

PERBAIKAN GENETIK GANDUM TROPIS TOLERAN SUHU TINGGI DAN PERMASALAHAN PENGEMBANGANNYA PADA DAERAH DATARAN RENDAH

Genetic Improvement of Tropical Wheat Tolerant to High Temperatures and Constraints of Their Development at Lowland Areas

Amin Nur¹, Karlina Syahrudin¹, dan Made Jana Mejaya²

¹Balai Penelitian Tanaman Serealia

Jalan Dr. Ratulangi No. 274 Kotak Pos 173 Maros 90514, Indonesia

Telp. (0411) 371529; 371016, Faks. (0411) 371961

E-mail: Balitser1@yahoo.co.id; balitsereal@litbang.pertanian.go.id

² Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan

Jalan Merdeka No. 147, Bogor 16111, Indonesia

Telp. (0251) 8334089; 8331718, Faks. (0251) 8312755;

E-mail: iceriamin76@gmail.com; puslitbangtan@litbang.pertanian.go.id

Diterima: 9 Oktober 2014; Direvisi: 14 Januari 2015; Disetujui: 3 Februari 2015

ABSTRAK

Perbaikan genetik gandum melalui program pemuliaan di Indonesia diawali dengan mengintroduksi galur-galur elit dari berbagai negara yang dinilai cocok dengan agroekosistem tropis Indonesia karena Indonesia tidak memiliki plasma nutfah lokal. Keragaman genetik yang luas sangat dibutuhkan untuk mendapatkan varietas gandum tropis. Program peningkatan keragaman genetik gandum yang sudah berjalan ialah pemuliaan melalui persilangan dan mutasi (biji dan variasi somaklonal). Jenis gandum yang dapat ditanam di lingkungan tropis Indonesia ialah *Triticum aestivum* pada ketinggian > 1.000 m dpl. Pengembangan gandum tropis < 1.000 m dpl perlu didukung pemuliaan mulai dari pembentukan populasi sampai pelepasan varietas dengan metode *shuttle breeding*. Evaluasi galur-galur introduksi pada dataran rendah memperoleh beberapa galur dan varietas toleran (Oasis, Selayar) dan peka (Dewata, HP1744). Pada galur dan varietas tersebut selanjutnya dilakukan persilangan (*single cross* dan *convergent breeding*) dan mutasi dengan iradiasi sinar gama diikuti *shuttle breeding*. *Single cross* melalui *shuttle breeding* menghasilkan 30 galur adaptif < 1.000 m dpl, sementara dari *convergent breeding* diperoleh populasi F4. Pemuliaan melalui iradiasi sinar gama pada biji memperoleh 15 galur mutan M7, sementara melalui variasi somaklonal kultur jaringan menghasilkan populasi mutan M4. Hampir semua karakter agronomi yang dipelajari toleransinya terhadap cekaman suhu tinggi dikendalikan secara poligenik dengan aksi gen aditif dengan pengaruh epistasis duplikat maupun komplementer.

Kata kunci: Gandum tropis, perbaikan genetik, *shuttle breeding*, gandum dataran rendah

ABSTRACT

Wheat genetic improvement through breeding programs in Indonesia is initiated by introducing the elite lines from various countries which are considered suitable for tropical agro-ecosystems in Indonesia because Indonesia does not have a local germplasm. A broad genetic diversity is needed to get wheat

varieties adaptive to tropical conditions in Indonesia. Increasing genetic diversity of wheat is conducted through cross breeding and mutation (seeds and somaclonal variation). Not all types of wheat can be grown in Indonesia, only Triticum aestivum that can be developed at areas of > 1,000 m asl. The development of tropical wheat at < 1,000 m asl should be supported by breeding programs initiated by forming the population until releasing the varieties with shuttle breeding methods. Evaluation of the introduced lines at lowland obtained several lines that are tolerant (Oasis and Selayar) and sensitive (Dewata and HP1744). The lines and varieties were then applied with cross breeding (single cross and convergent breeding) and mutation with gamma ray irradiation (seeds and somaclonal variation) followed by the shuttle breeding. Single cross through shuttle breeding produced 30 lines adaptive to < 1,000 m asl, while from the convergent breeding produced the M3 population. Breeding through seed mutation resulted 15 lines of M7 mutant, while through somaclonal variation in tissue culture produced M4 mutant population. Almost all the agronomic characters studied tolerance to high temperature stress were polygenic controlled by additive gene action with the influence of both the duplicate and complementary epistasis.

Keywords: Tropical wheat, genetic improvement, shuttle breeding, lowland wheat

PENDAHULUAN

Gandum merupakan tanaman serealia penting di dunia karena memiliki peran strategis dalam mendukung ketahanan pangan dan pemenuhan kebutuhan pangan. Menurut Wittenberg (2004), gandum sebagai sumber pangan dikonsumsi sekitar dua miliar penduduk atau 36% dari total penduduk dunia.

Di Indonesia, kebutuhan gandum sebagai sumber pangan sepenuhnya dipenuhi dari impor sehingga impor gandum dalam bentuk biji maupun tepung terus meningkat dari tahun ke tahun. Nilai impor biji gandum

sampai akhir 2013 mencapai 7,2 juta ton (USD 1.052.307.692), sementara impor dalam bentuk tepung terigu mencapai 4,7 juta ton (USD 1.946.757.715), naik 6 % dari tahun 2011 (Aptindo 2013). Kebijakan impor gandum dalam jangka pendek merupakan salah satu solusi untuk memenuhi peningkatan permintaan terigu di dalam negeri. Namun dalam jangka panjang, kebijakan ini menyebabkan ketergantungan Indonesia pada negara-negara pengekspor gandum makin besar. Oleh karena itu, pemerintah perlu mengantisipasinya dengan mengembangkan tanaman gandum di lingkungan tropis.

Pengembangan gandum di lingkungan tropis Indonesia pada ketinggian > 1.000 m dpl telah dilakukan di beberapa wilayah seperti di Tosari (Jawa Timur), Banjarnegara dan Salatiga (Jawa Tengah), Malino dan Sinjai (Sulawesi Selatan), serta Padang (Sumatera Barat) dengan berbasis kampung industri lokal gandum. Upaya untuk memperoleh varietas gandum yang sesuai untuk daerah tropis juga dilakukan. CIMMYT (*International Maize and Wheat Improvement Center*) melakukan seleksi untuk memperoleh gandum toleran suhu dan curah hujan tinggi. Peneliti Indonesia juga telah mengevaluasi genotipe-genotipe gandum introduksi dan melakukan seleksi dari populasi bersegregasi (Gayatri *et al.* 1989; Dasmal *et al.* 1994). Hasil gandum di Lembang (Jabar, 1.100 m dpl) mencapai 3,34 t/ha, varietas Nias di Malino mampu berproduksi 5,37 t/ha pada 2001, tetapi pada 2002 hasil tertinggi hanya 2,05 t/ha karena perbedaan kesuburan tanah (Dahlan *et al.* 2003). Perluasan area pengembangan gandum di wilayah tersebut kurang prospektif karena gandum hanya digunakan sebagai tanaman sela dari tanaman hortikultura yang nilai ekonominya lebih tinggi, selain luas lahan pada ketinggian > 800 m dpl sangat terbatas. Oleh karena itu, program jangka panjang pengembangan gandum tropis diarahkan pada daerah dengan ketinggian menengah-rendah.

