, maka hasil menurun. Tanpa N, K, P dan Zn akan menurunkan hasil berturut-turut 53, 18, 4, dan 7%, dan jika tanpa pupuk terjadi penurun hasil 56% (Tabel 18).

Tabel 18. Pengaruh pemupukan N,P,K, dan Zn terhadap hasil gandum. Shanxi, China, 2005.

Kombinasi pupuk (375 N, 150 P_2O_5 , 200 K_2O , dan 15 Zn kg/ha)	Hasil (t/ha)	Penurunan hasil %
NPKZn	7,79	-
NPK (-Zn)	7,25	7
NKZn (-P)	6,35	18
NPZn(-K)	7,45	4
PKZn (-N)	3,60	54
Tanpa pupuk	3,44	56

Sumber: Wang *et al.* (2008).

PEMBERIAN BAHAN ORGANIK

Penggunaan pupuk anorganik pada awalnya meningkatkan produktivitas, tetapi dalam jangka panjang, terutama jika pemupukan tidak seimbang dan dengan intensitas pertanaman yang tinggi, menyebabkan degradasi kesuburan lahan, sehingga lambat laun produktivitas menurun. Karena itu, untuk menjamin keberlanjutan produksi diperlukan tambahan pupuk organik. Penelitian pemupukan jangka panjang (1988-2002) dalam pola tanam sorgum-gandum pada tanah Vertisol, typic Haplustert, menunjukkan pemberian pupuk setiap musim tanam menggunakan NPK+bahan organik atau NPK secara berimbang meningkatkan hasil setiap tahun pada tanaman sorgum masing-masing 0,044 dan 0,052 t/ha dan pada tanaman gandum 0,052, dan 0,103 t/ha (Manna *et al.* 2005). Jika hanya dipupuk dengan NP atau NK atau tanpa pemupukan terjadi penurunan hasil setiap tahun pada tanaman sorgum masing-masing 0,103; 0,119; dan 0,113 t/ha dan gandum 0,014; 0,046; dan 0,023 t/ha. Di samping meningkatkan hasil, indeks keberlanjutan hasil tanaman sorgum maupun gandum pada pemupukan NPK + bahan organik lebih tinggi dibanding pemberian pupuk NPK, NP, NK, dan tanpa pupuk (Tabel 19).

Pemberian bahan organik selain meningkatkan produktivitas, juga berdampak terhadap peningkatan efisiensi penggunaan pupuk anorganik dan dalam jangka panjang memperbaiki kesuburan biologi dan sifat fisik tanah. Hasil penelitian pemupukan jangka panjang pada tanah Inceptisol dengan pola tanam gandum-jagung menunjukkan pemberian pupuk organik atau separuh pupuk organik+NPK mempunyai kandungan C dan N yang lebih tinggi serta jumlah mikroba aktif (jamur dan bakteri) lebih banyak dibanding pemupukan NPK, NP, NK dan tanpa pupuk (Mandal *et al.* 2007, Gong *et al.* 2009). Keseimbangan pemberian pupuk anorganik dengan organik meningkatkan

Tabel 19. Perubahan hasil, indeks keberlanjutan hasil pada penelitian pemupukan organik dan anorganik jangka panjang dalam pola tanam sorgum-gandum. Akola, India, 1988–2002.

Perlakuan	Perubahan hasil (t/ha)			Nilai-p	Hasil awal (t/ha)	Indeks keberlanjutan hasil
		t- statistik				
Sorgum (MT I), takaran pupuk 100 N, 50 P ₂ O ₅ , dan 40 K ₂ O kg/ha	Tanpa pupuk	-0,103	-3,095	0,008	1,63	0,02
	N	-0,119	-2,191	0,046	2,84	0,14
	NP	-0,113	-1,479	0,161	3,54	0,21
	NPK	0,044	0,573	0,576	3,41	0,27
	NPK+pupuk org.	0,052	0,734	0,476	3,4	0,41
Gandum (MT II), 100 N, 60 P ₂ O ₅ , dan 60 K ₂ O kg/ha	Tanpa pupuk	-0,014	-1,994	0,006	0,30	0,01
	N	-0,046	-2,177	0,047	1,38	0,15
	NP	-0,023	-0,621	0,544	1,65	0,21
	NPK	0,052	1,130	0,278	1,55	0,28
	NPK+pupuk org.	0,103	1,856	0,085	1,67	0,36

Sumber: Manna *et al.* (2005).

karbon tanah dan produtivitas tanaman tetap tinggi dalam jangka panjang (Liu *et al.* 2013, Brar *et al.* 2015).

Budi daya gandum di Indonesia umumnya setelah pertanaman sayuran di dataran tinggi. Pada pertanaman sayuran, petani menggunakan pupuk organik (kompos atau pupuk kandang), sehingga pupuk organik di areal tersebut cukup tersedia untuk tanaman gandum. Pemanfaatan jerami gandum untuk bahan baku pupuk organik juga perlu dilkukan sehingga terjadi siklus hara.

Pemanfaatan bahan organik perlu memperhitungkan kandungan haranya untuk menentukan takaran pupuk anorganik. Hasil penelitian Shah *et al.* (2010) menunjukkan bahwa penggunaan 25% N yang berasal dari kotoran sapi, kotoran ayam, atau sampah kota yang dikombinasi dengan 75% N dari urea untuk tanaman gandum memberikan pengaruh yang sama dengan pemberian 100% N urea (Tabel 20). Pemberian pupuk kandang 100% dari takaran N yang dibutuhkan tanaman tidak dapat mengganti seluruh kebutuhan hara N dalam meningkatkan produktivitas tanaman gandum, karena itu tetap diperlukan tambahan N yang berasal dari pupuk anorganik (urea). Hasil penelitian Shah dan Ahmad (2006) menunjukkan rasio yang baik pupuk kandang dengan urea adalah 25:75% atau 50:50% (Tabel 21).

Setiap sumber bahan organik mempunyai kandungan hara yang berbeda, karena itu diperlukan analisis kandungan hara dari bahan organik yang akan digunakan. Secara umum kandungan hara masing-masing bahan organik tercantum pada Tabel 22.

Tabel 20. Pengaruh pupuk organik tehadap tanaman gandum. Khyber, Pkhantunkhwa, Pakistan, 2005.

Kombinasi N dan pupuk organik*	Tinggi tanaman (cm)	Panjang malai (cm)	Jumlah biji/malai	Bobot 1.000 biji (g)	Hasil (t/ha)
Tanpa N	43 c	3,4 c	31 d	20,6 e	2,15 c
100% N	94 a	8,4 b	40 bc	40,1 bcd	2,85 ab
25% N kotoran sapi + 75% N urea	94a	8,5 b	42 ab	39,7 cd	2,70 ab
25% N kotoran ayam + 75% N urea	89 b	8,5 b	41 ab	39,4 d	2,55 b
25% N sampah kota + 75% N urea	95 a	8,4 b	40 bc	41,5 abc	2,90 ab
25% N kotoran sapi + 2					
5% kotoran ayam + 50% N urea	93 ab	8,4 b	39 bc	42,7 a	3,05 a
25% N kotoran sapi +					
25% sampah kota + 50% N urea	95 a	8,5 b	38 c	41,9 ab	3,05 a
25%N sampah kota +					
25% kotoran ayam + 50% N urea	93 ab	9,1 a	43 a	41,3 abcd	2,80 ab
LS	4,3	0,34	3,116	2,1	0,7795

* = Total takaran N adalah 100 kg/ha

Sumber: Shah *et al.* (2010)

Tabel 21. Pengaruh kombinasi N-urea dengan N-pupuk kandang terhadap bobot jerami dan hasil gandum. Penshawar, Pakistan, 2002.

Urea (% N)*	Pupuk kandang (% N)*	Bobot jerami (kg/ha)	Hasil (kg/ha)
0	0	3.877 e	1.322 d
100	0	6.433 c	2.569 b
75	25	7.710 a	3.242 a
50	50	6.959 b	3.199 a
25	75	6.205 c	2.339 b
0	100	5.601 d	1.930 c
LSD 5%	283,5	191,7	

* Total takaran N adalah 120 kg/ha.

Sumber: Shah dan Ahmad (2006).

Tabel 22. Kandungan hara N, P, dan K beberapa bahan organik.

Bahan organik	Kandungan (%)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Serasah gandum	0,53	0,10	1,10
Serasah jagung	0,42	1,57	0,42
Serasah kedelai	5,55	0,34	2,41
Serasah kacang tanah	1,6-1,8	0,3-0,5	1,1-1,7
Sesbania	3,3	0,7	1,3
Krotalaria	2,6	0,6	2,0
Abu sekam	0,31	0,08	0,28
Jerami padi	0,5	0,30	1,20
Enceng gondok	2,30	0,24	1,98
Kotoran ayam	1,00	0,80	0,40
Kotoran domba	0,95	0,35	1,00
Kotoran Sapi	0,56	0,12	0,08
Kotoran kuda	0,70	0,25	0,55
Kotoran babi	0,50	0,35	0,40

Sumber: Syafruddin (2013), Chandra (2005).

PENUTUP

Selain temperatur yang relatif tinggi, ketersediaan hara yang rendah menjadi faktor pembatas utama dalam pengembangan gandum di Indonesia yang beriklim tropis basah. Untuk mencukupi kebutuhan hara tanaman agar diperoleh hasil gandum yang optimal pada tanah dengan suhu alami, diperlukan tambahan hara melalui pemupukan.

Pemupukan menggunakan prinsip 4T (tepat takaran/dosis, tepat jenis hara, tepat waktu, tepat metode). Perbedaan kesuburan tanah dan pengelolaan

tanaman akan menyebabkan perbedaan pemupukan, karena itu pemupukan bersifat spesifik lokasi. Seperti halnya tanaman padi dan jagung, pemupukan NPK pada tanaman gandum merupakan keharusan, apabila menginginkan hasil yang tinggi.

Hasil gandum dengan pemupukan optimal lebih rendah dibandingkan dengan hasil jagung atau padi. Hal itu kemungkinan disebabkan oleh sifat tanaman gandum yang kemampuannya membentuk biomass lebih rendah, dan tingkat partisioning fotosintat ke dalam "sink" juga rendah. Di wilayah tropis, dengan suhu malam hari tinggi, mengubah gula sebagai bahan biji menjadi CO_2 .

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, G., J.Z.K. Kattak, G. Abbas, M. Ishaque, M. Aslam, Z. Abbas, M.Amer, and M.B. Khohar. 2013. Profit maximizing level of potash fertilizer in wheat production under arid environment. Pak. J. Bot. 45(3):961-965.
- Alam, M.M., J.K. Ladha, Foyjunnessa, Z. Rahman, S.R. Khan, Harun-ur-Rashid, A.H. Khan, and R.J. Buresh. 2006. Nutrient management for increased productivity of rice-wheat cropping system in Bangladesh. Field Crops Res. 96:374-386.
- Alley, M.M., P. Scharf, D.E. Brann, J.J. Hammons. 2009. Nitrogen management for winterwheat Principle and Recomendations. Virginia Cooperative Extension. Publication (424-026). p. 6.
- Ali, A., M. Arshadullah, S.I. Hyder, and I.A. Mahmood. 2012. Effect of different levels of sulfur on the productivity of wheat in a saline sodic soil. Soil Environ 31(1):91-95.
- BPS. 2015. Data kebutuhan dan import gandum Indonesia (data diolah). www.BPS.go.id. Tgl 15 Juni 2015.
- Brar, B.S., J. Singh, G. Singh, and G. Kaur. 2015. Effects of long term application of inorganic and organic fertilizers on soil organic carbon and physical properties in maize-wheat rotation. Agronomy 5:220-238;
- Camberato, J. and S. Casteel. 2010. Keep an eye open for sulfur deficiency in wheat. Agronomy Department, Purdue University. p. 3.
- Chaturvedi, I. 2006. Effects of different phosphorus levels on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.). Int'l. J. Plant Sci. (Muzaffarnagar) 1(2):278-281.
- Chandra, K. 2005. Organic Manure. Regional Centre of Organic Farming. Bangalore. India. p. 46.
- Ceh, B., R. Hrastar, A. Tajnsek, and I.J. Kosir. 2008. Impact of source and application time of sulphur on the yield, oil content and protein content in winter oilseed rape. Acta agriculturae Slovenica 91(1):5-14.
- Chun-ying, M., L. Yan-ming, H. Jin-ling. 2005. Effects of different dose of sulfur fertilizer on photosynthetic characteristics and grain yield in winter wheat. J. Plant Nutrition and Fertilizer Science 11(2):211-217.
- Crozier,C., R. Heiniger, and R. Weisz. 2015. Nutrient management for small drains. // www.smallgrains.ncsu.edu (15 oktober 2015). p. 7.

- Earth Policy Institute. 2015. Fertilizer consumption and grain production for the world, 1950-2013. www.earth-policy.org. Tgl. 18 November 2015.
- Effendi, R., Suwardi, Syafruddin, dan Zubactirodin. 2012. Penentuan takaran pupuk Nirogen pada tanaman jagung hibrida berdasarkan klorofil meter dan bagan warna daun. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 31(1):27 -34.
- FAOSTAT. 2015. Harvest area, production, yiel of wheat. www.fao.org. Tgl 12 November 2015.
- Filho, M.C.M.T, S.B.M. Andreotti, and O.A. M. Eustaquio de SalII. 2011. Application times, sources and doses of nitrogen on wheat cultivars under no till in the Cerrado region Ciéncia Rural, Santa Maria, 41(8):1375-1382.
- Gong, W., Z. Yang, J. Wang, T. Hu, and Y. Gong. 2009. Long-term manure and fertilizert eeffect on soil organic matter fractions and microbes under a wheat-maize cropping system in Northern China. *Geoderma* 149: 318-324.
- Gupta, R.K. and I.P. Abrol. 1990. Salt-affected soils: their reclamation and management forcrop production. *Adv. Soil Sci.* 11: 223-288.
- Heyland, K.Y and A. Werner. 2014. Wheat (*Triticum aestivum* L., *T. durum* Desf.) Lehrstuhl fuer Speziellen Pflanzenbau und Pflanzenzuechtung, University of Bonn, Germany..http://afghanag.ucdavis.edu/b_field-crops/wheat-1/FS_Wheat_Fert_WFUM_IFA.pdf. Tgl 10 September 2014.
- Hussain, N., M.B. Khan, and R. Ahmad. 2008. Influence of phosphorus application and sowing time on performance of wheat in calcareous soils. *Int. J. Agri. Biol.* 10: 399-404.
- Islam, M., M. Akmal, and M.A. Khan. 2013. Effect of phosphorus and sulfur application nutrient balance under chickpea monocropping. *Romanian Agricultural Research* 30:223-232.
- Jan, M.T, M.J. Khan, A. Khan, M. Aif, Farhatullah, D. Jan, M. Saeds, and M.Z. Rafrid. 2011. Improving wheat productivity through source and timing of nitrogen fertilization. *Pak. J. Bot.* 43(2): 905-914.
- Jarvan, M., L. Edesi, A. Adamson, L. Lukme, and A. Akk. 2008. The effect of sulphur fertilization on yield, quality of protein and baking properties of winter wheat. *Agronomy Research* 6(2):459-469.
- Jiang, Z.Q., C.N. Feng, L.L. Huang, W.S. Guo, X.K. Zhu, and Y.X. Peng. 2006. Effects of phosphorus application on dry matter production and phosphorus uptake in wheat. *Plant Nut. and Fert. Sci.* 12(5): 628-634.
- Khalid, S., M. Shafi, S. Anwar, J. Bakht, and A.D. Khan. 2004. Effect of nitrogen and phosphorus application on the yield and yield components of wheat. *Sarhad J. Agric.* 20(3): 347-353.
- Leikam, D.F., R.E. Lamond, and D.B. Mengel. 2003. *Soil Test Interpretations andFertilizer Recommendations*. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. p. 20.
- Liu, E., C. Yan, X. Mei, Y. Zhang, and T. Fan. 2013. Long-term effect of manure and fertilizer on soil organic carbon pools in dryland farming in Northwest China. *Plos One* 8(2): 1-9.
- Maqbool, M.M., M. Ahmad, A. Ali, R. Mehmood,M. Ahmad, and M. Sarwar. 2012. Optimizing the method and source of Phosphatic Nutrition for wheat (*Triticum astivum* L.) Under Agro-Climate of Dera Ghazi Khan, Pakistan. *Pakistan Journal of Nutrition* 11(9): 787-792.

