

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

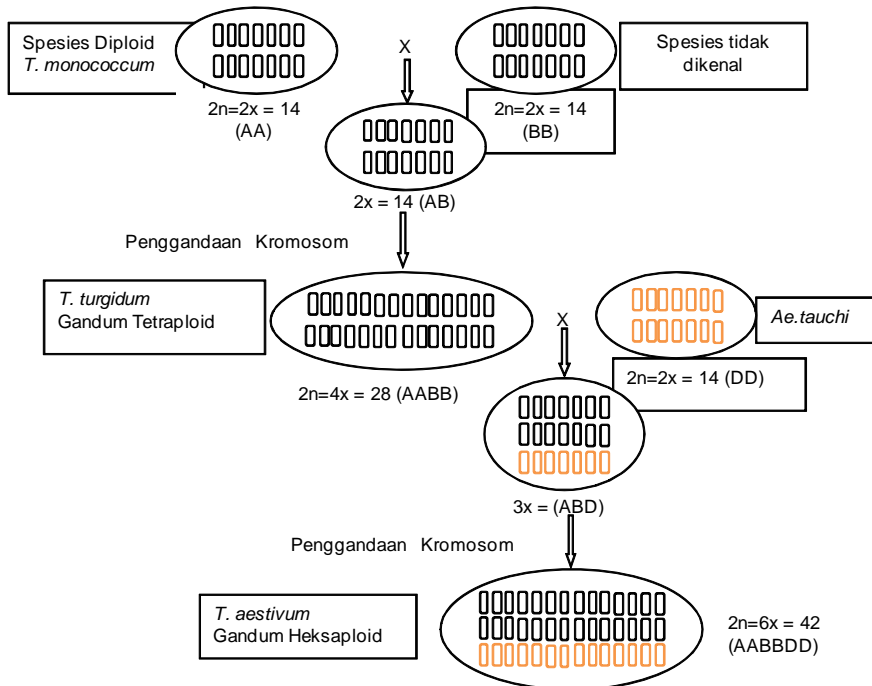
DWR-162. Dalam program pemuliaan, materi genetik ini dirancang untuk toleran suhu tinggi (*heat toleran*) dan merupakan cikal bakal varietas Dewata. Selanjutnya, pengembangan gandum di Indonesia dimulai setelah dilepas dua varietas pada tahun 2003, yaitu Selayar dan Dewata.

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 ploidi, 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 ploidy (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. 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
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. 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>	UUCC	spesies liar
<i>T. ovatum</i>	UUMM	spesies liar
<i>T. kotschy</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>	UUMMMM	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:

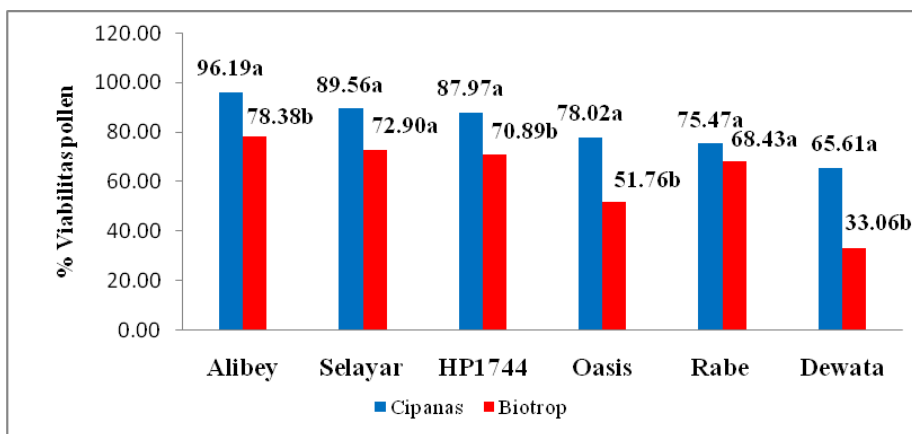
1. Karakteristik fisiologis, yang membatasi daya adaptasi gandum terhadap perubahan iklim/agroekosistem, umumnya berhubungan dengan vernalisasi, musim dingin dan respons terhadap fotoperiodisitas. Syarat ini sangat menentukan jenis gandum dan program pemuliaan yang akan dikembangkan. Vernalisasi merupakan aspek fisiologis yang menentukan pertumbuhan gandum, apakah tipe musim semi (*spring*) atau musim dingin (*winter*). Tipe gandum musim dingin (*winter wheat*) memerlukan periode vernalisasi (pemaparan 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