Kendala pengembangan gandum di dataran menengah-rendah (< 800 m dpl) ialah cekaman suhu tinggi. Suhu udara optimal untuk pertumbuhan dan perkembangan gandum adalah 8–10°C (subtropis). Di Indonesia, suhu yang demikian hanya dapat dijumpai pada daerah dengan ketinggian > 1.000 m dpl (15–24°C). Sementara suhu dataran menengah-rendah berkisar antara 25–35°C (Handoko 2007).

Menurut Reynolds (2002), produksi gandum menurun secara nyata pada lingkungan dengan cekaman kekeringan, paling tidak pada 15 juta ha area pertanaman gandum di negara berkembang. Lebih dari 7 juta ha gandum ditanam pada lingkungan dengan cekaman suhu tinggi, dengan suhu harian rata-rata lebih dari 17,5°C pada bulan terdingin. Cekaman suhu pada fase akhir pertumbuhan tanaman menjadi masalah pada 40% area pertanaman gandum di daerah *temperate* yang mencapai 36 juta ha. Makalah ini memaparkan perbaikan genetik gandum tropis toleran suhu tinggi dan permasalahan pengembangannya pada daerah dataran menengah hingga rendah.

ASAL DAN KONSTITUSI GENETIK GANDUM

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

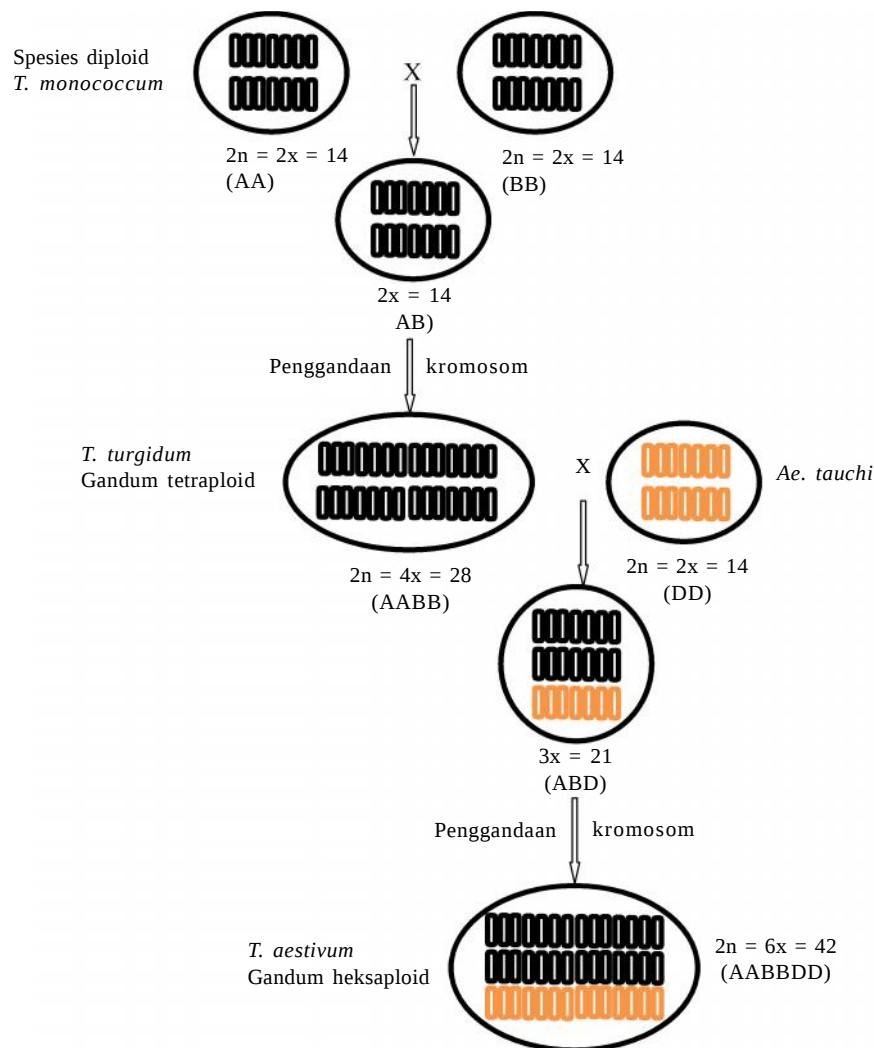
Spesies-spesies yang termasuk dalam genus *Triticum* dikelompokkan ke dalam tiga kelas ploidi, yaitu diploid ($2n = 2x = 14$), tetraploid ($2n = 4x = 28$), dan heksaploid ($2n = 6x = 42$) (Gambar 1) (Fehr 1987; Sakamura 1918 dalam Wittenberg 2004; Sleper dan Poehlman 2006). Saat ini terdapat 11 spesies diploid, 12 spesies tetraploid, dan 6 spesies heksaploid yang sudah diidentifikasi dan dideskripsikan (Sleper dan 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, digunakan untuk membuat pasta.

Wilson (1955) mengklasifikasikan gandum berdasarkan kegunaannya, yaitu gandum keras (*hard wheat*) yang memiliki kandungan gluten dan protein tinggi, cocok untuk pembuatan roti; serta gandum lunak (*soft wheat*) yang memiliki kandungan gluten dan protein lebih rendah, cocok untuk pembuatan kue kering, biskuit, dan *crackers*. Gandum durum adalah gandum yang memiliki kandungan gluten dan protein sangat rendah, cocok untuk pembuatan makaroni dan spageti. Fehr (1987) mengklasifikasikan beberapa spesies *Triticum* berdasarkan kelas ploidinya seperti disajikan pada Tabel 1.

JENIS DAN KONSTITUSI GENETIK GANDUM

Jenis Gandum untuk Lingkungan Tropis

Tidak semua jenis gandum dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik di lingkungan tropis, khususnya Indonesia yang memiliki agroekosistem sangat beragam. Menurut Sleper dan Poehlman (2006), menyatakan terdapat dua karakteristik yang menjadi faktor pembatas penanaman gandum. *Pertama*, karakteristik fisiologis. 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, yakni tipe musim semi (*spring*) atau musim dingin (*winter*). Tipe gandum musim dingin (*winter wheat*) memerlukan periode



Gambar 1. Asal gandum tetraploid dan heksaploid spesies *Triticum turgidum*, tetraploid berasal dari kombinasi genom A *T. monococcum* dan genom B spesies liar, sedangkan *T. aestivum*, heksaploid berasal dari kombinasi genom AB dari *T. turgidum* dan genom D *Ae. tauchi* (Sleeper dan Poelhman 2006).

vernalisasi (pemaparan pada tahap kecambah pada suhu mendekati beku) sebelum pembungaan. Karakteristik lain adalah kemampuan tanaman untuk mengeras dan bertahan pada suhu dingin. Tipe gandum musim semi (*spring wheat*) yang tumbuh di daerah subtropis utara sensitif terhadap periode penyinaran dan berbunga selama panjang hari menurun.