- Mandal, A., A.K. Patra, D. Singh, A. Swarup, and R.E. Masto. 2007. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages. *Bioresource Technology* 98: 3585-3592.
- Manna, M.C., A. Swarup, R.H. Wanjari, H.N. Ravankar, B. Mishra, M.N. Saha, Y.V. Singh, D.K. Sahi, and P.A. Sarap. 2005. Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India. *Field Crops Res.* 93: 264-280.
- Marschner, H. 1997. Sulfur Supply, Plant Growth, and Plant Composition. In: *Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, Cambridge. p. 261-265.
- Mehdi, S.M., M. Sarfraz, G. Shabbir, and G. Abbas. 2007. Effect of inorganic nitrogenous fertilizer on productivity of recently reclaimed saline sodic soils with and without biofertilizer. *Pakistan. J. Biol. Sci.* 10: 2396-2401.
- Mojid, M.A., G.C.L. Wyseure, and S.K. Biswas. 2012. Requirement of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers for wheat cultivation under irrigation bymunicipal wastewater. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12(4): 655-665.
- Murdock, L., J. Grove, and G. Schwab. 2009. Fertilizer Management. In: Lee *et al.* (Eds.): *Comprehensive Guide to Wheat Management in Kentucky*. Cooperative Extension Service. University of Kentucky College of Agriculture, lexiton. p. 25-29.
- Naveed, K., M.A. Khan, M.S. Baloch, N. Khan, and M.A. Nadim. 2013. Effect of time of nitrogen application on morfologi and fisiological attributes of dual-purpose wheat. *Pak. J. Bot.* 45(4): 1299-1305.
- Phillips, S. and R. Norton. 2012. Global Wheat Production and Fertilizer Use. *Better Crops* 96(3): 4-6.
- Rahim, A.M., Ranjha, Rahamtulla, and E.A. Waraich. 2010. Effect of phosphorus application and irrigation scheduling on wheat yield and phosphorus use efficiency. *Soil and Environ.* 29(1):15-22.
- Rahman M.A., M.A.Z. Sarker, M.F. Amin, A.H.S. JAHAN, and M.M. Akhter. 2011. Yield response and nitrogen use efficiency of wheat under different doses and split application of nitrogen fertilizer. *Bangladesh J. Agril. Res.* 36(2): 231-240.
- Scharf, P.C. and J.A. Lory. 2002. Best management practices for nitrogen fertilizer in Missouri. University of Missouri. Extension Publication. p.11.
- Sharma, M.K. and P. Kumar. 2011. A Guide to Identifying and Managing Nutrient Deficiencies in Cereal Crops. International Plant Nutrition Institute (IPNI). p. 50.
- Shah, S.A., S.M. Shah, W. Mohammad, M. Shafi, H. Nawaz, S. Shehzadi, and M. Amir. 2010. Effect of integrated use of organic an inorganik nitrogen sources on wheat yield. *Sarhad J. Agric.* 26(4): 559-565.
- Shah, Z. and M.I. Ahmad. 2006. Effect of integrated use of farm yard manure and urea on yield and nitrogen uptakeof wheat. *J. of Agricultural and Biological Sci.* 1(1): 60-65.
- Shahzad, K.A. Khan, and I. Nawaz. 2013. Response of wheat varieties to different nitroen levels under agroclimat conditions of mansehra. *Sci. Tech. and Dev.* 32(2): 99-103.
- Shelley, K.B. 2014. Nitrogen fertilizer rates and application timing for winter wheat in Wisconsin-What are the economic optimums. Univ. of Wisconsin-Extension Nutrient and Pest Management Program. p. 12.

- Singh, V., B. Singh, Y. Singh, H.S. Thind, G. Singh, and S. Kaur. 2012. Establishment of threshold leaf colour greenness for needbased fertilizer nitrogen management in irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) using leaf colour chart. *Field Crops Res.* 130:109-119.
- Singh, V., B. Singh, H.S. Thind, Y. Singh, R.K. Gupta, S. Singh, M. Singh, K. Satwinderjit, M. Singh, J.S. Brar, A. Singh, J. Singh, Kumar, S. Singh,A. Kaur, and V. Balasubramanian. 2014. Evaluation of leaf colour chart for need-based nitrogen management in rice, maize and wheat in north-western India. *Journal of Research* 51 (3 and 4): 239-245.
- Snowball, K. and A.D. Robson. 1991. Nutrient Deficiencies and Toxicities in Wheat: A Guide for Field Identification, Mexico, D.F.: CIMMYT. p. 82.
- Swarup, A. and N.P.S. Yaduvnshi. 2012. Nutrient and water management in salt-affected soils in relation to crop production and environment. In: Soil Science in the Service of Nation. Indian Society of Soil Science, New Delhi, India. p. 68-78.
- Syafruddin, S. Saenong, dan Subandi. 2008. Penggunaan bagan warna daun untuk effisiensi pemupukan N pada tanaman jagung. *Jurnal Penelitian Tanaman Pangan* 27(1): 24-31.
- Tahir, M., A. Tanveer, A. Ali, M. Ashraf, and A. Wasaya. 2008. Growth and yield response of two wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties to different potassium levels. *J. Life Soc. Sci.* 6(2): 92-95.
- Velasco, J.L, H.S. Rozas, H.E. Echeverrý, and P.A. Barbieri. 2012. Optimizing fertilizer nitrogen use efficiency by intensively managed spring wheat in humid regions: Effect of split application. *Can. J. Plant Sci.* 92: 847-856.
- Wang, H., P. He, B. Wang, P. Zhao, and H. Guo. 2008. Nutrient management within a wheat-maize rotation system. *Better Crops.* 92(3):12-14.
- Wang, G., X. Chen, Z. Cui, S. Yue, F. Zhang. 2014. Estimated reactive nitrogen losses for intensive maize production in China Agriculture. *Ecosystems and Environment* 197: 293-300.
- Whitney, D.A. 1997. Nutrient management. inwheat production handbook wheat production handbook. Kansas State University. p.13-16.
- Wise, K., B. Johnson, C. Mansfield, and C. Krupke. 2014. Managing Wheat by Growth Stage. Purdue university. p. 6.
- Whitney, D.A. 1997. Nutrient Management. In "Wheat Production Handbook".Kansas State University. p.12-15.
- Witt, C., J.M.C.A. Pasuquin, R. Mutters, R.J. Buresh. 2005. New leaf color chart for effective nitrogenmanagement in rice. *Better Crops* 89:36-39.
- Woyoma A1, Bultosa G*2 and A Taa3. Efect of different nitrogen fertilizer rates on yield and yield related traits for seven durum wheat (*Triticum turgidum L. var Durum*) cultivar grown at Sinana, Sout Easterrn Ethopia. *African J. Of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 12(3): 6079-6094.
- Yaseen, G. I. Mehboob, N. Ahmed, and M. Yaseen. 2003 Effect of phosphorus application time on yield and P use efficienci by wheat crop. *J. Agric Re.* 43(1): 1-7.
- Yousaf, M., S. Fahad, A.N. Shah, M. Shaaban, M.J. Khan, S.A.I. Sabil, S.A.I. Ali, Y. Wang, and K.A. Osman. 2014. The Effect of Nitrogen Application Rates and Timings of First Irrigation on Wheat Growth and Yield. *International J. of Agri. Innovations and Research* 2(4): 2319-1473.

Pengelolaan Penyakit Tanaman Gandum

Amran Muis dan Nurnina Nonci
Balai Penelitian Tanaman Serealia

PENDAHULUAN

Gandum merupakan salah satu komoditas serealia yang menyediakan pangan harian dalam jumlah besar bagi penduduk dunia. Komoditas ini merupakan sumber protein terpenting dan sumber kalori kedua terpenting setelah padi bagi masyarakat dunia. Permintaan akan gandum diperkirakan meningkat 60% pada tahun 2050, sebagian besar dari permintaan ini berasal dari Asia. Padahal peningkatan hasil panen sebagian besar produsen gandum dunia hanya 1% per tahun, kecuali Tiongkok yang meningkat lebih dari 3% per tahun. Dengan perhitungan peningkatan hasil 1% per tahun, produksi gandum hanya meningkat 15% pada tahun 2025 (Braun 2013).

Sebagaimana halnya komoditas pangan utama lainnya, upaya peningkatan produksi gandum juga dihadapkan kepada berbagai tantangan, baik dari aspek teknis maupun sosial ekonomis. Secara global, penyakit tanaman merupakan salah satu tantangan utama dalam produksi gandum, selain rendahnya takaran pupuk yang digunakan petani, patogen tanah, dan tanam terlambat (Rajaram 2013). Timbulnya epidemi penyakit tanaman disebabkan oleh kombinasi inokulum, lingkungan yang menguntungkan bagi perkembangan penyakit (iklim, tanah, dan sistem tanam), dan kerentanan tanaman. Perubahan sistem tanam, misalnya, telah menimbulkan implikasi serius di Asia Tengah dengan munculnya nekrotropik patogen (Duveiller 2013). Perubahan iklim juga akan menimbulkan tantangan tersendiri yang terkait dengan perubahan suhu dan pola tanam.

Di antara berbagai jenis penyakit yang merusak tanaman gandum, penyakit karat adalah yang paling merugikan dan paling luas penyebarannya, meliputi wilayah tropis dan subtropis. Penyakit karat batang (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) telah lama menjadi penyakit penting pertanaman gandum di Afrika Selatan (Pretorius *et al.* 2007). Potensi kehilangan hasil akibat penyakit karat bergantung pada tingkat ketahanan varietas, kondisi cuaca, dan umur tanaman pada saat tertular. Kehilangan hasil terbesar akibat penyakit karat terjadi apabila penularannya muncul sebelum fase pembentukan malai.

Hawar daun *Helminthosporium* juga merupakan penyakit yang serius pada tanaman gandum, terutama di daerah panas di Asia Selatan (Sharma and Duveiller 2003). Kehilangan hasil akibat penyakit ini bervariasi, bisa mencapai 20% di tingkat petani (Duveiller and Gilchrist 1994). Penelitian awal yang dilakukan oleh Rusae *et al.* (2014) di Kabupaten Timor Tengah Utara yang belum pernah ditanami gandum menunjukkan penyakit hawar daun *Helminthosporium* dan busuk batang *Rhizoctonia* menginfeksi tanaman gandum. Insidensi penyakit hawar daun *Helminthosporium* berkisar antara 80-90% sedangkan busuk batang

10-20%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa keparahan kedua penyakit ini lebih rendah pada varietas Dewata dibandingkan dengan varietas Selayar dan Nias.

Beberapa jenis penyakit utama gandum lainnya yang telah dilaporkan adalah penyakit Karnal bunt, scab, dan beberapa penyakit yang disebabkan oleh bakteri dan virus (Prescott *et al.* 2012).

Menghadapi masalah penyakit tersebut perlu dilakukan pengendalian secara terpadu (PHT), baik melalui penggunaan varietas tahan dan cara bercocok tanam, fisik, mekanik, biologi, maupun cara kimia.

PENYAKIT UTAMA

Prescott *et al.* (2012) melaporkan bahwa penyakit-penyakit utama gandum yang disebabkan oleh cendawan terdiri atas 25 spesies, yang disebabkan oleh bakteri tiga spesies, dan yang disebabkan oleh virus satu jenis. Tulisan ini mengemukakan beberapa jenis penyakit yang berpotensi merusak tanaman gandum di Indonesia.

Penyakit yang Disebabkan oleh Cendawan

Penyakit Karat

Penyakit karat paling merugikan secara ekonomi pada tanaman serealia di seluruh dunia. Potensi kehilangan hasil akibat penyakit ini bergantung pada tingkat kerentanan inang, kondisi cuaca, dan umur tanaman pada saat tertular.

Menurut Prescott *et al.* (2012), penyakit karat pada gandum disebabkan oleh tiga jenis patogen dengan gejala penularan yang berbeda-beda. Ketiga penyakit karat tersebut adalah karat daun yang disebabkan oleh *Puccinia recondita*, karat batang yang disebabkan oleh *P. graminis f.sp. tritici*, dan karat bergaris yang disebabkan oleh *P. striiformis*.

1. Penyakit Karat Daun (*Puccinia recondita*)



Gejala/penularan. Penyakit ini ditandai oleh munculnya pustul yang agak bulat berukuran kecil hingga besar, berwarna cokelat kekuningan. Pustul menyebar pada permukaan dan pelepas daun. Pada kultivar rentan, terbentuk pustul-pustul berukuran kecil di sekeliling pustul terdahulu. Pada kultivar tahan, pustul berukuran kecil, bahkan hanya nampak sebagai bintik-bintik nekrotik. Bila suhu meningkat, beberapa pustul berubah warna menjadi hitam dan membentuk teliospora. Telia kemudian tertutup oleh epidermis inang dan berwarna cokelat kehitaman (CABI 2004).