Kedua, karakteristik kimia dan fisika glutein. Karakteristik ini berkontribusi terhadap penggunaan biji gandum untuk berbagai jenis makanan. Produk akhir gandum membutuhkan jenis gandum dengan karakteristik kualitas biji yang baik. Perbedaan genetik memengaruhi kualitas biji. Oleh karena itu, sebelum memulai suatu program pemuliaan, pemulia gandum harus mengenal kondisi cekaman yang membatasi produksi gandum di wilayah pengembangan. Penting pula mengidentifikasi kualitas gandum yang diinginkan pasar sehingga kultivar yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan.

ADAPTASI GALUR/VARIETAS INTRODUKSI DI INDONESIA

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

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

Spesies	Genome	Status
Spesies diploid ($2n = 14$)		
<i>T. monoccocum</i> var. <i>monoccocum</i>	AA	Budi daya
<i>T. monoccocum</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
Spesies tetraploid ($2n = 4x = 28$)		
<i>T. turgidum</i> var. <i>dococcon</i>	AABB	Budi daya
<i>T. turgidum</i> var. <i>durum</i>	AABB	Budi daya
<i>T. turgidum</i> var. <i>turgidum</i>	AABB	Budi daya
<i>T. turgidum</i> var. <i>polonicum</i>	AABB	Budi daya
<i>T. turgidum</i> var. <i>carthlicum</i>	AABB	Budi daya
<i>T. turgidum</i> var. <i>dicoccoides</i>	AABB	Spesies liar
<i>T. timopheevii</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>	UCC	Spesies liar
<i>T. ovatum</i>	UUMM	Spesies liar
<i>T. kotschyi</i>	UUSS	Spesies liar
Spesies heksaploid ($2n = 6x = 42$)		
<i>T. aestivum</i> var. <i>aestivum</i>	AABBDD	Budi daya
<i>T. aestivum</i> var. <i>spelta</i>	AABBDD	Budi daya
<i>T. aestivum</i> var. <i>compactum</i>	AABBDD	Budi daya
<i>T. aestivum</i> 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>	UUMMMM	Spesies liar

Sumber: Fehr (1987).

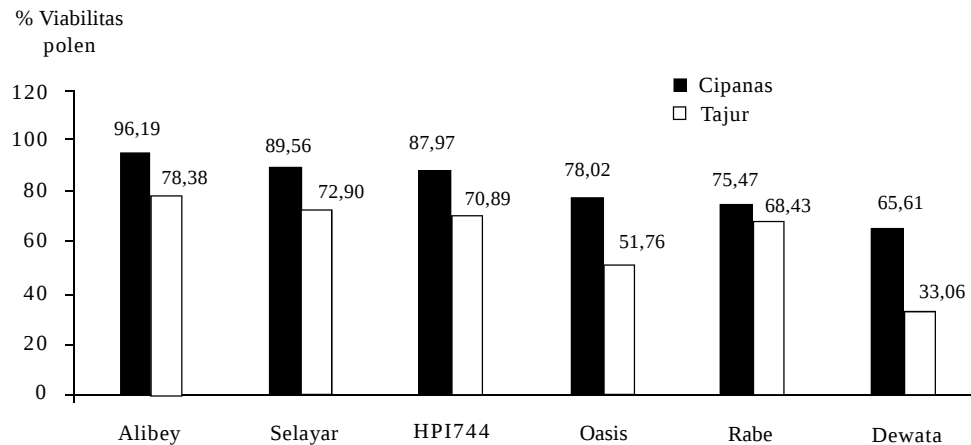
Natawijaya (2012) mengemukakan bahwa penyebab utama rendahnya hasil gandum di dataran < 400 m dpl ialah viabilitas polen yang rendah. Dari empat galur dan dua varietas yang diuji di Tajur-Bogor (< 400 m dpl), semuanya mengalami penurunan viabilitas polen dan varietas Dewata paling peka (Gambar 2). Demikian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

Genotipe-genotipe yang sensitif terhadap cekaman suhu tinggi di dataran rendah menurun jumlah dan fertilitas polennya secara signifikan (Gambar 2 dan 3). Pada Gambar 2, penurunan jumlah dan fertilitas polen pada genotipe Selayar dan Rabe di dua agroekosistem tidak berbeda nyata, yang berarti penampilan dua genotipe tersebut untuk karakter ini stabil. Hasil penelitian ini membuktikan tanaman melakukan adaptasi untuk tetap mempertahankan penampilan yang optimal di lingkungan dengan cekaman suhu tinggi. Barnabas *et al.* (2008) menjelaskan bahwa penurunan fertilitas polen dan kehampaan malai disebabkan oleh terganggunya proses mikrosporogenesis dan mikrogametogenesis. Beberapa protein yang berperan dalam proses tersebut terdenaturasi karena pengaruh suhu tinggi.

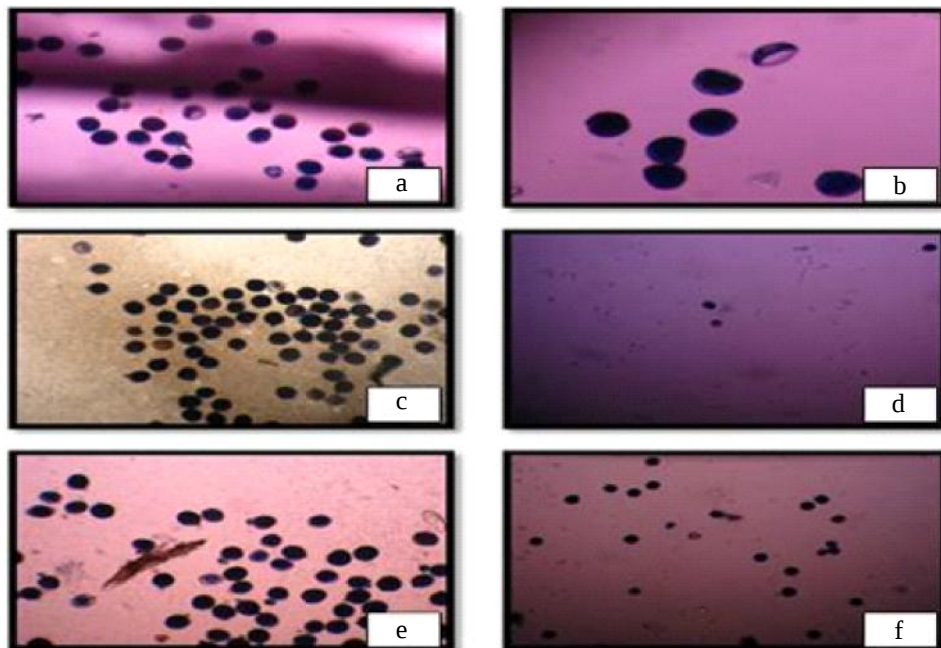
Nur (2013) melaporkan bahwa perubahan elevasi dan musim yang diikuti dengan peningkatan suhu selain memengaruhi kerapatan stomata juga menyebabkan ukuran stomata menjadi lebih kecil (Gambar 4). Hasil

evaluasi galur introduksi pada dua ketinggian menunjukkan bahwa galur OASIS/SKAUZ //4* BCN Var-28 tahan terhadap suhu tinggi, sedangkan varietas Dewata peka terhadap suhu tinggi. Varietas Dewata (Dwr-162) merupakan galur introduksi dari India dengan karakter toleran suhu tinggi, namun setelah dievaluasi pada dataran < 400 m dpl, galur ini ternyata peka terhadap lingkungan tropis. Evaluasi galur-galur gandum dari India, Turki, dan Slovakia menunjukkan satu galur dari Slovakia yang berumur genjah, setelah dievaluasi di lingkungan tropis Indonesia ternyata galur tersebut berumur dalam (115 hari pada 117 m dpl di Dermaga-Bogor) dan 127 hari pada 1.170 m dpl di Cipanas-Cianjur) (Altuhaish 2014). Hal ini memperkuat dugaan bahwa untuk pengembangan gandum tropis di Indonesia khususnya toleran suhu tinggi, program pemuliaan harus dimulai dengan menskrining galur-galur introduksi, diikuti persilangan hingga pelepasan varietas.

Hingga umur 30 HST, perkembangan anakan gandum pada dataran rendah mengalami cekaman dibandingkan dengan yang ditanam di dataran tinggi. Anakan gandum di dataran rendah baru mulai berkembang pada umur 35–40 HST dan sangat ditentukan oleh genotipe gandum itu sendiri. Dalam jangka panjang, cekaman suhu tinggi akan menyebabkan benih terlambat berkecambah atau kehilangan vigor, yang pada akhirnya mengurangi jumlah



Gambar 2. Fertilitas polen beberapa genotipe gandum berdasarkan metode pewarnaan pada dua elevasi yang berbeda, Tajur-Bogor (< 400 m dpl) dan Cipanas-Cianjur (> 1.000 m dpl) (Natawijaya 2012).



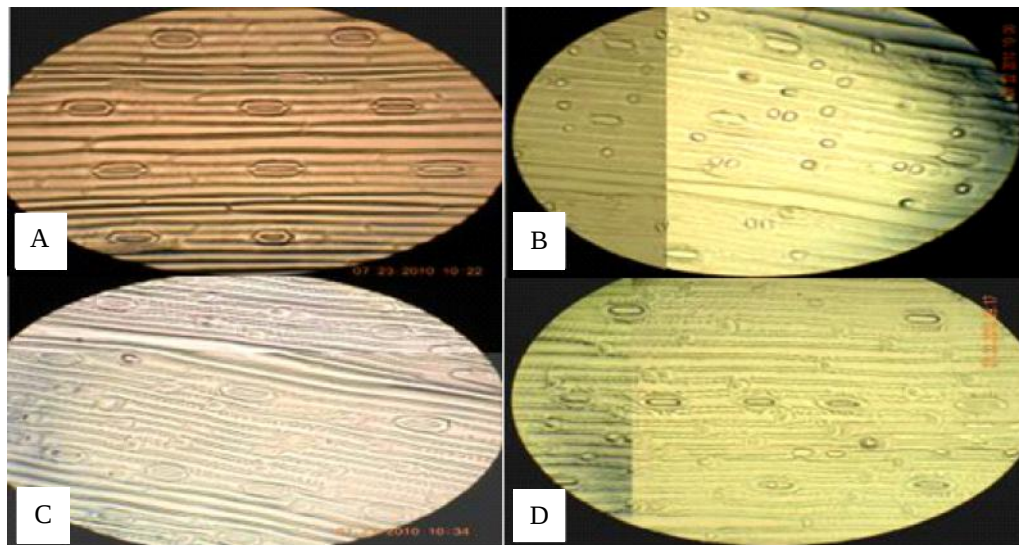
Gambar 3. Morfologi polen beberapa genotipe gandum: a. Alibey di Cipanas, b. Alibey di Tajur; c. Dewata di Cipanas; d. Dewata di Tajur; e. HP1744 di Cipanas; f. HP1744 di Tajur (Natawijaya 2012).

berkurangnya kemunculan dan pembentukan bibit (Nur *et al.* 2010). Tahap perkecambahan benih gandum pada 2–55 HST disajikan pada Gambar 5.

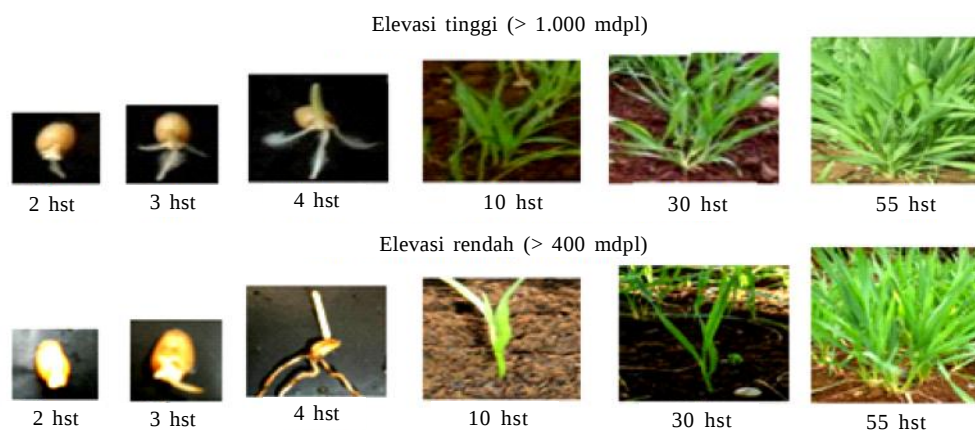
PERBAIKAN GENETIK GANDUM MELALUI SHUTTLE BREEDING

Program pemuliaan gandum tropis yang telah berjalan dan memperlihatkan hasil yang cukup baik adalah pemuliaan melalui persilangan konvensional dan mutasi (mutasi biji

dan variasi somaklonal) (Nur *et al.* 2013), yang diikuti dengan *shuttle breeding*. *Shuttle breeding* merupakan salah satu metode pemuliaan tanaman yang bertujuan untuk merakit varietas tanaman pada lingkungan yang mengalami cekaman, biotik maupun abiotik pada wilayah yang luas. Metode ini pada awalnya dikembangkan antarinstansi. Sejumlah besar materi genetik yang berpotensi 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



Gambar 4. Penampilan stomata gandum (A) Dewata di Cipanas, (B) Dewata di Bogor, (C) HP1744 di Cipanas, dan (D) HP1744 di Bogor (Nur *et al.* 2013).