Perkembangan. Infeksi primer biasanya sedikit dan berkembang dari urediospora yang terbawa angin dari jarak yang jauh. Penyakit ini dapat berkembang cepat jika kelembaban cuaca memungkinkan dan suhu udara mendekati 20°C. Pembentukan urediospora selanjutnya dapat terjadi setiap 10-14 hari jika kondisi cuaca cocok. Sejalan dengan perkembangan tanaman jika kondisi cuaca tidak cocok, terjadi pembentukan teliospora yang berwarna hitam (Prescott *et al.* 2012). Menurut CABI (2004), penyakit karat daun menjadi epidemik di daerah dimana inang alternatif tersedia, telia yang berasal dari gandum menghasilkan basidiospora dan menginfeksi daun muda tanaman *Thalicum*. Pycnia dan hifa reseptif dibentuk pada permukaan atas daun *Thalicum* dalam 7-10 hari. Jika sumber inokulum bukan aeciospora yang berasal dari inang alternatif, tetapi urediniospora yang dihasilkan dari daun gandum yang terinfeksi, maka sumber inokulum bias berasal dari daerah setempat. Urediniospora dilepas ke udara dari uredinia pada daun gandum, dan bisa terbang melalui angin hingga ratusan kilometer. Pada suhu sekitar 20°C dan daun dalam keadaan lembab selama 4 jam, sangat cocok terinfeksi oleh urediniospora. Uredinia dapat berubah menjadi telia pada suhu sekitar 35°C.

Teliospora terbentuk pada tanaman gandum fase pematangan dan tidak dapat lagi menyebabkan infeksi.

Tanaman inang dan daerah sebaran. Penyakit karat daun dapat merusak tanaman gandum, triticale, dan sejumlah jenis rumput-rumputan. Penyakit ini ditemukan di daerah dingin dimana tanaman serealia ditanam. Inang alternatif penyakit ini adalah *Thalictrum*, *Isopyrum*, *Anemonella*, dan *Anchusa* spp. (Prescott *et al.* 2012).

Arti ekonomi. Penyakit karat jarang mematikan tanaman gandum, namun dapat menurunkan hasil hingga 50% (CABI 2004). Kehilangan hasil berkaitan dengan berkurangnya jumlah biji per malai, bobot, dan kualitas biji (Prescott 2012). Selanjutnya CABI (2004) mengemukakan bahwa kehilangan hasil bergantung pada ketahanan kultivar, virulensi patogen, dan kondisi lingkungan. Tanaman yang tertular umumnya menghasilkan malai yang lebih sedikit, jumlah biji per malai berkurang, dan ukuran malai lebih kecil.

Pengendalian. Berbagai cara pengendalian telah dilakukan terhadap penyakit karat daun, antara lain menggunakan varietas tahan dan fungisida kimia. Fungisida sistemik dengan bahan aktif fenbuconazole dan triadimefon dapat menekan penularan penyakit karat daun pada tanaman gandum (CABI 2004). Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) telah melepas gandum varietas Ganesha yang tahan terhadap penyakit karat daun.

2. Penyakit karat batang (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*)



Gejala penularan. Pustul yang mengandung massa urediospora berwarna gelap cokelat kemerahan dan ditemukan pada kedua sisi permukaan daun, batang, dan malai (Prescott *et al.* 2012). Pada batang, uredinia berbentuk memanjang dan berwarna cokelat kemerahan. Terkupasnya jaringan epidermis

sangat jelas, nampak pada sisi-sisi uredinia, sehingga permukaan batang terasa kasar. Pada penularan berat, uredinia menyatu sehingga menutupi jaringan tanaman. Fase telia terjadi pada jaringan yang sama pada fase uredinia dan teliospora lebih kokoh daripada urediospora. Pada fase telia, tidak ada spora yang dilepas.

Perkembangan. *P. graminis* bersifat macrocyclic dengan lima fase spora yang berbeda, yaitu fase uredinia, telia, basidiospora, spermatia, dan aecia. Infeksi awal biasanya ringan dan berkembang dari urediospora yang terbawa angin. Penyakit ini dapat berkembang dengan cepat jika suhu dan kelembaban mendukung. Jika suhu rata-rata 20°C atau lebih, maka urediospora generasi pertama akan dihasilkan dalam 10-15 hari (Prescott *et al.* 2012). Seiring dengan bertambahnya umur tanaman, teliospora juga bisa terbentuk. Menurut CABI (2004), hanya pada cuaca ekstrim (sangat panas dan kering, atau tropis lembab) penularan *P. graminis* tidak terjadi.

Tanaman inang dan daerah sebaran. Menurut CABI (2004) dan Prescott *et al.* (2012), sekitar 410 spesies tanaman graminea dari 79 genus diketahui sebagai inang *P. graminis*. Penyakit karat batang dapat merusak tanaman gandum, barley, triticale, jenis rumput-rumputan, dan inang alternatifnya yaitu *Berberis vulgaris* dan *Mahonia* spp. Penyakit ini ditemukan dimana tanaman serealia tumbuh.

Arti ekonomi. Secara historis, penyakit karat batang menyebabkan kerusakan yang besar pada areal pertanaman gandum di dunia (CABI 2004). Tanaman biji-bijian kecil selain padi, tidak luput dari penyakit karat batang jika tidak dikendalikan dengan baik. Menurut Prescott *et al.* (2012), jika infeksi penyakit ini terjadi pada awal fase pertanaman akan mengurangi jumlah anakan serta menurunkan kualitas dan bobot biji. Bahkan pada kondisi yang cocok, penyakit karat batang dapat menghancurkan tanaman secara keseluruhan.

Pengendalian. CABI (2004) mengemukakan terdapat tiga cara pengendalian penyakit karat batang, yaitu penggunaan varietas tahan, secara kimiawi, dan secara budi daya. Penggunaan varietas tahan adalah cara pengendalian yang paling efektif dan ramah lingkungan. Jika telah ditemukan varietas tahan karat batang, maka cara pengendalian lainnya relatif tidak diperlukan lagi. Sejumlah fungisida dilaporkan efektif mengendalikan penyakit karat pada tanaman serealia. Namun fungisida tidak digunakan secara luas karena harganya mahal, epidemi karat sulit diprediksi, dapat merusak lingkungan, dan kemungkinan patogen membangun ketahanan terhadap fungisida. Pengendalian dengan cara budi daya dapat dilakukan untuk mengurangi intensitas epidemik. Menanam seawal mungkin dan menanam varietas umur genjah membantu menekan patogen untuk menginfeksi. Pengendalian lainnya dengan cara budi daya adalah eradikasi tanaman pembawa sumber inokulum dan eradikasi inang alternatif (berberis).

3. Penyakit Karat Bergaris (*Puccinia striiformis*)



Gejala/penularan. Gejala penularan penyakit karat bergaris pada tanaman gandum sama pada barley. Pustul berwarna kuning dapat terjadi pada semua permukaan tanaman, namun yang paling sering nampak pada daun (CABI 2004). Uredia berbentuk melingkar dengan diameter 0,5-1 mm. Pustul-pustul tersebut seringkali membentuk garis-garis sempit pada daun. Pada kecambah, pustul lebih sering nampak secara individu daripada membentuk garis. Pustul juga dapat ditemukan pada pelepah, leher, dan malai.

Perkembangan. Infeksi awal disebabkan oleh urediospora yang diterbangkan angin dari jarak yang jauh. Penyakit ini dapat berkembang cepat jika kelembaban mendukung dan suhu berkisar antara 10-20°C. Suhu di atas 25°C, produksi urediospora akan berkurang dan cenderung terbentuk teliospora yang berwarna hitam (Newman 2009; Prescott *et al.* 2012).

Tanaman inang dan daerah sebaran. Menurut CABI (2004), *P. striiformis* hanya merusak famili Poaceae. Inang utamanya adalah tanaman gandum, barley, dan rye. Sejauh ini, tidak ditemukan pada tanaman oat, jagung, dan padi. Terdapat 320 spesies rumput-rumputan dari 50 genus yang secara alami atau buatan dapat terinfeksi oleh *P. striiformis*. Spesies yang paling peka adalah dari genus Aegilops, Agropyron, Bromus, Elymus, Hordeum, Secale, dan Triticum. Penyakit ini ditemukan di dataran tinggi dimana tanaman serealia bisa tumbuh (Prescott *et al.* 2012).

Arti ekonomi. Intensitas penularan yang tinggi dapat menyebabkan kehilangan hasil, khususnya dengan cara mengurangi jumlah biji per malai, bobot dan kualitas biji (Prescott *et al.* 2012).

Pengendalian. Cara pengendalian yang paling efektif, ekonomis dan praktis adalah penggunaan varietas tahan. Intensitas penularan penyakit ini di negara-negara Eropa Barat, Amerika Utara, China, dan India telah berkurang setelah diperkenalkannya varietas tahan pada awal tahun 1970an. Pada varietas yang agak peka, aplikasi fungisida harus dilakukan jika kondisi lingkungan cocok bagi perkembangan patogen. Banyak jenis fungisida berspektrum luas yang efektif mengendalikan penyakit ini, antara lain carbendazim, fenpropidin, propiconazole, triadimenol, dan tridemorph (CABI 2004). Fungisida triazole efektif jika diaplikasikan sebelum penyakit menginfeksi daun bagian atas (Newman 2009).

4. Penyakit Hawar Daun *Helminthosporium (Helminthosporium sativum syn. Bipolaris sorokiniana, Drechslera sorokiniana)*



Gejala/penularan. Gejala pertama yang muncul adalah biasanya berupa bercak kecil, berwarna cokelat muda, dan berkembang menjadi berbentuk oval, lesion nekrotik yang dibatasi oleh halo berwarna kuning. Seiring dengan bertambahnya umur lesion, bagian tengah lesion berwarna cokelat muda hingga sawo matang, dikelilingi oleh warna cokelat tua yang tidak beraturan. Lesio-lesio tersebut kemudian menyatu dan menutupi seluruh bagian daun dan bahkan malai (Schilder and Bergstrom 1993; Prescott *et al.* 2012).

Perkembangan. Menurut Prescott *et al.* (2012), infeksi awal dari penyakit ini cenderung pada daun bagian bawah, dimulai dengan munculnya flek atau bercak klorotik, kemudian meluas ke bagian tanaman, warna bercak berubah menjadi cokelat tua, dan seringkali menyatu. Pada penularan yang berat, daun atau pelepasan daun mati secara prematur.

Tanaman inang dan daerah sebaran. Wiese (1987) melaporkan bahwa tanaman inang patogen ini adalah *Agropyron cristatum*, *Allium sp.*, *Alopecurus pratensis*, *Aneurolepidium chinense*, *Avena sativa*, *Bromus inermis*, *B. marginatus*, *B. willdenowii*, *Calluna vulgaris*, *Chloris gayana*, *Cicer arietinum*, *Clinelymus dahuricus*, *C. sibiricus*, *Cynodon dactylon*, *C. transvaalensis*, *Dactylis glomerata*, *Echinochloa crus-galli*, *Elymus junceus*, *Festuca sp.*, *Guzmania sp.*, *Hordeum brevisubulatum*, *H. distichon*, *H. sativum var. hexastichon*, *H. vulgare*, *H. vulgare* var. hexastichon, *Lablab purpureus*, *Linum usitatissimum*, *Lolium multiflorum*, *Pennisetum typhoides*, *Roegneria semicostata*, *Saccharum sp.*, *Secale cereale*, *Setaria italica*, *Sorghum sp.*, *Taraxacum kok-saghyz*, *Trisetum aestivum*, *Triticum aestivum*, *T. secale*, *T. turgidum subsp. *durum**, *T. vulgare*, dan *Zea mays*. Penyakit ini dilaporkan tersebar pada pertanaman gandum di Afrika, Australia, Amerika, Eropa, dan Asia (Wiese 1987; Nonci *et al.* 2013)

Arti ekonomi. Kehilangan hasil akibat penyakit hawar daun *Helminthosporium* pada tanaman gandum bervariasi tetapi sangat nyata. Kerugian hasil akibat penyakit ini berkisar antara 20-30% (Duveiller and Gilchrist 1994; Dubin and Bimb 1994). Jika infeksi terjadi pada awal pertumbuhan tanaman dan kondisi cuaca mendukung bagi perkembangan penyakit ini, maka bisa terjadi puso (Prescott *et al.* 2012).

Pengendalian. Cara terbaik pengendalian penyakit hawar daun *Helminthosporium* adalah melalui pendekatan secara terpadu (Dubin and Duveiller 2000), termasuk penggunaan varietas tahan, penggunaan benih bebas penyakit, pergiliran tanaman, pemupukan yang tepat, dan perlakuan benih dengan fungisida. Varietas gandum yang menunjukkan ketahanan tinggi terhadap penyakit hawar daun *Helminthosporium* adalah Guri-1, Guri-3, Guri-4, Guri-5, dan Guri-6 UNAND. Kelompok fungisida triazole seperti tebuconazole dan propoiconazole terbukti mampu menekan perkembangan penyakit ini di lapangan. Fernandez *et al.* (1998) melaporkan defisiensi hara N menyebabkan penyakit bercak daun meningkat, sedangkan defisiensi hara P menurunkan penularan penyakit bercak daun. Pergiliran tanaman gandum dengan tanaman bukan serealia dalam siklus satu tahun tidak mengurangi penularan penyakit bercak daun. Penanaman gandum dua tahun berturut-turut kemudian digilir dengan tanaman bukan serealia selama dua tahun berturut-turut, dapat mengurangi penyakit bercak pada gandum.

5. Penyakit Scab (*Fusarium* spp.)



Gejala/penularan. Penyakit ini disebabkan oleh cendawan *Fusarium* spp. (Prescott *et al.* 2012). Gejala pertama penyakit ini terjadi sesaat setelah pembungaian. Malai yang terinfeksi tampak prematur dan memutih seiring dengan berkembangnya patogen dan menyebar di antara biji. Seiring dengan berjalannya waktu, gejala ini bisa terlihat pada seluruh malai (Schmale III and Bergstrom 2010). Malai yang terinfeksi berwarna sedikit hitam dan berminyak. Bijinya yang terinfeksi tertutupi oleh miselia cendawan pada bagian permukaannya, sehingga malai berwarna putih (Prescott *et al.* 2012).

Perkembangan. Beberapa spesies *Fusarium* dapat menginfeksi malai tanaman serealia, ovary terinfeksi pada bagian anthesis. Infeksi terjadi pada kondisi cuaca hangat dan lembab selama pembentukan malai hingga pematangan malai. Suhu yang paling cocok untuk infeksi penyakit berkisar antara 10-28°C. Penyakit ini berkembang biak pada biji dan sisa-sisa tanaman gandum, jagung, dan rumput-rumputan.

Tanaman inang dan daerah sebaran. Semua tanaman serealia kecil bisa tertular *Fusarium* spp. seperti gandum (*Triticum aestivum*), Durum Wheat (*Triticum durum*), Barley (*Hordeum vulgare*), Oat (*Avena sativa*), jagung (*Zea mays*), dan jenis rumput-rumputan. *Fusarium* spp. menyerang akar, batang, daun, dan jaringan reproduktif.

Arti ekonomi. Hawar malai *Fusarium* adalah penyakit yang paling merusak di seluruh dunia. Penularan berat dapat menurunkan hasil hingga 50% dan nyata menurunkan kualitas biji. Hasil panen yang memiliki lebih dari 5% biji sakit mengandung toksin yang berbahaya bagi manusia dan hewan (Prescott *et al.* 2012). Sejak tahun 1990, petani gandum dan barley di Amerika Serikat mengalami

kerugian lebih dari \$3 miliar akibat penyakit ini (Schmale III and Bergstrom 2010).

Pengendalian. Penyakit ini dapat dikendalikan dengan menggunakan varietas tahan, pergiliran tanaman, pengolahan tanah secara sempurna, memusnahkan sisa-sisa tanaman sebelumnya, dan penggunaan fungisida sesuai anjuran.

6. Penyakit busuk akar *Rhizoctonia solani*)

Gejala/penularan. Gejala awal nampak lesio pada pelelah daun bagian bawah dan seringkali ditemukan miselia di tengah lesio. Akar yang terinfeksi berwarna cokelat dan jumlah akar berkurang (Prescott *et al.* 2012, Burrows *et al.* 2014). Menurut Burrows *et al.* (2014), gejala *R. solani* pada pertanaman gandum yang tertular ditandai oleh bentuk melingkar secara lokal dan pertumbuhan tanaman menjadi kerdil atau bahkan mati. Tanaman yang tertular bisa rebah, khususnya antara buku kedua dan ketiga dari atas permukaan tanah. Miselia cendawan yang berwarna putih terbentuk dalam jumlah yang banyak pada batang yang sudah tua dan sklerotia yang berwarna hitam terbentuk di sela-sela antara batang dan pelelah daun.

Perkembangan. Infeksi penyakit sangat bergantung pada kondisi lingkungan. Penyakit ini berkembang dengan baik pada kondisi kering, tanah berpasir, suhu dingin, dan kelembaban tinggi. Cendawan *R. solani* berada di dalam dan sisa-sisa tanaman dan menginfeksi akar dan jaringan mahkota (Prescott *et al.* 2012). Menurut Burrows *et al.* (2014), inokulum awal berasal dari sklerotia atau miselia yang terdapat pada sisa-sisa tanaman, tanaman voluntir, atau gulma. Penularan berat menyebabkan tanaman matang prematur dan rebah. Populasi patogen meningkat setelah aplikasi glifosat pada gulma.

Tanaman inang dan daerah sebaran. Cendawan *R. solani* memiliki banyak tanaman inang, merusak hampir semua tanaman yang dibudidayakan. Tanaman gandum dan family Poacea lainnya sangat disukai oleh penyakit ini. Tanaman oats kurang rentan terhadap patogen ini dibandingkan dengan tanaman gandum, barley, dan rye. *R. solani* berada di permukaan tanah atau dalam tanah dalam jangka waktu yang panjang dan daerah penyebarannya luas (Burrows *et al.* 2014).

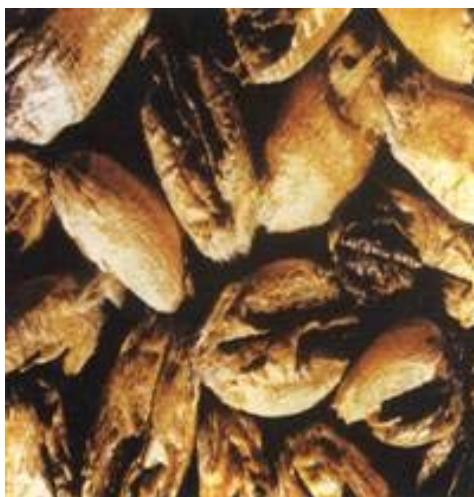
Arti ekonomi. Busuk akar *Rhizoctonia* dapat menyebabkan kehilangan hasil gandum dalam jumlah yang besar, terutama pada lahan yang ditanami serealia secara terus menerus. Namun belum ada laporan tentang epideminya.

Pengendalian. Burrows *et al.* (2014) mengemukakan cara pengendalian penyakit busuk akar *Rhizoctonia* pada gandum sebagai berikut:

- Memperhatikan dengan cermat tanaman serealia voluntir dan rumput-rumputan.
- Penanaman 2-3 minggu setelah pengolahan tanah atau aplikasi herbisida (khususnya glifosat).

- *R. solani* aktif pada kedalaman tanah 10-15 cm, sehingga pengolahan tanah dapat mencegah perkembangan miselia patogen.
- Menghindari penanaman gandum pada lahan yang basah.
- Penggiliran tanaman gandum dengan tanaman leguminosa.
- Penggunaan pupuk berimbang, hasil penelitian menunjukkan hara zinc membantu mengurangi penularan penyakit busuk akar Rhizoctonia pada tanaman gandum.
- Belum ada varietas gandum yang tahan terhadap penyakit ini.
- Fungisida komersial belum ada yang efektif mengendalikan penyakit ini.

7. Penyakit karnal bunt (*Tilletia indica* syn. *Neovossia indica*)



Gejala/penularan. Penyakit karnal bunt sulit diidentifikasi di lapangan. Biji gandum tertular secara acak dan biasanya hanya sebagian yang kena cendawan ini, sehingga penyakit ini disebut juga *partial bunt*. Davis dan Jackson (2009) mengemukakan bahwa gejala penyakit karnal bunt pertama kali terlihat pada fase masak susu yang ditandai dengan warna hitam di sekitar dasar biji; namun tidak selalu bisa dikenali hingga biji dirontok dan biji nampak kehitam-hitaman. Pada biji yang terinfeksi, embrio dan bagian endosperma tertutupi oleh massa spora yang berwarna hitam dan mengeluarkan bau amis akibat senyawa trimethylamine.

Perkembangan. Penyakit ini disebabkan oleh cendawan *Tilletia indica* (syn. *Neovossia indica*). Penyakit tersebar melalui spora dari biji yang terinfeksi dan dalam tanah yang telah terkontaminasi dari pertanaman sebelumnya (Davis and Jackson 2009, Prescott *et al.* 2012). Selanjutnya dikemukakan bahwa lapisan luar halus yang mengelilingi setiap kantung teliospora mudah rusak selama panen, menyebabkan spora menyebar ke tanah. Teliospora berkecambah bila kelembaban cocok dan menghasilkan banyak sporidia di permukaan tanah.

Spora ini secara paksa dikeluarkan dari sporidia dan tersebar baik melalui angin, percikan air, ataupun serangga (Davis and Jackson 2009). Tingkat serangan dan perkembangan penyakit ini bergantung pada kondisi lingkungan sejak terbentuknya malai hingga pengisian biji (Prescott *et al.* 2012).

Tanaman inang dan daerah sebaran. Penyakit ini dapat merusak tanaman gandum, triticale, rye, tapi tidak merusak tanaman barley dan oats (Davis and Jackson 2009, Prescott *et al.* 2012). Penyakit karnal bunt endemik di negara-negara Asia dan Meksiko. Pertama kali dilaporkan di India pada tahun 1931, kemudian menyebar ke Pakistan, Meksiko, Amerika Serikat, Iran, Nepal, Brazil, dan Afrika Selatan.

Arti ekonomi. Pengaruh penyakit karnal bunt terhadap penurunan hasil hanya sedikit, namun banyak negara yang menerapkan *zero tolerance* terhadap spora penyakit pada biji, sehingga penyakit ini masuk dalam daftar karantina di sejumlah negara. Hasil survei di India menunjukkan kehilangan hasil akibat serangan penyakit ini hanya sekitar 0,5%, namun di beberapa lokasi bisa mencapai 89%. Penyakit ini tidak menimbulkan risiko kesehatan pada manusia, namun mengurangi kualitas tepung. Umumnya, gandum yang mengandung lebih dari 3% biji yang tertular tidak layak dikonsumsi manusia. Bau dan palatabilitas seluruh makanan dan produk jadi terpengaruh oleh bahan kimia trimetilamina yang dihasilkan jamur. Pasta produk yang dibuat dari tepung yang terkontaminasi dengan spora karnal bunt memiliki warna yang tidak dapat diterima.

Pengendalian. Menurut Davis dan Jackson (2009), penggunaan benih bebas penyakit sangat penting. Sejumlah varietas tahan telah dikembangkan, namun belum ada yang imun terhadap penyakit ini. Dianjurkan penggiliran tanaman dengan selain gandum selama 5 tahun. Penggunaan plastik penutup tanah dapat meningkatkan suhu tanah dan mengurangi kecambah teliospora. Beberapa fungisida efektif mengendalikan karnal bunt. Perlakuan benih dengan fungisida telah digunakan untuk mengurangi penyebaran inokulum melalui benih. Fungisida yang dilaporakan efektif menghambat perkembangan penyakit ini adalah PCNB dan carboxin+thiram. Masalah yang dihadapi dengan fungisida saat ini adalah spora karnal bunt akan berkecambah setelah spora tercuci bahan kimia.

8. Penyakit embun tepung (*Erysiphe graminis* f.sp. *tritici*)

Gejala/penularan. Penyakit ini ditandai dengan adanya kumpulan miselium dan konidia berwarna putih di permukaan tanaman, dapat dilihat pada semua bagian tanaman, termasuk batang dan malai, namun yang paling jelas adalah pada daun bagian bawah (Wegulo 2010, Prescott *et al.* 2012, HGCA 2014). Koloni berwarna putih ini kemudian berubah menjadi abu-abu kecokelatan atau abu-abu kekuningan. Pada penularan berat, tanaman tumbuh kerdiril (Wegulo 2010).

Perkembangan. Penyakit ini berkembang dengan baik pada kondisi cuaca yang dingin dengan suhu 15-22°C, berawan, dan lembab (RH 75-100%) (Prescott

et al. 2012). Pada kondisi kelembaban yang tinggi dan suhu udara berada pada kisaran sedang hingga panas, periode laten (masa mulai infeksi hingga sporulasi) penyakit ini adalah 7-10 hari. Penyakit ini juga berkembang pada tanaman yang kelebihan pupuk N, kanopi rapat, dan varietas peka (Wegulo 2010).

Tanaman inang dan daerah sebaran. Cendawan ini memiliki inang spesifik yang banyak, diantaranya gandum, barley, oats, dan rye. Penyakit ini dapat ditemukan pada daerah dingin, lembab, semi kering.

Arti ekonomi. Menurut HGCA (2014), walaupun gejala penularan sangat jelas, namun penurunan hasil akibat penyakit ini lebih rendah dibanding penyakit daun lainnya. Kehilangan hasil yang besar dapat terjadi bila infeksi terjadi pada awal pertumbuhan tanaman dan cuaca mendukung perkembangan penyakit (Prescott *et al.* 2012).

Pengendalian. penggunaan varietas tahan, tidak menggunakan pupuk N berlebihan, penggunaan pupuk berimbang, aplikasi fungisida yang tepat, seperti propiconazole dan pyraclostrobin (Wegulo 2010, HGCA 2014).

9. Penyakit septoria

Gejala/penularan. Penyakit ini disebabkan oleh cendawan *Septoria tritici*, *S. nodorum*, dan *Leptosphaeria avenaria f.sp. triticea*. Gejala awalnya berupa bintik-bintik klorosis kecil yang tidak beraturan pada daun yang muncul segera setelah bibit tumbuh pada musim gugur atau musim semi. Seiring dengan membesarnya lesion, warnanya menjadi sawo matang dan membentuk badan buah yang gelap. Lesio pada daun tua panjang, sempit, pada tepi lesio berwarna kuning dan bagian tengah pucat (Ponomarenko *et al.* 2011, Prescott *et al.* 2012). Seluruh bagian tanaman di atas tanah dapat tertular. Infeksi yang ringan menghasilkan lesio yang terpencar-pencar, tetapi pada penularan yang berat dapat mematikan daun, malai, atau bahkan seluruh tanaman.

Perkembangan. Infeksi awal cenderung terjadi pada daun bagian bawah, kemudian bergerak ke daun bagian atas dan malai jika kondisi lingkungan mendukung. Suhu dingin (10-15°C) dan periode basah yang panjang, dan keadaan berawan sangat cocok bagi perkembangan penyakit ini (Prescott *et al.* 2012).

Tanaman inang dan daerah sebaran. Menurut Prescott *et al.* (2012), penyakit ini adalah penyakit utama pada gandum, tetapi pada tanaman serealia lainnya agak peka. Penyebaran penyakit ini terutama pada daerah-daerah dingin dan lembab.

Arti ekonomi. Penyakit daun ini paling merusak tanaman gandum di Inggris, yang menyebabkan kehilangan hasil yang nyata setiap tahun (HGCA 2014). Menurut Prescott (2012), kehilangan hasil yang besar dapat terjadi karena biji mengerut dan bobotnya ringan, terutama jika penularan berat terjadi sebelum panen.

Pengendalian. Penyakit ini bisa dikendalikan dengan menggunakan varietas tahan, menghindari menanam lebih awal bagi varietas peka, perlakuan tanaman, dan menggunakan fungisida golongan azole.

10. Penyakit Hawar Daun Alternaria (*Alternaria triticina*)

Gejala/penularan. Tanaman muda tahan terhadap penyakit hawar daun Alternaria. Tanaman mulai kehilangan ketahanannya pada umur 4 minggu dan gejala penularan tidak berkembang hingga tanaman berumur 7-8 minggu. Gejala awal ditandai dengan lesion kecil berbentuk oval dan menyebar secara tidak beraturan pada permukaan daun. Seiring dengan perkembangannya, lesio berbentuk tidak bearaturan dan berwarna cokelat tua. Menurut Prescott *et al.* (2012), lesio sulit dibedakan dengan gejala hawar daun *Helminthosporium*. Infeksi penyakit ini diawali pada daun bagian bawah, namun gejala ini bisa ditemukan pada seluruh bagian tanaman, termasuk pada pelepasan dan malai.

Perkembangan. Cendawan *A. triticina* bertahan dalam bentuk konidia pada biji atau dalam bentuk miselia di antara biji. Sporulasi yang terjadi pada daun bagian bawah mengakibatkan inokulum dapat menyebar melalui angin. Selain itu, inokulum penyakit juga tersebar lewat biji yang berasal dari tanaman terinfeksi sebelumnya. Penyakit ini berkembang pada kelembaban tinggi atau pada lahan beririgasi dengan suhu udara berkisar 20-25°C (Prescott *et al.* 2012).

Tanaman inang dan daerah sebaran. Tanaman inang *A. triticina* meliputi *Triticum* spp., triticale, dan kemungkinan barley yang dapat tertular pada kondisi tertentu. Penyakit ini dilaporkan menginfeksi tanaman gandum pada negara-negara yang membudidayakan gandum seperti sejumlah negara di Asia, Eropa, Afrika, Amerika Utara, Amerika Selatan, dan Oceania.