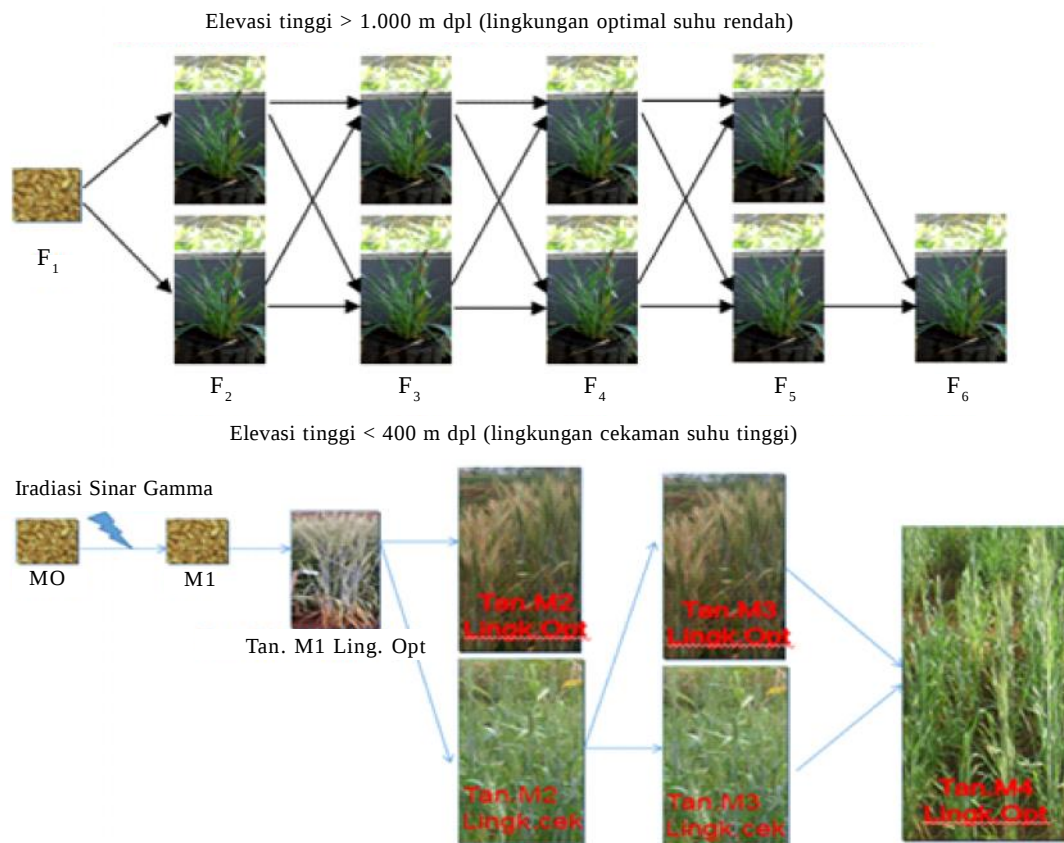
Gambar 5. Periode perkecambahan dan pertumbuhan tanaman gandum umur 2–55 HST di elevasi (> 1.000 m dpl) dan elevasi (< 400 m dpl) (Nur *et al.* 2012).

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. Tahapan metode seleksi melalui *shuttle breeding* disajikan pada Gambar 6.

Keunggulan metode *shuttle breeding* dalam merakit varietas untuk lingkungan bercekaman adalah materi genetik yang digunakan dapat dipertahankan jika lingkungan (cekamannya sangat tinggi) menyebabkan materi genetik mati dan lingkungan yang optimal digunakan sebagai *backup* materi genetik. Seleksi langsung pada lingkungan bercekaman berpotensi untuk memaksimalkan ekspresi gen-gen yang mengendalikan daya hasil maupun daya adaptasi tanaman terhadap cekaman lingkungan (Ceccareli *et al.* 2007).

Kegiatan *shuttle breeding* menggunakan materi genetik 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 untuk memperbanyak benih untuk keperluan seleksi yang lebih luas. Hal ini dilakukan secara berulang hingga didapatkan materi genetik yang betul-betul tahan pada lingkungan bercekaman.

Menurut Rao (2001), perbaikan adaptasi tanaman terhadap lingkungan dapat dicapai dengan dua pendekatan, yaitu perubahan lingkungan pertumbuhan dan pengembangan genotipe tanaman berdaya hasil tinggi dan toleran terhadap cekaman. Gabungan pendekatan tersebut paling efektif. Peningkatan hasil



Gambar 6. Tahapan metode seleksi melalui *shuttle breeding* (Nur 2013).

panen yang dicapai pemulia tanaman umumnya disebabkan oleh perubahan berikut: 1) perubahan agronomi melalui perbaikan adaptasi genetik tanaman untuk mengatasi kendala biotik dalam produksi (misalnya hama dan penyakit) dan abiotik (suhu, kekeringan, kahat dan keracunan hara, dan salinitas) serta 2) meningkatkan potensi hasil genetik di atas kultivar pembandingan pada lingkungan yang sama (Evans 1993; Mifflin 2000).

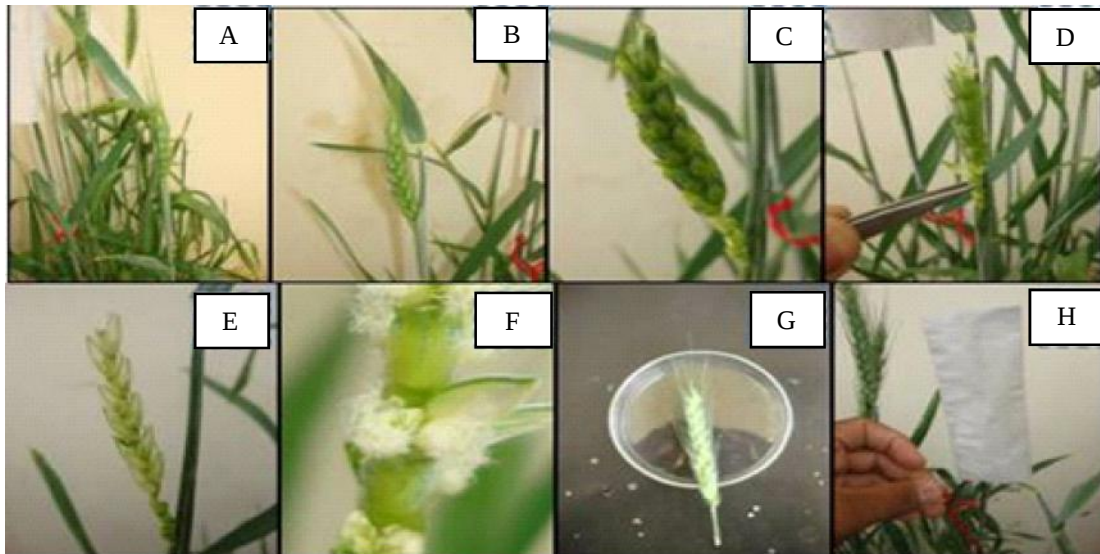
Karakter daya hasil, tahan suhu tinggi, dan kualitas tepung sebagai kriteria seleksi merupakan karakter kuantitatif yang ekspresinya dipengaruhi oleh lingkungan. Selain itu, gen-gen yang mengendalikan karakter-karakter tersebut tersebar pada galur-galur introduksi yang akan diuji sehingga perbaikan genetik harus melalui persilangan, baik *single cross* maupun *convergent breeding*. Keturunan hasil persilangan tersebut selanjutnya dievaluasi dan diikuti dengan *shuttle breeding*.

Convergent breeding adalah salah satu metode rekombinasi genetik yang bertujuan untuk menghimpun dan memfiksasi gen-gen yang mengendalikan sifat-sifat yang dikehendaki dalam satu genotipe (Nur 2014). Varietas yang dihasilkan melalui pendekatan ini memiliki karakteristik yang ideal. Pendekatan ini juga dapat menghasilkan varietas unggul tipe baru. Metode persilangan tersebut disajikan pada Gambar 7.