Arti ekonomi. Penularan berat penyakit hawar daun Alternaria dapat terjadi jika kondisi lingkungan sangat cocok bagi perkembangannya. Kehilangan hasil yang banyak dapat terjadi jika menggunakan varietas peka.

Pengendalian. Menghindari penanaman pada lahan yang masih memiliki sisa-sisa tanaman gandum, pengolahan tanah dilakukan dengan baik, penggunaan varietas tahan, perlakuan benih sebelum tanam dengan air panas atau fungisida untuk mengurangi inokulum. Perlakuan benih dengan fungisida iprodione, thiram, 2-methoxyethylmercury chloride, dan phenylmercury acetate dapat mencegah perkembangan penyakit ini.

11. Penyakit Ergot (*Claviceps purpurea*)



Gejala/penularan. Penyakit ergot disebabkan oleh cendawan *Claviceps purpurea*. Ergot adalah sekumpulan massa miselia yang terbentuk pada biji. Pada masa pembungaian, malai yang terinfeksi menghasilkan eksudat berwarna kuning dan lengket yang mengandung kondia. Seiring dengan matangnya malai, biji yang terinfeksi digantikan oleh struktur cendawan (sclerotia) berwarna cokelat atau hitam keunguan (Wegulo 2011, Prescott *et al.* 2012).

Perkembangan. Menurut Prescott *et al.* (2012), penyakit ini berkembang dalam keadaan cuaca dingin dan lembab. Infeksi awal berasal dari ascospora yang berada dalam badan buah yang dihasilkan sclerotia dari pertanaman sebelumnya. Ascospora menyebar melalui angin dan percikan hujan. Jika penyebaran bersamaan dengan masa pembungaian gandum, maka ascospora hinggap pada malai dan menginfeksi ovary dan mengeluarkan eksudat (Wegulo 2011, Prescott *et al.* 2012). Serangga tertarik pada eksudat manis tersebut dan membawa konidia ke malai sehat. Badan buah yang terbentuk pada biji gandum dapat bertahan hidup dalam tanah dari satu musim ke musim berikutnya. Pada kondisi kering, badan buah tersebut dapat bertahan selama bertahun-tahun. Sclerotia membutuhkan suhu dingin untuk berkecambah.

Tanaman inang dan daerah sebaran. Penyakit ergot merupakan penyakit penting pada tanaman serealia. Penyakit ini berkembang pada daerah dingin dan lembab.

Arti ekonomi. Penyakit ergot bisa menyebabkan tanaman gandum kehilangan hasil 5-10% (Wegulo 2011). Kehilangan hasil akibat berkurangnya kualitas biji dapat terjadi di seluruh dunia.

Pengendalian

- Mengamati pertanaman sebelum panen dan memisahkan tanaman yang tertular atau membakar tanaman jika mengandung sclerotia yang banyak.
- Menggunakan benih bermutu dan bebas sclerotia.
- Pergiliran tanaman.
- Perlakuan benih dengan fungisida triazole.
- Olah tanah sempurna dan membakar sisa-sisa jerami untuk membunuh sclerotia.
- Menghindari irigasi yang berlebihan selama musim dingin pada saat pembungaan.

12. Penyakit take-all (*Gaeumannomyces graminis* f.sp. *tritici* syn. *Ophiobolus graminis*)

Gejala/penularan. Cendawan ini menyebabkan busuk akar dan batang bagian bawah (Prescott *et al.* 2012). Penyakit take-all dapat menginfeksi tanaman pada tingkatan yang rendah tanpa menampakkan gejala yang jelas. Namun infeksi sedang hingga berat mengurangi jumlah akar aktif yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Infeksi pada mahkota akar pada musim semi dan awal musim panas akan menghambat serapan air dan unsur hara yang menyebabkan malai putih (HGCA 2014).

Perkembangan. Cendawan ini berada pada sisa-sisa tanaman di dalam tanah. Infeksi awal berasal dari hifa atau ascospora. Infeksi dapat terjadi selama siklus tanaman, namun cendawan ini menyenangi tanah berusaha rendah (12-18°C) dan tanah alkalin serta kekurangan hara (Prescott *et al.* 2012).

Tanaman inang dan daerah sebaran. Penyakit ini ditemukan merusak tanaman gandum, triticale, dan beberapa jenis rumput-rumputan.

Arti ekonomi. Penyakit ini merupakan penyebab “sindroma gandum kedua” bila hasil panen dari pertanaman kedua 10-15% lebih sedikit dari hasil panen pertanaman pertama (HGCA 2014). Penyakit ini menyebar luas pada areal monocrop, terutama jika pengolahan tanah minimum (Prescott *et al.* 2012).

Pengendalian

- Pergiliran tanaman dan pengolahan tanah yang baik.
- Penanaman varietas toleran.
- Perlakuan benih sebelum tanam dengan fungisida silthiofam dan fluquinconazole.
- Aplikasi Fungisida azoxystrobin atau fluoxastrobin pada fase T1.

Penyakit yang Disebabkan oleh Bakteri

1. Penyakit bakteri bergores dan sekam hitam (*Xanthomonas campestris* pv. *translucens*)

Penyakit bakteri daun bergores yang disebabkan oleh bakteri *Xanthomonas campestris* pv. *translucens* adalah penyakit bakteri yang paling utama pada tanaman gandum. Penyakit ini terjadi pada kondisi yang sangat berbeda, seperti pada lahan irigasi sprinkler, curah hujan tinggi, dan lingkungan lebih hangat.

Gejala/penularan. Penyakit sekam hitam dan bakteri daun bergores disebabkan oleh patogen yang sama, penamaan tersebut dibedakan pada bagian tanaman yang tertular. Jika bagian tanaman yang terinfeksi adalah malai, disebut penyakit sekam hitam, dan jika yang terinfeksi adalah daun dan pelepas, disebut bakteri daun bergores (Prescott *et al.* 2012). Gejala khas penyakit bakteri daun bergores pada gandum adalah adanya lesio berwarna cokelat dan memanjang pada permukaan daun. Lesio kemudian menyatu sehingga menutupi permukaan daun. Gejala awal ditandai dengan garis-garis tembus cahaya. Lesio yang terbentuk menghasilkan eksudat berwarna kuning dan lengket, terutama bila hujan. Eksudat kemudian mengering dan membentuk kerak yang dapat pecah, sehingga tampak seperti sisik. Jika penularan terjadi pada awal musim tanam, malai bisa terinfeksi yang mengakibatkan malai steril. Jika intensitas penularan berat, maka seluruh daun atau malai mati.

Perkembangan. Bakteri ini bisa berfungsi sebagai penyakit tular tanah dan berada pada sisa-sisa tanaman dalam tanah, toleran terhadap suhu hangat dan suhu beku. Patogen ini ditularkan melalui air hujan, embun, kontak antartanaman, dan serangga. Penyakit ini menyebar sesuai arah angin dan hembusan air hujan.

Tanaman inang dan daerah sebaran. Penyakit ini dijumpai pada tanaman cerealia dan rumput-rumputan di seluruh dunia, seperti di Amerika Serikat, Kanada, Amerika Selatan, Asia, Eropa, dan Afrika.

Arti ekonomi. Penyakit ini jarang menyebabkan kerusakan yang nyata, walaupun gejala penularannya berat. Kehilangan hasil tertinggi sebesar 40% pernah terjadi di Idaho, Amerika Serikat, namun pada umumnya kehilangan hasil hanya sekitar 10% atau kurang.

Pengendalian. Penyakit ini agak sulit dikendalikan, namun beberapa cara pencegahan dapat dilakukan, yaitu: menggunakan benih bersertifikat, tidak menggilir tanaman gandum dengan barkley, dan penggunaan insektisida anjuran untuk mengendalikan serangga penular.

2. Penyakit Bakteri Hawar Daun (*Pseudomonas syringae* pv. *atrofaciens* syn. *P. atrofaciens*)

Gejala/penularan. Daun dan malai gandum dan triticale bisa tertular penyakit bakteri hawar daun. Gejalanya dimulai dari lesio kecil berwarna hijau, kemudian berubah menjadi cokelat tua hingga kehitaman. Pada malai, lesio umumnya dimulai pada glum bagian bawah, kemudian merambat ke atas. Glum yang tertular nampak transparan jika diarahkan ke cahaya. Perubahan warna menjadi cokelat tua hingga hitam terjadi sejalan dengan bertambahnya umur tanaman. Penyakit ini menyebar ke rachis dan lesion, juga bisa nampak pada biji gandum. Batang yang tertular berwarna gelap, sedangkan daun yang tertular menjadi kecil.

Perkembangan. Patogen penyebab penyakit ini bertahan hidup pada sisasisa tanaman dan berbagai jenis rumput-rumputan. Penyakit ini menyebar melalui percikan air hujan, serangga, dan biji.

Tanaman inang dan daerah sebaran. Penyakit ini dapat merusak semua jenis tanaman serealia kecil, termasuk gandum, oats, dan barley. Daerah sebarannya meliputi seluruh dunia.

Arti ekonomi. Secara ekonomi, penyakit ini tidak terlalu penting, namun penularannya dilaporkan pada daerah-daerah pertanaman gandum yang lembab.

Pengendalian

- Penggunaan benih bebas penyakit.
- Pergiliran tanaman
- Irigasi tidak berlebihan
- Pemusnahan sisa-sisa tanaman sebelumnya.

Penyakit yang Disebabkan oleh Virus

Barley Yellow Dwarf (BYD)



Gejala serangan. Gejala penyakit BYD bervariasi, bergantung pada varietas, umur tanaman saat tertular, strain virus, dan kondisi lingkungan. Tanaman tertular daunnya nampak kekuningan, tumbuh kerdil, jumlah akar berkurang, pembentukan malai terlambat, dan hasil panen turun. Malai yang terinfeksi cenderung kaku dan berwarna hitam selama pematangan biji (Prescott *et al.* 2012).

Perkembangan. Penyakit BYD berkembang pada kondisi suhu udara sekitar 20°C. Gejala penularan akan nampak pada 14 hari setelah infeksi terjadi.

Tanaman inang dan daerah sebaran. Tanaman inang penyakit BYD meliputi lebih dari 150 spesies Poaceae. Sejumlah tanaman golongan rumput-rumputan juga berfungsi sebagai inang alternatif penyakit. Penyakit ini ditularkan oleh serangga vector aphid. Lebih dari 20 spesies aphid berfungsi sebagai vektor penyakit ini (Prescott *et al.* 2012). Penyakit BYD adalah penyakit virus pada tanaman cerealia yang paling luas daerah penyebarannya, sehingga penyakit ini ditemukan di seluruh dunia.

Arti ekonomi. Penyakit BYD merupakan penyakit penting secara ekonomi pada tanaman barley, oats, gandum, jagung, triticale, dan padi. Penularan yang terjadi pada awal musim tanam dapat menurunkan hasil 20%, bergantung pada strain virusnya. Kehilangan hasil yang paling besar yang pernah dilaporkan mencapai 50%.

Pengendalian

- Pemusnahan sisa-sisa tanaman atau tanaman inang alternatif sesegera mungkin.
- Aplikasi herbisida yang tepat 10 hari sebelum tanam.
- Aplikasi insektisida untuk memusnahkan serangga vektor aphid.

DAFTAR PUSTAKA

- Braun, H.J. 2013. Regional scenario of wheat in Asia. In: Raj Paroda, S. Dasgupta, Bhag Mal, S.S. Singh, M.L. Jat and Gyanendra Singh, (Eds). Proceedings of the regional consultation on improving wheat productivity in Asia. Bangkok, Thailand. 26-27 April 2012. p. 41-45.
- Burrows, M., R. Koski, and N. Tisserat. 2014. HPIPM:Rhizoctonia root rot/bare patch. http://wiki.bugwood.org/HPIPM:Rhizoctonia_root_rot/bare_patch [13 Mei 2014].
- CABI. 2004. Crop protection compendium 2004 edition. CAB International. Wallingford, UK.
- Dubin, H.J. and H.P. Bimb. 1994. Studies of soilborne diseases and foliar blights of wheat at the National Wheat Research Experiment Station, Bhairahawa, Nepal. Wheat Special Report No. 36. Mexico, DF, CIMMYT.
- Duveiller, E. and L. Gilchrist. 1994. Productions constraints due to *Bipolaris sorokiniana* in wheat: current situation and future prospects. In: D. Saunders and G. Hettel, (Eds). Proc. wheat in the warmer areas, rice/wheat systems. Nashipur, Dinajpur, Bangladesh. 13-16 Feb. 1993. p. 343-352. Mexico, DF, CIMMYT/UNDP.
- Davis, R.M. and L.F. Jackson. 2009. UC IPM pest managament guidelines: small grains. UC ANR Publication 3466.uide. University of Nebraska-Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources. 3 p.
- Dubin, H.J. and E. Duveiller. 2000. Helminthosporium leaf blights of wheat: integrated control and prospects for the future. In: Proc. int. conf. integrated plant disease management for sustainable agriculture. New Delhi. 10-15 November 1997. Vol. 1, p. 575-579.
- HGCA. 2014. Wheat disease management guide. Agriculture and Horticulture Development Board. 28 p.
- Duveiller E. 2013. Management of wheat diseases in Asia. In: Raj Paroda, S. Dasgupta, Bhag Mal, S.S. Singh, M.L. Jat and Gyanendra Singh, (Eds). Proceedings of the regional consultation on improving wheat productivity in Asia. Bangkok, Thailand. 26-27 April 2012. p. 164-167.
- Fernandez, M.R., R.P. Zentner, B.G. McConkey, and C.A. Campbell. 1998. Effects of crop rotations and fertilizer management on leaf spotting diseases of spring wheat in Southwestern Saskatchewan. Canadian Journal of Plant Science 78(3):489-496.
- HGCA. 2014. Wheat disease management guide. Agriculture and Horticulture Development Board. p. 27.
- Newman, M. 2009. Wheat disease identification and control. Entomology and Plant Pathology Department. University of Tennessee. <http://www.utcrops.com/wheat/Presentations/Newman%20Wheat%20Diseases.pdf>. 15 Juli 2014.