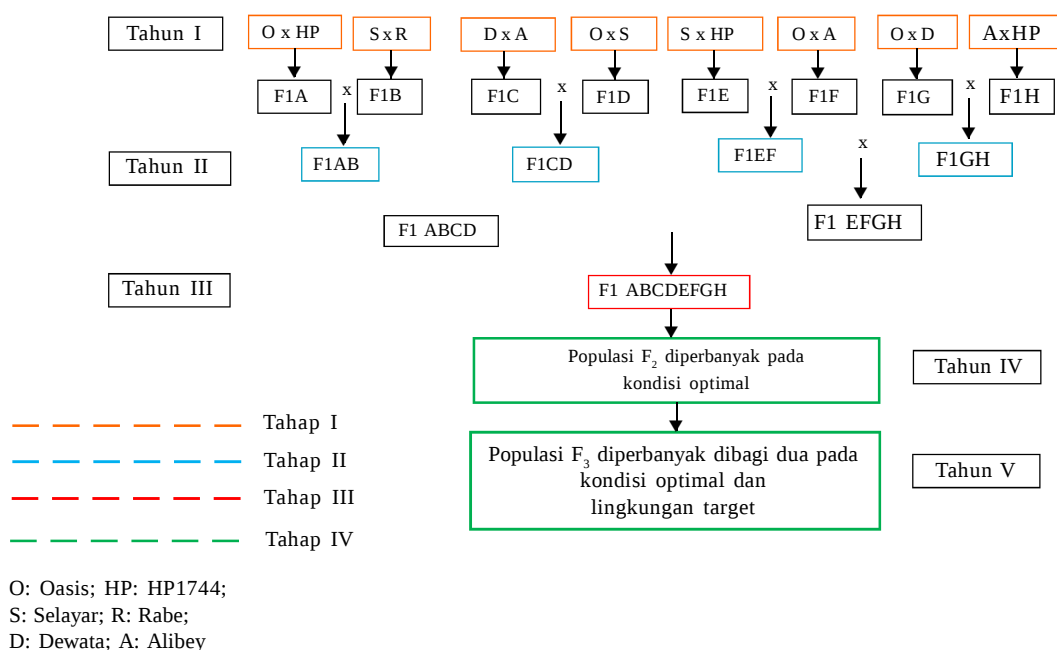
Kerjasama Balitsereal dan IPB dalam kegiatan *single cross* telah menghasilkan masing-masing 30 galur gandum potensial F₆ turunan Oasis x HP1744 dan Selayar x Rabe yang dapat dikembangkan pada dataran menengah (400–700 m dpl) (Yamin 2014). Sementara itu melalui *convergent breeding* dari hasil persilangan telah dihasilkan populasi F₃ (Nur 2014). Bagan persilangan *convergent breeding* disajikan pada Gambar 8.

Persilangan tahun I dengan latar belakang enam galur tua dengan delapan kombinasi persilangan dilaksanakan pada kondisi optimal pada elevasi > 1.000 m dpl di kebun Percobaan Balai Penelitian Tanaman Hias (Balithi) di Cipanas untuk menjaga tingkat keberhasilan persilangan. Selanjutnya persilangan tahun II benih F₁ dari delapan kombinasi persilangan yang dihasilkan pada percobaan tahun I dilaksanakan di rumah kaca kebun percobaan Seameo-Biotrop pada elevasi 350 m dpl. Penanaman dilakukan secara bersamaan dalam polibag. Prosedur pelaksanaan percobaan sama dengan tahun I (Gambar 8).

Persilangan tahun ketiga benih F₁ dengan latar belakang enam genotipe tua dari masing-masing kombinasi dilaksanakan di rumah kaca kebun percobaan IPB-Cikabayan pada elevasi 170 m dpl. Tahun tersebut merupakan tahun terakhir proses fiksasi seluruh latar belakang genetik yang terlibat. Pengujian benih F₁ dari



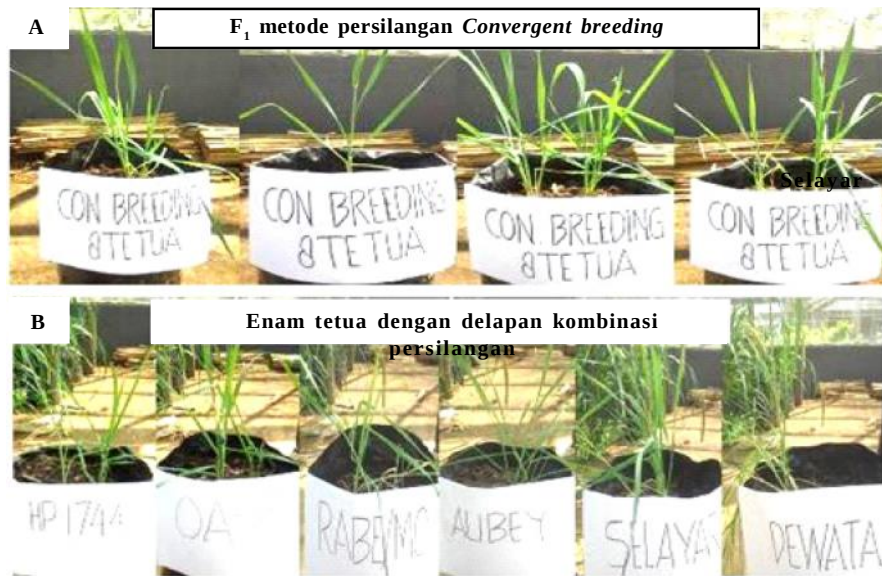
Gambar 7. Prosedur persilangan tanaman gandum. (A) persiapan tanaman induk; (B) pemilihan bunga betina untuk persilangan; (C, D) emaskulasi dan kastrasi; (E) rangkaian bunga betina yang sudah diemaskulasi dan dikastrasi; (F) bunga betina yang siap diserbuki; (G) persiapan polen atau bunga jantan untuk persilangan; (H) persilangan dan pelabelan hasil persilangan (Natawijaya 2012).



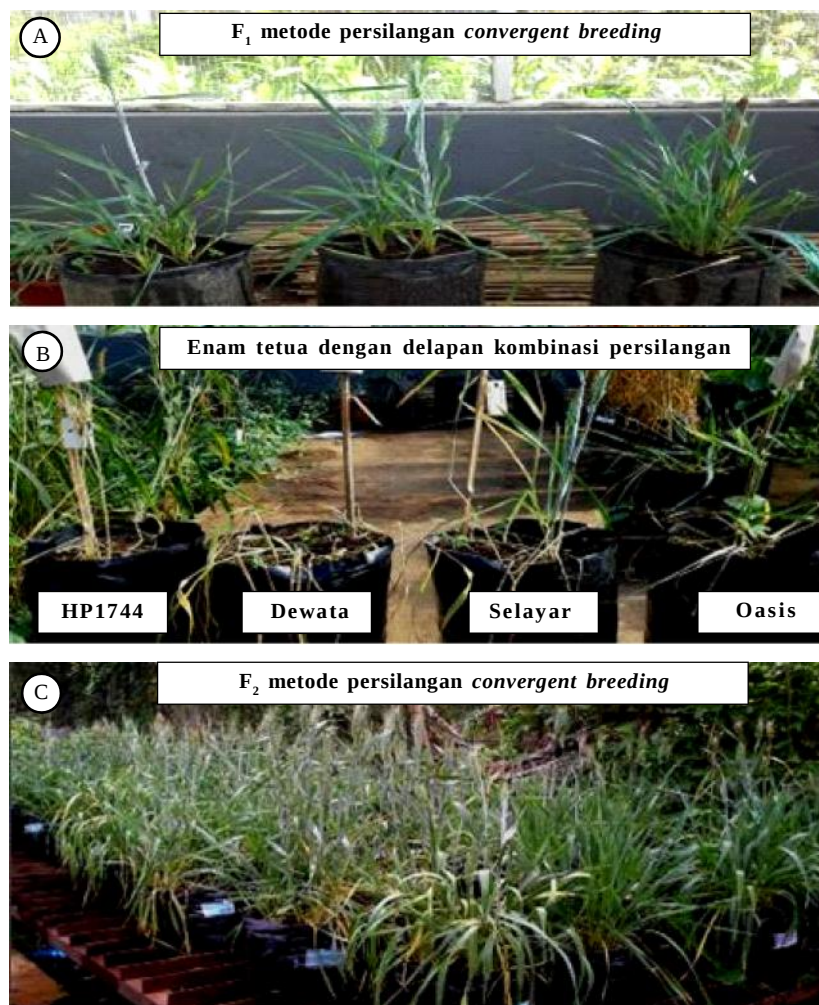
Gambar 8. Tahapan persilangan dalam *convergent breeding* (Nur 2014).

delapan kombinasi persilangan dengan latar belakang enam genotipe tetua dilaksanakan di dua lokasi, yaitu Malino (> 1.000 m dpl) dan di rumah kaca Balitsereal Maros pada elevasi 30 m dpl (Gambar 9). Benih F₂ kemudian ditanam pada dua lokasi dengan elevasi yang berbeda (Gambar 10).

Program pemuliaan gandum melalui mutasi dengan iradiasi sinar gama yang diikuti dengan *shuttle breeding* telah menghasilkan 98 galur-galur mutan dari varietas gandum Dewata, Selayar, Rabe, Kasifbey, Basribey, dan Alibey (Nur 2013). Sementara metode *convergent breeding* dengan *shuttle breeding* telah sampai pada populasi F₄.



Gambar 9. A. Penampilan vegetatif tanaman gandum F₁ hasil *convergent breeding*; B. Tetua persilangan HP1744 (peka), Oasis (toleran), Rabe (peka), Alibey (toleran), Selayar (toleran) dan Dewata (peka) suhu tinggi di rumah kaca dengan kisaran suhu harian 36–40°C (Nur 2014).



Gambar 10. 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 (Nur 2014).

MASALAH PENGEMBANGAN GANDUM DI DATARAN MENENGAH-RENDAH

Jenis gandum yang dapat dikembangkan di Indonesia yaitu tipe gandum *spring wheat* dan terbatas pada ketinggian > 1.000 m dpl. Untuk mengembangkan gandum pada lokasi di bawah < 1.000 m dpl (menengah-rendah) perlu perbaikan genetik gandum tipe *spring wheat* melalui pemuliaan seperti yang telah dibahas.

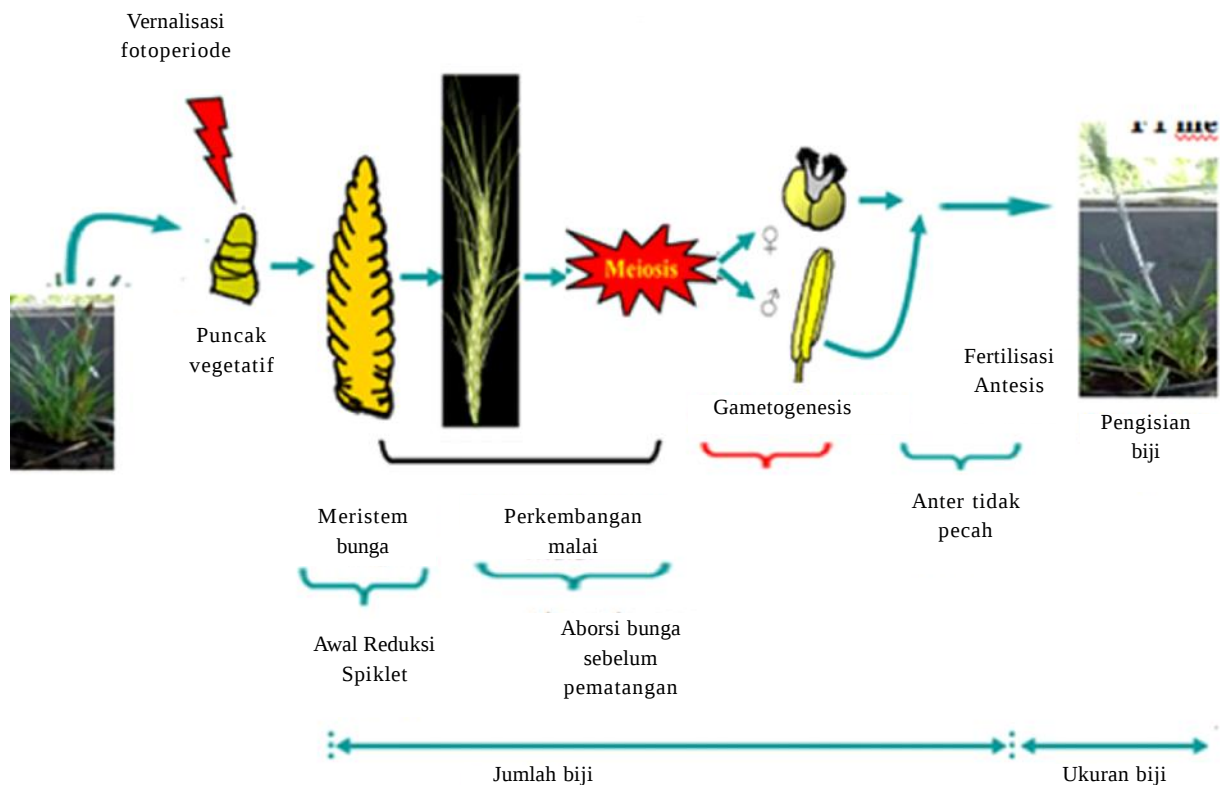
Masalah yang dihadapi dalam penanaman gandum di lokasi dengan ketinggian < 1.000 m dpl adalah cekaman suhu tinggi. Secara umum, suhu lingkungan di atas 10–15°C dianggap sebagai cekaman suhu tinggi (Peet dan Willits 1998). Cekaman suhu sangat kompleks dalam hal lama dan laju peningkatannya. Ketahanan tanaman terhadap cekaman suhu didefinisikan sebagai kemampuan tanaman untuk tumbuh dan berproduksi secara ekonomi pada suhu tinggi (Peet dan Willits 1998).

Suhu yang sangat tinggi dapat merusak atau menyebabkan kematian sel dalam beberapa menit setelah tanaman terpapar suhu tinggi (Schoffl *et al.* 1999). Pada suhu sedang, kerusakan atau kematian sel dapat terjadi setelah tanaman terpapar suhu dalam jangka panjang. Kerusakan langsung akibat suhu tinggi meliputi denaturasi dan agregasi protein serta peningkatan

fluiditas membran lipid (Wahid *et al.* 2007). Kerusakan tidak langsung atau lambat akibat cekaman suhu tinggi meliputi inaktivasi enzim dalam kloroplas dan mitokondria, hambatan sintesis protein, degradasi protein, dan hilangnya integritas membran (Howarth 2005).