- Nonci, N., A. Muis, dan Azrai. 2013. Skrining 12 varietas/galur gandum terhadap hama dan penyakit. Prosiding Seminar Nasional Serealia. Balai Penel. Tan. Serealia, Puslitbang Tan. Pangan, Badan Litbang Pertanian. p. 387-395.
- Ponomarenko, A., S.B. Goodwin, and G.H.J. Kema. 2011. Septoria tritici blotch (STB) of wheat. Plant Health Instructor. The American Phytopathological Society. DOI:10.1094/PHI-I-2011-0407-0.
- Prescott, J.M., P.A. Burnett, E.E. Saari, J. Ranson, J. Bowman, W. de Milliano, R.P. Singh, and G. Bekele. 2012. Wheat Diseases and Pests: a guide for field identification. International Maize and Wheat Improvement Center. CIMMYT Mexico. <http://wheat.pw.usda.gov/ggpages/wheatpests.html> [8 Nopember 2012].
- Pretorius, Z.A., K.W. Pakendorf, G.F. Marais, R. Prins, and J.S. Komen. 2007. Challenges for sustainable control of cereal rust diseases in South Africa. Aust. J. Agric. Res. 58:593-601.
- Rajaram S. 2013. Strategy for increasing wheat productivity. In: Raj Paroda, S. Dasgupta, Bhag Mal, S.S. Singh, M.L. Jat and Gyanendra Singh, (Eds). Proceedings of the regional consultation on improving wheat productivity in Asia. Bangkok, Thailand. 26-27 April 2012. p. 46-47.
- Rusae, A., E.T. Tondok, dan S. Wiyono. 2015. Risiko introduksi gandum ke timor tengah utara: penyakit hawar daun dan busuk batang. Jurnal Fitopathologi Indonesia 11(5):167-175.
- Sharma, R.C. and E. Duveiller. 2003. Selection index for improving *Helminthosporium* leaf blight resistance, maturity, and kernel weight in spring wheat. Crop Sci. 43:2031-2036.
- Schilder and G. Bergstrom. 1993. Tan spot. In: S.B. Mathur and B.M. Cunfer, (Eds). Seedborne diseases and seed health testing of wheat. p. 113-122. Copenhagen, Denmark, Jordburgsforlaget.
- Wegulo, S.N. 2010. Powdery mildew of wheat. University of Nebraska Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources. p. 3.
- Schmale III, D.G. and G.C. Bergstrom. 2010. Fusarium head blight in wheat. The Plant Health Instructor. The American Phytopathological Society.
- Wegulo, S.N. 2010. Powdery mildew of wheat. University of Nebraska Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources. p. 7.
- Wegulo, S.N. 2011. Ergot of small grain cereals and grasses and its health effects on humans and livestock. University of Nebraska Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources. p. 3.
- Wiese, M.V. 1987. Compendium of wheat diseases. American Phytopathological Society. p. 124.

Teknologi Pascapanen Gandum

Muhammad Taufiq Ratule dan Muhammad Aqil
Balai Penelitian Tanaman Serealia

PENDAHULUAN

Proporsi terbesar penggunaan gandum dewasa ini adalah untuk pangan. Hal ini menuntut standar mutu produk yang tinggi baik di tingkat perdagangan domestik maupun internasional. FAO (2015) melaporkan bahwa produksi serealia dunia pada tahun 2015 mencapai 2525 juta ton. Terkait dengan itu, Hussein dan Brasel (2001) menyatakan sekitar 25% dari produksi serealia dunia termasuk gandum berpotensi terkontaminasi jamur/mikotoksin sehingga diperkirakan sekitar 500 juta ton produk serealia diperdagangkan untuk pangan dan pakan di seluruh dunia.

Aspek pascapanen memegang peranan penting dalam menghasilkan produk gandum berkualitas dan bebas dari hama penyakit. Penanganan pascapanen merupakan salah satu mata rantai penting dalam usahatani tanaman pangan, termasuk gandum. Gandum yang ditanam pada musim hujan di wilayah tropis dengan kondisi lingkungan yang lembab memudahkan infeksi penyakit yang dapat menyebabkan kehilangan hasil secara signifikan. Beberapa di antara penyakit tersebut langsung merusak malai atau bagian tanaman lainnya sehingga biji menjadi rusak dan jatuh ke tanah (Johnson and Townsend 2009). FAO (1999) melaporkan bahwa kehilangan hasil gandum akibat penanganan pascapanen yang tidak tepat mencapai 25 juta ton setiap tahun dan 46% di antaranya terjadi di negara berkembang.

Di Indonesia luas pertanaman gandum cenderung stagnan sementara laju konsumsi gandum terus meningkat dari waktu ke waktu. Kondisi ini menyebabkan meningkatnya impor gandum dari tahun ke tahun. Volume impor biji dan tepung terigu pada tahun 2011 mencapai 6,20 juta ton dan meningkat menjadi 7,2 juta ton pada tahun 2012 (USDA 2012). Impor tepung gandum pada tahun 2011 mencapai 680.100 ton dari kebutuhan tepung terigu nasional sekitar 4,7 juta ton, dan pada tahun 2012 meningkat 6% (APTINDO 2013). Hingga tahun 2012, Indonesia merupakan negara importir gandum ketiga terbesar di dunia setelah Mesir dan Uni Eropa.

Direktorat Budi daya Serealia bekerja sama dengan Badan Litbang Pertanian telah merintis pengembangan gandum dengan pendekatan agroindustri dan agribisnis. Hal ini tentu membutuhkan penanganan yang tepat termasuk pascapanen gandum.

Pascapanen gandum terdiri atas serangkaian kegiatan yang dimulai dari panen, pengeringan, perontokan, penyimpanan dan penepungan sebelum diangkut atau dijual. Apabila tidak tertangani dengan baik, hal ini akan menurunkan kuantitas biji akibat infestasi hama penyakit dan rendahnya kualitas

produk karena berubahnya warna dan aroma biji gandum akibat infeksi cendawan/jamur. Melalui penerapan teknologi pascapanen yang baik akan dihasilkan produk yang kompetitif.

Tulisan ini membahas aspek penanganan pascapanen gandum yang meliputi pemanenan, penjemuran/pengeringan, perontokan, pengemasan, penyimpanan dan penepungan.

PANEN TEPAT WAKTU

Tanaman gandum yang tumbuh pada wilayah dengan kelembaban udara yang tinggi mudah berkecambah dan berjamur sehingga mempengaruhi kualitas hasil panen. Biji yang berkecambah akibat terlambat panen akan menurunkan viabilitas biji/benih gandum serta menurunkan kualitas/sifat adonan dari tepung yang dihasilkan sehingga akan mempengaruhi nilai jual tepung. Oleh karena itu, untuk menekan susut jumlah dan mutu maka panen segera dilakukan setelah biji masak fisiologis (Bloksma and Bushuk 1988).

Waktu panen gandum dapat diketahui dengan berbagai cara, diantaranya: (1) berdasarkan deskripsi varietas tanaman gandum, (2) berdasarkan umur berbunga tanaman, dan (3) melihat ciri-ciri visual tanaman di lapangan. Berdasarkan deskripsi, tanaman gandum mempunyai umur panen berkisar antara 85-134 hari, bergantung pada varietas dan ketinggian tempat/variasi suhu lingkungan. Terdapat kecenderungan bahwa semakin tinggi tempat/elevasi maka umur panen gandum semakin panjang. Gandum varietas Selayar yang mulai banyak dibudidayakan mempunyai umur panen 125 hari. Varietas Guri-3 Agritan, Guri-4 Agritan, dan Guri-5 Agritan yang dilepas Badan Litbang Pertanian pada tahun 2014 mempunyai umur panen 123-126 hari (Aqil dan Rahmi 2014). Selain berpedoman pada deskripsi varietas, waktu panen juga dapat diketahui dengan melihat ciri-ciri visual pada batang, daun dan bulir gandum.

Pemanenan dapat dilakukan setelah terlihat ciri-ciri seperti berubahnya warna daun dari hijau menjadi kuning tua, malai telah merunduk/terkulai ke tanah dan biji telah mengeras. Selain ciri visual, saat panen juga dapat diduga dengan melihat umur berbunga tanaman (biasanya 65-80 hari setelah tanam). Berdasarkan informasi tersebut maka waktu panen gandum yang tepat adalah 55-65 hari setelah tanaman mulai berbunga. Kadar air biji gandum pada saat panen bervariasi antara 18-24% (Mc Neill and Overhults 2014).

Panen sebaiknya dilakukan pada kondisi cuaca cerah untuk memudahkan proses pengeringan. Tinggi tanaman gandum pada saat panen mencapai 90-100 cm. Batang tanaman gandum dipotong sekitar 3-6 cm dari pangkal/bawah batang tanaman menggunakan sabit. Pemanenan gandum juga dapat dilakukan dengan Combine Harvester yang umumnya pada hamparan lahan yang luas. Batang yang telah dipanen selanjutnya dikumpulkan dan dikeringkan di bawah sinar matahari sebelum dirontok. Kehilangan hasil selama pemanenan dipengaruhi oleh jenis alat/mesin yang digunakan. Chaudhry (1979) melaporkan

bahwa kehilangan hasil selama panen gandum relatif kecil, yaitu 0,35%. Namun kehilangan hasil akibat penanganan pascapanen yang tidak tepat bisa mencapai 10-15% (Thaherzadeh and Hojat 2013).

PERONTOKAN DENGAN MESIN PERONTOK

Perontokan merupakan salah satu tahapan pascapanen gandum yang perlu diperhatikan mengingat kehilangan hasil terbesar pada kegiatan pascapanen gandum adalah pada saat perontokan yang mencapai 1,24% atau sekitar 0,44 kg/kuintal gandum. Mesin perontok padi dapat digunakan untuk merontok gandum tetapi kehilangan hasil tinggi, mencapai 4,5-8,0% (Firmansyah 2010). Oleh karena itu, jenis varietas gandum dan keterampilan operator berperan dalam menurunkan kehilangan hasil pada fase perontokan. Aqil *et al.* (2012) menyatakan bahwa varietas gandum mempunyai karakteristik malai dan biji/gabah yang berbeda dengan tanaman padi, sehingga penggunaan perontok padi untuk merontok gandum berpotensi menghasilkan biji pecah serta biji tidak terontok yang tinggi. Firmansyah (2010) melaporkan varietas Dewata lebih sulit dirontok dibanding varietas lainnya. Setelah dirontok, biji kemudian dibersihkan menggunakan blower untuk memisahkan malai, kulit, dan biji gandum.

Balai Penelitian Tanaman Serealia telah merancang mesin perontok gandum yang diberi nama PG-M1. Mesin perontok gandum ini merupakan modifikasi dari mesin perontok multikomoditas TH-6. Perbaikan atau modifikasi komponen TH-6, yaitu panjang jeruji/gigi pada selinder perontok (*pegtooth*) bertambah 2 cm. Ini dimaksudkan agar biji gandum yang terletak pada malai lebih banyak tergesek oleh gigi perontok. Jarak antara ujung jeruji/gigi perontok dengan penutup selinder perontok dipersempit menjadi 4 cm. Ruangan silinder perontok diperpanjang menjadi 111 cm, agar malai dan biji mudah dipisahkan. Selain itu, untuk mengurangi kelelahan operator, tinggi mesin dikurangi 12 cm, sehingga lengan operator tidak terlampau tinggi dalam memasukan malai gandum kedalam ruang selinder perontok. Secara keseluruhan, dimensi PG-M1-Balitsereal lebih ringan dan lebih ramping dibandingkan dengan H-6, sehingga menjadi lebih ramping dan ringan (Tabel 1).

Penggunaan alsin perontok gandum model PG-M1-Balitsereal setelah dimodifikasi meningkatkan kapasitas perontokan menjadi 350,45 kg/jam pada putaran silinder perontok 600-800 rpm dan laju pengumpunan 6-8 kg/menit. Jumlah biji gandum yang rusak dan kehilangan hasil biji pada putaran silinder 600-800 rpm tidak ditemukan. Biji gandum tidak terontok berkisar antara 0,33-0,46%. Kotoran yang didapatkan pada berbagai putaran silinder perontok berkisar antara 4,65-6,21%. Efisiensi perontokan cukup tinggi, yaitu 99,67% (Tabel 2).

Tabel 1. Spesifikasi prototipe mesin perontok gandum PG-M1 Balitsereal.

Uraian	Spesifikasi
Dimensi	
· Panjang (cm)	111
· Lebar (cm)	100
· Tinggi (cm)	118
Jarak antarjeruji/gigi perontok (cm)	5,0
Panjang jeruji/gigi perontok (cm)	7,0
Jarak antara ujung jeruji/gigi perontok dengan penutup silinder perontok (cm)	4 55
Berat tanpa enjin penggerak (kg)	
Tipe kipas pembersih (blower)	Sentrifugal
Ukuran daya enjin penggerak (Hp)	5,50
Kapasitas perontokan (kg/jam)	350,45

Tabel 2. Mutu fisik biji hasil perontokan pada berbagai putaran silinder perontok.

Uraian	Putaran silinder perontok (RPM)		
	600	700	800
Biji gandum rusak(%)	0,00	0,00	0,00
Kehilangan hasil (%)	0,00	0,00	0,00
Biji gandum tidak terontok (%)	0,46	0,37	0,33
Kotoran (%)	6,21	5,32	4,65
Efisiensi perontokan (%)	99,54	99,63	99,67
Kebersihan biji (%)	93,29	95,17	97,37



Gambar 1. Prototipe mesin perontok gandum rancangan Balitsereal.

PEMBERSIHAN BIJI SECARA MEKANIS

Setelah malai dirontok dilakukan pemisahan antara biji gandum, serasah, batu, biji rusak, dan kotoran lainnya dengan alat pembersih biji seperti tampi, kipas/blower atau mesin pembersih mekanis. Pembersihan biji gandum memegang peranan penting dalam menentukan kualitas biji dan keamanan selama penyimpanan. Svec and Hruskova (2010) menyatakan bahwa tujuan pembersihan biji gandum adalah (1) memisahkan gandum dari kotoran organik dan bahan yang bersifat ferromagnetic, (2) menghilangkan dedak dari endosperm biji, (3) standardisasi kadar air biji sebelum digiling.

FAO (1999) menyatakan pembersihan biji secara tradisional dilakukan dengan cara tampi atau keranjang yang diisi biji gandum dan digerakkan sedemikian rupa, sehingga kotoran dan biji yang ringan dan rusak akan terkumpul di pinggir tampi atau keranjang. Pembersihan biji secara tradisional juga dapat dilakukan dengan menjatuhkan biji dari ketinggian tertentu (150-170 cm di atas permukaan tanah), khususnya pada saat angin cukup kencang. Pembersihan model curah tersebut cukup efektif memisahkan kotoran atau benda-benda ringan yang tercampur dalam biji meskipun harus dilakukan beberapa kali sampai didapatkan biji yang bersih.

Pembersihan biji secara mekanis dilakukan berdasarkan ukuran dan sifat aerodinamis bahan. Alat pembersih mekanis umumnya merupakan kombinasi antara pengayakan dan hembusan. Alat pembersih mekanis yang banyak digunakan dalam pembersihan biji adalah air screen cleaner, winnowing mekanis, dan silinder separator (Yulianingsih 2012).