Mekanisme ketahanan tanaman gandum terhadap cekaman suhu tinggi perlu dipelajari guna mendukung perbaikan genetik melalui program pemuliaan gandum tropis. Menurut Dolferus *et al.* (2011), stadia tanaman gandum yang paling kritis terhadap cekaman abiotik adalah stadia reproduktif. Oleh karena itu, stadia ini perlu diperhatikan untuk mengetahui mekanisme toleransi tanaman terhadap cekaman abiotik (Gambar 11).

Perkembangan reproduksi tanaman dimulai dengan perubahan meristem vegetatif menjadi meristem bunga, termasuk perkembangan struktur bunga dan reproduksinya, pembentukan gametofit jantan dan betina, pembuahan, dan akhirnya perkembangan benih (Gambar 11). Waktu peralihan dari perkembangan vegetatif ke reproduktif dikendalikan oleh lingkungan seperti *photoperiod* (panjang hari panjang/pendek) dan suhu dingin (*vernalisation*) (Amasino 2010; Trevaskis 2010). Penyesuaian waktu berbunga merupakan mekanisme adaptasi yang penting terhadap kondisi lingkungan agar terhindar dari cekaman abiotik seperti dingin, panas, dan kekeringan dalam lingkungan tertentu.



Gambar 11. Skema siklus reproduksi sereal dan pengaruh cekaman abiotik pada setiap perbedaan tahap perkembangan reproduksi (Dolferus *et al.* 2011).

Pemuliaan untuk varietas berperiode pendek atau panjang adalah suatu strategi pemuliaan yang umum untuk memaksimalkan hasil dan adaptasi terhadap lingkungan tertentu, tetapi mekanisme penghindaran dapat membatasi potensi hasil ketika kondisi menguntungkan karena durasi tanaman mungkin terlalu singkat untuk mencapai hasil maksimum. Mekanisme penghindaran tidak dapat melindungi tanaman pada saat kejadian cekaman abiotik yang tidak terduga. Dalam kasus ini, mekanisme toleransi diperlukan untuk melindungi perkembangan organ reproduksi dan menjamin pembentukan bulir maksimum. Dalam kondisi lapangan, sulit untuk membedakan antara mekanisme menghindari dan toleransi. Skrining untuk plasma nutfah toleran di lapangan paling sering menghasilkan galur *stress-avoiding* dengan waktu pembungaan yang berubah daripada galur murni toleran terhadap cekaman.

KESIMPULAN

Jenis gandum yang dapat ditanam di lingkungan tropis Indonesia hanya *Triticum aestivum* dari kelompok tipe *spring wheat* yang dapat dikembangkan pada lokasi > 1.000 dpl. Pengembangan gandum tropis < 1.000 m dpl perlu didukung program pemuliaan secara berkelanjutan dengan menggunakan berbagai metode, salah satunya *shuttle breeding*. Pemuliaan dengan metode *shuttle breeding* melalui persilangan antara enam tetua telah menghasilkan populasi F_4 , sementara dengan mutasi menghasilkan galur mutan M7.

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, Indonesia.
- Amasino, R. 2010. Seasonal and developmental timing of flowering, *Plant J.* 61: 1001–1013.
- Aptindo. 2013. Konsumsi terigu nasional meningkat 7%: <http://www.imq21.com/news/read/121486/20130125/135804/Aptindo-konsumsi-Terigu-Nasional-Meningkat-7-.html> [25 Januari 2013].
- Barnabas, B., K. Jager, and A. Feher. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environ.* 31: 11–38.
- Ceccarelli, S., Erskine, Humblin, and Brando. 2007. Genotype by environment interaction and international breeding program. <http://www.icrisat.com> [2 June 2012].
- Dahlan, M.M., Rudijanto, J. Murdianto, dan M. Yusuf. 2003. Usulan Pelepasan Varietas Gandum. Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros.
- Dasmal, A. Kahar, dan M. Yusuf. 1994. Penampilan galur-galur terigu pada dua waktu tanam. *Pemberitaan Penelitian Sukarami* 23: 8–11.
- Dolferus, R., Ji Xuemei, and Ar Richard. 2011. Abiotic stress and control of grain number in cereal. *Plant Sci.* 181: 331–341.
- Evans, L.T. 1993. *Crop Evolution, Adaptation and Yield*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fehr, W.R. 1987. *Principles of Cultivar Development. Theory and Technique*. Vol. 1. MacMillan Publ. Co., 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. hlm. 30.
- Howarth, C.J. 2005. Genetic improvements of tolerance to high temperature. In M. Ashraf and P.J.C. Harris (Eds.). *Abiotic Stresses: Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches*. Howarth Press Inc., New York.
- 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 [Thesis]. Institut Pertanian Bogor.
- Nur, A., Trikoesoemaningtyas, N. Khumaida, dan S. Sujiprihati. 2010. Fenologi pertumbuhan dan produksi gandum pada lingkungan tropika basah. *Prosiding Pekan Serealia Nasional*. Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros. hlm. 191.
- Nur, A., Trikoesoemaningtyas, N. Khumaida, dan S. Yahya. 2012. Evaluasi dan keragaman genetik 12 galur gandum introduksi di lingkungan tropika basah. *J. Agrivigor* 11(2): 230–243.
- Nur, A. 2013. Adaptasi tanaman gandum (*Triticum aestivum* L.) toleran suhu tinggi dan peningkatan keragaman genetik melalui induksi mutasi dengan menggunakan iradiasi sinar gamma. Disertasi. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Nur, A., M. Azrai, H. Subagio, S. Human, Ragapadmi, Sustiprajitno, dan Trikoesoemaningtyas. 2013. Perkembangan pemuliaan gandum di Indonesia. *Iptek Tanaman Pangan* 8(2): 97–105.
- Nur, A. 2014. Perakitan varietas gandum tropis adaptif pada ketinggian ≤ 400 m dpl potensi hasil $\geq 1,5$ t/ha dan pada ketinggian ≥ 400 m dpl potensi hasil ≥ 4 t/ha. Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros.
- 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.
- 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 M. Pessaraki (Ed.). *Handbook of Plant and Crop Physiology*. Second Ed. University of Arizona, Tucson Arizona.
- Reynolds, M.P. 2002. Physiological approaches to wheat breeding. In B.C. Curtis, S. Rajaram, and H.G. Macpherson (Eds.). *Bread Wheat Improvement and Production*. FAO, Rome. 567 pp.
- Schoffl, F., R. Prandl, and A. Reindl. 1999. Molecular responses to heat stress. In K. Shinozaki and K. Yamaguchi-Shinozaki (Eds.), *Molecular Responses to Cold, Drought, Heat and Salt Stress in Higher Plants*. R.G. Landes Co., Austin, Texas. pp. 81–98.
- Sleper, D.A. and J.M. Poehlman. 2006. *Breeding Field Crops*. 5th Ed. Blackwell Publishing, Iowa.
- Trevaskis, B. 2010. The central role of the VERNALIZATION1 gene in the vernalization response of cereals. *Funct. Plant Biol.* 37: 479–487.
- Wahid, A., S Gelani, M. Ashraf, and M.R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. *Environ. Exp. Bot.* 61: 199–223.

- Wilson, H.K. 1955. Grain Crops. McGraw Hill Book Co., 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 menggunakan *bulk segregant analysis* (BSA). Thesis. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.