PENGERINGAN BIJI DENGAN ALAT PENGERING

Pengeringan biji gandum bertujuan untuk menurunkan kadar air biji agar aman disimpan. Pengeringan dilakukan sampai kadar air biji turun di bawah 14% selama 48 jam untuk menjaga kualitas biji. Selama pengeringan berlangsung terjadi proses penguapan air pada biji karena adanya panas dari media pengering, sehingga uap air akan lepas dari permukaan biji ke ruangan di sekeliling tempat pengering (Brooker *et al.* 1974).

Penurunan kadar air biji gandum sebelum penyimpanan bertujuan untuk menghindari terjadinya perkecambahan (*sprouting*) dan pembusukan (*spoilage*) biji. Pengeringan biji-bijian dianjurkan sampai kadar air 10-12% sebelum disimpan, agar tidak mudah terserang hama dan terkontaminasi cendawan/jamur, serta mempertahankan volume dan bobot bahan sehingga memudahkan penyimpanan (Handerson and Perry 1982).

Biji gandum mempunyai tingkat ketahanan terhadap laju pengeringan yang tinggi dibandingkan dengan jagung. Walaupun gradient penurunan kadar air gandum lebih tinggi dibanding jagung namun tingkat kerusakan/stress biji gandum akibat pengeringan tidak sebesar biji jagung (Nellist and Bruce 1995).

Pengeringan biji gandum tidak boleh dilakukan dalam jumlah besar sekaligus karena akan mengganggu proses pengeringan dan pengeringan tidak merata sehingga menurunkan kualitas biji gandum (Mc Nell and Overhults 2014). Perubahan suhu pengeringan yang mendadak juga dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada biji gandum yang berdampak langsung pada mutu yang dihasilkan (Brooker *et al.* 1981). Suhu maksimum mesin pengering yang dianjurkan untuk pengeringan gandum bergantung peruntukan, untuk benih suhu pengeringan maksimum 60°C, untuk bahan pangan 60-65°C, dan untuk pakan ternak maksimum 80-100°C. Jayas dan Ghost (2006) menyatakan bahwa untuk mempertahankan sifat tepung, khususnya untuk roti, pengeringan harus dilakukan pada suhu dibawah 60°C.

Pengeringan biji-bijian khususnya yang menggunakan peralatan mekanis juga menyebabkan terjadinya perubahan warna bahan. Laju perubahan warna bahan berbanding lurus dengan lama proses pengeringan (Culver and Wrolstad 2008). Warna biji dapat menjadi salah satu indikasi lama proses pengeringan biji gandum.

Gandum yang ditanam di Indonesia umumnya dalam skala kecil di Pasuruan, Malino, dan Timor Tengah Selatan. Cara pengeringan gandum di tingkat petani di daerah tersebut adalah menjemur dengan sinar matahari. Penjemuran gandum langsung di lapang dengan bantuan sinar matahari umumnya dilakukan pada malai atau biji sebelum disimpan. Efektivitas penjemuran ditentukan oleh: (1) ketebalan lapisan pengeringan, (2) suhu dan lama pengeringan, (3) bulk density, dan (4) frekuensi pembalikan (FAO 1999, Muhlbauer 1983). Lama penjemuran gandum bervariasi antara 3-5 hari dengan asumsi kondisi cuaca cerah. Dengan kisaran waktu tersebut, kadar air biji akan turun dengan laju penurunan 0,7-1%/hari (Broker *et al.* 1974).

Pengeringan secara mekanis atau menggunakan alat pengering dioperasikan secara mekanis. Beberapa alat pengering mekanis adalah: (a) alat pengering dengan sumber panas energi bahan bakar minyak (solar, minyak tanah, premium); (b) alat pengering dengan sumber panas energi bahan bakar limbah pertanian; (c) alat pengering dengan sumber panas sinar matahari.

Alat pengering jagung juga dapat digunakan untuk mengeringkan gandum, hanya perlu memperhatikan laju aliran udara pengeringan dan ketebalan tumpukan. Laju dan durasi pengeringan dipengaruhi oleh dua faktor penting, yaitu jumlah aliran udara/panas yang dialirkkan dan kapasitas mengikat air dari udara. Pengeringan tipe *flat bed* memerlukan laju udara pengeringan berkisar antara 0,5-1,5 m³/detik per meter kubik biji gandum yang dikeringkan, sedangkan

Table 3. Kesesuaian sistem pengeringan gandum berdasarkan kadar air biji.

Sistem pengeringan	Kadar air biji (%)
Pengeringan cepat	21-24
Pengeringan bak terbuka	15-20
Bak terbuka tanpa sumber panas	Di bawah 15

untuk pengeringan dengan sistem kontinu memerlukan laju aliran udara 1,5-2,5 m³/detik per meter kubik biji gandum (Samuel *et al.* 2003).

Ghost *et al.* (2006a) menyatakan bahwa selama pengeringan berlangsung terjadi pergerakan uap air dari endosperm menuju bagian kecambah (germ) melalui sel yang berbentuk seperti ibu jari dari lapisan epithelium dan selanjutnya keluar dari biji. Ghost (2006b) lebih lanjut melaporkan bahwa laju pergerakan uap air pada bagian endosperm biji lebih tinggi dibandingkan dengan bagian kecambah. Laju penguapan air dari biji dapat diketahui dari model pengeringan lapis tipis (*thin layer drying*) menggunakan hukum ke dua Fiks tentang proses difusi uap air (Mohapatra and Rao 2005).

Badan Litbang Pertanian telah mengembangkan alat pengering multikomoditas (jagung, gandum, sorgum) dengan sumber panas matahari dan kayu bakar (Prabowo *et al.* 2000). Kapasitas pengeringan mencapai 5-10 ton biji atau malai untuk setiap kali pengeringan. Alat ini umumnya digunakan untuk mengeringkan benih jagung dan gandum. Pengering sumber panas matahari hanya dioperasikan pada siang hari, sedangkan pengeringan dengan bahan bakar kayu dioperasikan pada malam hari atau apabila cuaca mendung.

Bangunan pengering terdiri atas atap bangunan yang merupakan komponen utama alat pengering energi surya yang berfungsi sebagai kolektor tenaga surya. Udara panas dari modul kolektor energi surya disalurkan ke ruang pengering melalui saluran mendatar dan dialirkan ke bawah melalui saluran tegak sepanjang 6,0 m. Pengaliran udara ke arah bawah dan yang masuk ke plenum mengikuti sistem pengaliran paksa arah bawah (*downdraft circulation force*), dibantu dengan kipas penarik.



Gambar 2. Konstruksi alat pengering sumber panas matahari dan kayu.

Tabel 4. Kadar air keseimbangan biji gandum (basis basah) pada berbagai kondisi suhu dan kelembaban.

Suhu °C	Kelembaban relatif (%)									
	10	20	30	40	50	60	65	70	80	90
1,67	7,3	8,9	10,2	11,3	12,3	13,4	14,0	14,7	16,1	18,2
4,40	7,1	8,7	10,0	11,1	12,1	13,2	13,8	14,4	15,9	18,0
10,00	6,8	8,4	9,6	10,7	11,8	12,9	13,4	14,1	15,5	17,6
15,50	6,5	8,1	9,3	10,4	11,4	12,5	13,1	13,7	15,1	17,2
21,10	6,2	7,8	9,0	10,1	11,1	12,2	12,8	13,4	14,8	16,9
26,60	6,0	7,5	8,7	9,8	10,8	11,9	12,5	13,1	14,5	16,6
32,20	5,8	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,2	12,8	14,2	16,3
37,78	5,6	7,1	8,3	9,3	10,3	11,4	12,0	12,6	14,0	16,0

Sumber: ASAE (2002).

Alat pengering dengan sumber panas matahari dan tungku bahan bakar tongkol jagung/kayu dapat mengeringkan biji jagung dan gandum di Balitsereal pada musim hujan dengan suhu pengering pada pukul 08:00-16:00 berkisar antara 30-45°C, kemudian menurun sampai 25°C pada pukul 17:00. Suhu udara pada kotak pengering yang diamati pada panel kolektor panas bagian atap bangunan pengering dan saluran udara pemanas masing-masing 30°C dan 55°C. Kelembaban nisbi udara (RH) yang tercatat selama pengamatan berkisar antara 80-100% dengan suhu lingkungan (ambient) 21-35°C. Suhu maksimum pada kotak pengering cocok untuk pengeringan benih, dengan kisaran suhu 40-45°C.

Proses pengeringan secara manual atau menggunakan peralatan mekanis dapat menciptakan kondisi kesetimbangan kadar air biji atau *equilibrium moisture content*. Kadar air keseimbangan biji gandum dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban relatif udara di sekitar tempat pengeringan. Biji gandum melakukan respirasi dengan menyerap air dari lingkungan. Biji akan terus menyerap air sampai mencapai titik keseimbangan dengan lingkungan. Tabel 4 menunjukkan nilai kadar air keseimbangan biji gandum pada berbagai suhu dan kelembaban. Sebagai contoh, biji gandum akan mencapai kadar air keseimbangan 14,8% apabila dikeringkan pada suhu udara 21,1°C dan kelembaban relatif 80%.

PENYIMPANAN

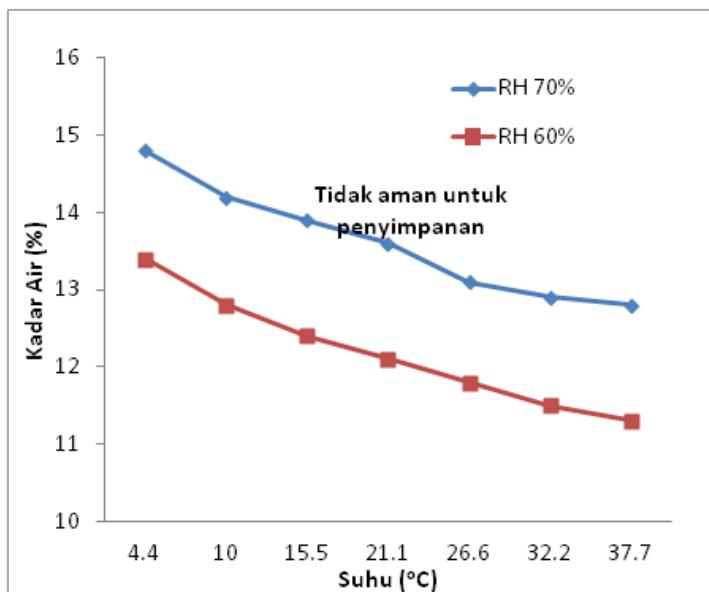
Penyimpanan gandum merupakan rangkaian tahapan proses pascapanen yang bertujuan untuk mempertahankan jumlah dan mutu biji sampai menunggu proses selanjutnya. Penyimpanan umumnya dilakukan setelah biji dikeringkan sampai menunggu proses pengangkutan/penjualan. FAO (1999) menyatakan bahwa biji gandum dengan kadar air 14% tahan disimpan hingga 2-3 bulan.

Untuk penyimpanan yang lebih lama, kadar air biji gandum harus diturunkan pada level 13% atau dibawahnya.

Kerusakan biji/tepung gandum selama penyimpanan disebabkan oleh faktor fisik (suhu, kelembaban), biologi (mikroflora, vertebrata) dan teknis (kondisi gudang penyimpanan, metode serta lama waktu penyimpanan). Kondisi yang mendukung perkembangan hama adalah pada suhu sekitar 30°C dengan kelembaban udara berkisar antara 40-80%. Pada suhu diatas 40°C sebagian besar hama yang menyerang biji atau tepung akan mati. Dalam implementasinya, kadar air awal biji dan bahan kemasan merupakan kombinasi yang baik untuk mempertahankan kualitas biji selama penyimpanan.

Penyimpanan gandum di petani umumnya menggunakan fasilitas sederhana, misalnya gudang berdinding kayu atau bambu, ruang sekat berukuran kecil, drum dan lain lain. Kehilangan hasil dengan cara penyimpanan tersebut mencapai 4% (Mc Farlane 1989, Abdullahi and Haile 1991). Karakteristik biji gandum yang berkaitan erat dengan penyimpanan adalah kadar air, aktivitas respirasi biji yang menghasilkan panas, uap air dan CO₂, densitas serta sifat fisik biji yang melakukan perpindahan panas secara konduksi.

Kuswanto (2003) menyatakan bahwa gudang tempat penyimpanan benih berbeda dengan gudang penyimpanan biji. Gudang untuk penyimpanan benih, selain memenuhi syarat sebagai tempat penyimpanan, suhu dan kelembaban dalam gudang harus dapat diatur agar dapat mempertahankan kualitas dan daya simpan benih, terutama di daerah tropis yang mempunyai suhu dan kelembaban yang tinggi sepanjang tahun.



Gambar 3.Penurunan kadar air biji seiring kenaikan suhu.

Tabel 5. Pengaruh penyimpanan benih gandum terhadap daya kecambah dan kadar air biji gandum.

Perlakuan	0 bulan	2 bulan	4 bulan	6 bulan
Varietas Dewata				
Daya kecambah (%)	84	79	67	66
Kadar air (%)	9,46	9,70	9,80	10,40
Varietas Nias				
Daya kecambah (%)	91	90	88	86
Kadar air (%)	10,46	10,50	10,53	10,62
Varietas Selayar				
Daya kecambah (%)	92	92	91	88
Kadar air (%)	10,21	10,43	10,56	10,73

Sumber: Arief *et al.* (2014).

Penyimpanan benih gandum dengan periode simpan 0-6 bulan cenderung meningkatkan kadar air biji dan penurunan daya berkecambah benih (Tabel 5). Varietas Dewata yang disimpan selama 6 bulan mengalami peningkatan kadar air dari 9,46% pada awal penyimpanan menjadi 10,40% setelah 6 bulan penyimpanan. Daya kecambah benih juga mengalami penurunan dari 84% menjadi 66%.

Selama penyimpanan, biji gandum peka terhadap infestasi hama pascapanen. Hama *S. zeamais* merupakan hama gudang utama pada komoditas serealia. Tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh hama ini dapat mencapai diatas 30%. Faktor yang mempercepat perkembangan kumbang bubuk tersebut adalah tingginya kadar air awal penyimpanan, suhu, kelembaban udara, dan rendahnya mutu biji (Bejo 1992). *S. zeamais* umumnya menyerang malai menjelang panen di lapangan dan tempat penyimpanan. Seekor serangga betina dapat meletakkan telur sebanyak 300-500 butir dalam waktu 4-5 bulan dan dalam waktu satu tahun terjadi 5-7 generasi (Anonim 1983). Samuel (1974) dan Anonim (1983) melaporkan bahwa selain *S. zeamais*, serangga *Cryptolestes fuscilis*, *Tribolium confusum*, *T. castaneum*, *Rhyzoperta dominica*, *Corcyra chevalonica*, dan *Sitotroga cerealella* juga menyerang biji sorgum dalam penyimpanan.

Untuk mencegah kerusakan biji yang disimpan diperlukan monitoring yang intensif terhadap kondisi ruang penyimpanan dan biji/tepung gandum yang disimpan. Pengamatan terhadap ruang penyimpanan meliputi kondisi aerasi dan peralatan pendingin. Pengamatan juga diperlukan terhadap hama yang muncul dalam gudang penyimpanan. Secara berkala diperlukan fumigasi terhadap biji/tepung yang disimpan. Pengamatan juga harus dilakukan terhadap kualitas biji/tepung secara rutin untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan fungsional selama penyimpanan.

PENGGILINGAN DAN PENEPUING

Proses produksi tepung terigu yang berkualitas dengan penampilan warna yang menarik memerlukan proses pascapanen yang penting, yaitu penggilingan biji. Penggilingan biji merupakan proses pengecilan ukuran biji gandum menjadi bagian yang lebih halus. Penggilingan bertujuan untuk menghilangkan lapisan aleuron pada biji. Lapisan aleuron meliputi 6-9% dari biji dan umumnya mengandung protein dan serat yang tinggi (Declour and Hoseney 2010).

Seperti halnya padi, gandum yang telah dirontok masih menyisakan lapisan kulit pada bagian luarnya yang harus dibuang, atau proses *debranning*. Proses penggilingan mencakup penghapusan lapisan endosperm dari kulit luar, dedak. Fleurat Lessard *et al.* (2007) menyatakan bahwa sebanyak 80% residu pestisida terdapat pada kulit luar biji gandum. Proses *debranning* dengan menghilangkan sekitar 4% lapisan kulit terluar biji mampu menekan kontaminasi mikroba sampai 87% dibanding biji yang tidak digiling/sosoh.

Hemery *et al.* (2007) mengklasifikasikan metode pengupasan kulit terluar biji gandum atau *debranning* menjadi dua, yaitu metode *peeling* (menggunakan prinsip friction/memecah) dan *pearling* (pengupasan kulit dengan menggunakan metode abrasif). Proses *peeling* menggunakan mesin/peeler yang dilengkapi rotor dengan arah yang berlawanan. Interaksi rotor dengan biji pada arah yang saling berlawanan memungkinkan pelepasan lapisan peripheral (pericarp) dari biji. Sementara itu proses *pearling* menggunakan metode yang berbeda, yaitu dengan prinsip penggerusan/abrasif dan tekanan udara digunakan untuk melepaskan lapisan peripheral (Dexter and Wood 1996). Tingkat pelepasan lapisan kulit luar biji dapat diatur dengan mengatur jarak antara batu abrasif dengan screen. Pelepasan 4% kulit luar dengan metode *pearling* akan menurunkan kontaminasi mikroba sampai 90% (Mousia *et al.* 2004).

Sebelum digiling dengan metode *peeling* maupun *pearling*, biji memerlukan proses *conditioning* selama beberapa waktu, biasanya melalui perendaman biji selama 12-36 jam. Hal ini memungkinkan penetrasi air hanya pada bagian terluar dan diikuti oleh pelepasan lapisan aleuron. Perlakuan *conditioning* memungkinkan bran menjadi kompak dan biji tidak mudah rusak pada saat digiling. Hal ini berbeda dengan cara konvensional, dimana lapisan *seed coating* dan *aleurón* dihilangkan sekaligus dalam bentuk *bran* (Delcour and Hoseney 2010). Salah satu keuntungan *debranning* adalah dapat memperbaiki tampilan dan kualitas biji gandum.

Proses selanjutnya adalah penepungan endosperma yang telah melalui proses *debranning*. Penepungan memungkinkan diperolehnya hasil ekstraksi yang tinggi dengan kualitas tepung yang baik. Proses ukuran reduksi dilakukan dimana endosperma yang sudah dihancurkan diperkecil lagi menjadi tepung terigu, untuk selanjutnya diayak untuk dipisahkan antartepung dengan kotoran yang terikut pada saat proses penepungan. Proses penepungan yang baik umumnya menghasilkan 74-84% tepung terigu sedangkan *bran* dan *pollard* berkisar antara 20-26% (Wikipedia 2015).

Tepung terigu yang dihasilkan secara umum dibagi menjadi tiga kategori, yaitu (1) tepung berprotein tinggi (*bread flour*), yaitu tepung terigu yang mengandung kadar protein 11%-13%, digunakan sebagai bahan pembuat roti, mi, pasta, dan donat; (2) tepung berprotein sedang/serbaguna (*all purpose flour*) yaitu tepung terigu yang mengandung protein 8-10%, digunakan sebagai bahan pembuat *cake*; dan (3) tepung berprotein rendah (*pastry flour*) yang mengandung protein 6-8%, umumnya digunakan untuk kue yang renyah, seperti biskuit atau kulit gorengan atau keripik.

PENUTUP

Kualitas tepung/biji gandum ditentukan oleh standar mutu yang digunakan dalam penanganan pascapanen, mulai dari panen, perontokan, pembersihan, pengeringan, penyosohan, hingga penepungan. Kehilangan hasil pada saat *handling* serta penggunaan alat dan mesin dalam proses pascapanen gandum juga sangat penting dalam kaitannya dengan efisiensi hasil pascapanen.

Penanganan pascapanen yang baik pada mata rantai produksi mulai saat panen, pengeringan, perontokan, penyimpanan dan penggilingan akan menghasilkan produk pati dan gluten yang berkualitas, sehingga akan meningkatkan nilai jual produk di pasaran. Gandum dengan kandungan gluten tinggi menjadikannya sebagai bahan pangan utama dalam pembuatan produk roti, mie instan maupun makanan lainnya. Seiring dengan semakin meningkatnya kebutuhan domestik akan komoditas gandum dan rencana pemerintah untuk melepas varietas gandum dataran rendah maka aspek pascapanen perlu mendapat perhatian sehingga produk terigu dalam negeri nantinya akan memenuhi standar kualitas/SNI.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi, A. and A. Haile. 1991. Research on the control of insect and rodent pests of wheat in Ethiopia. In: Wheat research in Ethiopia: a historical perspective. Addis Ababa, IAR/CIMMYT.
- Anonim. 1983. Sorgum insect identification handbook. International Crops Research Institute for the Semi arid Tropics. Information Buletin No.12.
- Aptindo. 2013. Konsumsi terigu nasional meningkat 7%. <http://www.imq21.com/news/print/222363/20140414/180110/Aptindo-Indonesia-Mampu-Jadi-Sentral-Produksi-Terigu-Asia-Timur.html>.
- Aqil dan Rahmi. 2014. Deskripsi varietas unggul jagung, sorgum dan gandum. Balai Penelitian Tanaman Serealia.
- Aqil, M., C. Rapar, dan Zubachtirodin. 2013. Highlight Balai Penelitian Tanaman Serealia Tahun 2012.
- Arief, R., F. Koes, dan O. Komalasari. 2013. Laporan akhir tahun UPBS Baai Penelitian Tanaman Serealia.

- ASAE Standards. 2002. D254.4. Moisture relationships of grains. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mich. <<http://www.asae.org>>.
- Bejo. 1992. Pengaruh kadar air awal biji jagung terhadap laju infeksi kumbang bubuk.dalam Astanto *et al.* (*Eds.*). Risalah Hasil Penelitian Tanaman Pangan Malang Tahun 1991.Balai penelitian Tanaman Pangan Malang. p. 294-298.
- Bloksma, A.H. and W. Bushuk. 1988. Rheology and chemistry of dough. In Y. Pomeranz, *ed.* *Wheat: chemistry and technology*, vol. 2, p. 180. St Paul, MN, USA, American Ass. Cereal Chemists.
- Brooker, D.B., F.W. Bakker, and C.W. Arkema. 1974. Drying cereal grains. The A VI Publishing Co. Inc, West Port. USA.
- Chaudhry, M.A. 1979. Wheat losses at the threshing and winnowing stages. Agri. Mechan. Asia, Africa and Latin America. 10(4):67-70.
- Culver, C.A. and R.E. Wrolstad. 2008. Color quality of fresh and processedfoods. (*Eds.*). ACS Symposium Series 983.
- Delcour, J.A. and R.C. Hoseney. 2010. Principles of cereal science and technology. St. Paul, MN, USA: AACC International.
- Dexter, J.E. and P.J. Wood. 1996. Recent applications of debranning of wheat prior to milling. Trends Food Sci. Tech. 7:35-41.
- FAO. 2015. FAO Cereal Supply and Demand Brief. Tersedia secara online pada <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>.
- FAO. 1999. WHEAT Post Harvest Operations.INPho Post Harvet Compendium.Food and Agriculture Organization of the United Naitons, Rome.
- Firmansyah, I.U., M. Aqil, Suarni, M. Hamdani, dan O. Kormalasari. 2010. Penekanan kehilangan hasil pada proses perontokan gandum (1,5%) dan penurunan kandungan taninsorgum (mendekati 0%) pada proses penyosohan. Laporan Hasil Penelitian, Balai Penelitian Serealia. Maros. p. 1-40.
- Fleurat-Lessard, F., M. Chaurand, G. Marchegay, and J. Abecassis. 2007. Effects of processing on the distribution of pirimiphos-methyl residues in milling fractions of durum wheat. Journal of Stored Products Research 43:384-395.
- Handerson, S.M. and R.L. Perry. 1982. Agricultural process engineering. Third edition.The AVI Publishing Company Inc., Westport Connecticut.
- Hemery, Y., X. Rouan, V. Luillen-Pellerin, C. Barron, and J. Abecassis. 2007. Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced quality. Journal of Cereal Science 46:327-247.
- Hruskova, M. and D. Machova. 2002. Changes of Wheat flour properties during short term storage. Czech Journal of Food Science 20(4):125-130.
- Hussein, H.S. and J.M. Brasel. 2001. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxinson humans and animals. Toxicology, 167, 101e134.
- Jayas, D.S. and P.K. Ghosh. 2006. Preserving quality during grain dryingand techniques for measuring grain quality. In: Proceedings ofthe 9th International Working Conference on Stored ProductProtection (Lorini I; Bacaltchuk B; Beckel H; Deckers D; SunfeldE; dos Santos J P; Biagi J D; Celaro J C; Faroni L R D A; Bortolini Lde O F; Sartori M R; Elias M C; Guedes R N C; da Fonseca R G; Scussel V M, eds), pp 969-981. Brazilian Post-harvest Association,Campinas, Brazil.
- Johnson, D. and L. Townsend. 2009. ID-125: A Comprehensive Guide to Wheat Management in Kentucky.

- Kuswanto, H. 2003. Teknologi pemrosesan, pengemasan dan penyimpanan benih. Kanisius Yogyakarta.
- Mc Neill, S. and D. Overhults. 2014. Harvesting, drying, and storing wheat. Extension Agriculture, University of Kentucky. p. 47-50.
- McFarlane, J.A. 1989. Guidelines for pest management research to reduce stored food losses caused by insects and mites. Overseas Development and Natural Resources Institute Bulletin No. 22. Chatham, Kent, UK.
- Mohapatra, D. and P.S. Rao. 2005. A thin layer drying model of parboiled wheat. Journal of Food Engineering. 66:511-518.
- Mousia, Z., S. Edherly, S.S. Pandiella, and C. Webb. 2004. Effect of wheat pearling on flour quality. Food Res. Int. 37:449-459.
- Muhlbauer, W. 1983. Drying of agricultural products with solar energi. Procedings of Technical Consultstion of European Cooperative Network on Rural Energi, Tel Aviv, Israel. 3:29-36.
- Nellist, M.E. and D.M. Bruce. 1995. Heated-air grain drying. In: Stored Grain Ecosystems. Jayas, D.S., N.D.G.White, W.E.Muir (Eds.). p. 609-660. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Prabowo, A., Y. Sinuseng, dan I.G.P.Sarasutha. 2000. Evaluasi alat pengering jagung dengan sumber panas sinar matahari dan pembakaran tongkol jagung. Hasil Penelitian Kelti Fisiologi. Balitjas, Maros.
- Samuel, G., Mc. Nell and M.D. Mantross. 2003. Harvesting, drying, and storing grain sorghum. College og Agriculture, University of Kentucky.
- Svec, I. and M. Hruskova. 2010. Evaluation of wheat bread features. J. Food Eng., 99: 505-510.
- Taherzadeh, A. and S. Hojjat. 2013. Study of Post-harvest Losses of Wheat in North Eastern Iran. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 4(6): 1502-1505. Science Explore Publication.
- USDA. 2012. Wheat Data. Tersedia secara online pada <http://www.ers.usda.gov/data-products/wheat-data.aspx>.
- Wikipedia. 2015. Wheat.<https://en.wikipedia.org/wiki/Wheat>. Akses 1 September 2015.
- Yulianingsih, R. 2012. Cleaning and Grading. Universitas Brawijaya Malang.

Indeks Subjek

Benih	161, 203
Benih sumber	161
Mutu fisiologis	213
Teknik produksi	204
Evolusi tanaman	42
Fase pertumbuhan	82
Antesis	95
Bunting	91
Perkecambahan	83, 84
Masak adonan	99
Masak susu	96
Fisiko kimia	62
Gluten	64
Gandum dunia	3
Perdagangan	11
Produsen utama	4
Sentra produksi	3
Sistem produksi	7
Gandum tropika	123
Jenis	138
Pengembangan	123
Pendekatan agronomis	128
Pendekatan fisiologis	127
Kebijakan impor	16
Keseimbangan hara	233
Komposisi gizi	54
Kadar abu	55
Karbohidrat	59
Lemak	58
Mineral dan vitamin	62
Protein	55
Lingkungan tumbuh	3, 123
Curah hujan	123
Suhu udara	124
Morfologi	69
Akar	70
Anakan	74, 86
Batang	72, 87
Biji	78, 101
Bunga	75, 92
Daun	73

Pascapanen	263
Panen	264
Pembersihan biji	267
Pengeringan biji	267
Penggilingan	273
Penyimpanan	270
Perontokan	265
Pemupukan	219
Bahan organik	234
Fosfor	227
Kalium	230
Nitrogen	222
Sulfur	231
Penelitian	27
Gandum tropis	35
Konsorsium penelitian	35
Pengairan	110, 117
Model simulasi	118
Pengembangan	18
Kebijakan	22
Pengalaman	18
Potensi lahan	18
Penyakit tanaman	241
Bakteri	257
Cendawan	242
Virus	259
Perbaikan genetik	139
Pola tanam	108
Spesies	46
Prospek usahatani	12
Struktur biji	52
Sumber daya genetik	154
Taksonomi	44
Varietas	32, 37, 135, 137
Perakitan	142, 153, 185
Adaptasi galur	141
Konstitusi genetik	136
Pemuliaan marka molekuler	165
Alat bantu marker	169
Genomik	172
Rekombinasi	166
Teknologi mutasi	185
Irradiasi sinar gamma	194
Jenis mutagen	189
Katagori mutasi	186