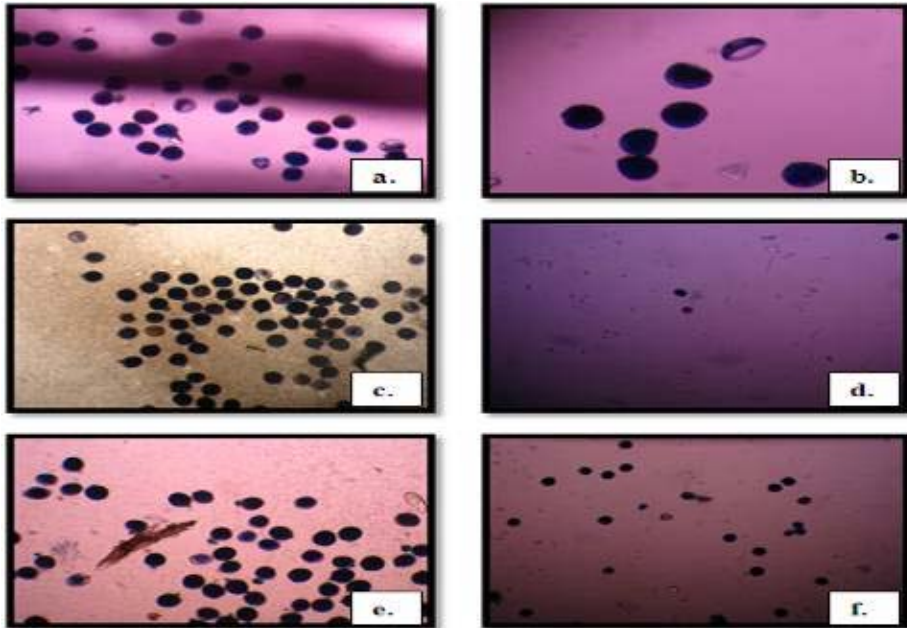
Pembentukan dan perbaikan genetik gandum melalui program pemuliaan di Indonesia diawali dengan mengintroduksi galur-galur elit dari berbagai negara yang dianggap cocok dengan agroekosistem tropis melalui lembaga internasional seperti CIMMYT. Indonesia tidak memiliki plasma nutfah lokal sehingga untuk 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

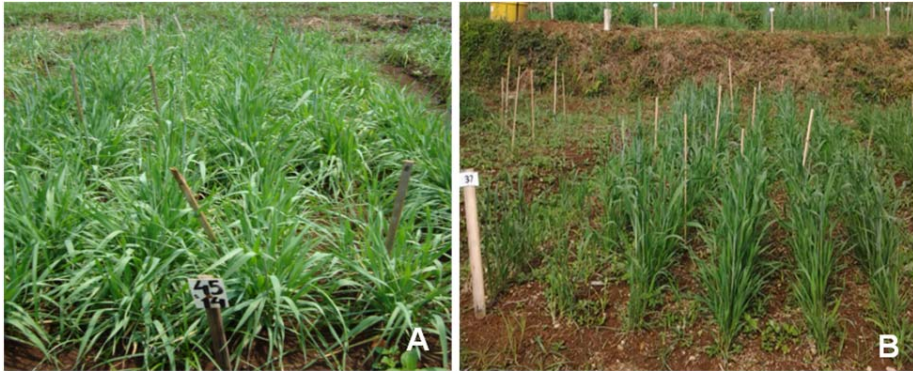
telah dihasilkan tujuh varietas gandum dengan daerah adaptasi pada ketinggian > 1.000 m dpl (Tabel 2). Varietas yang dilepas pada tahun 2013-2014 merupakan hasil *Konsorsium Gandum Nasional*.

2. Adaptasi galur

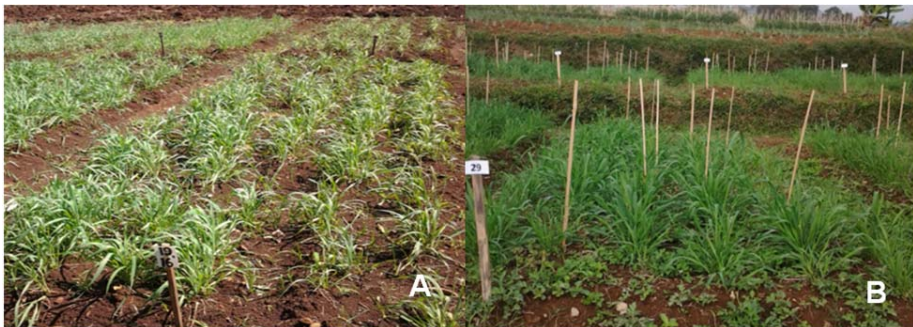
Untuk mendapatkan galur-galur potensial sebagai calon varietas unggul baru yang adaptif pada ketinggian < 700 m dpl dan toleran cekaman suhu tinggi perlu uji adaptasi khusus pada berbagai elevasi, khususnya pada elevasi menengah-rendah (< 700 m dpl). Galur-galur yang terpilih dari uji adaptasi akan digunakan 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) (Altuhaish 2014).

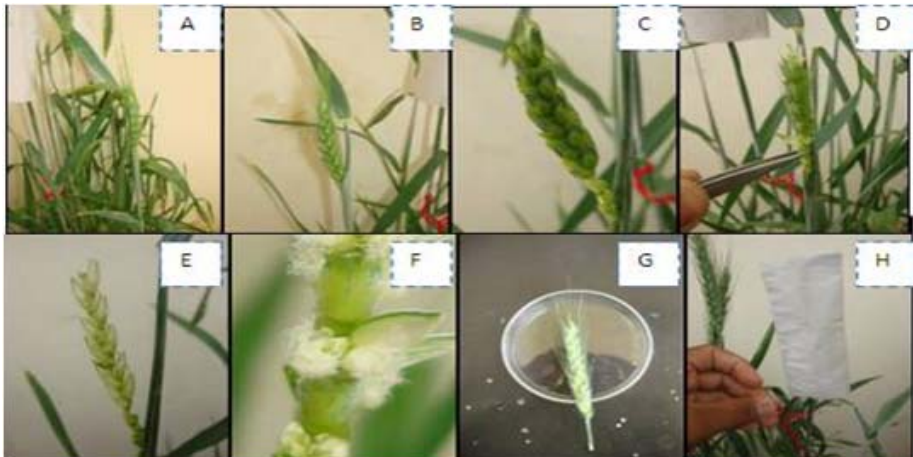
3. Persilangan (*single cross* dan *convergent breeding*)

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 membuahi 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.

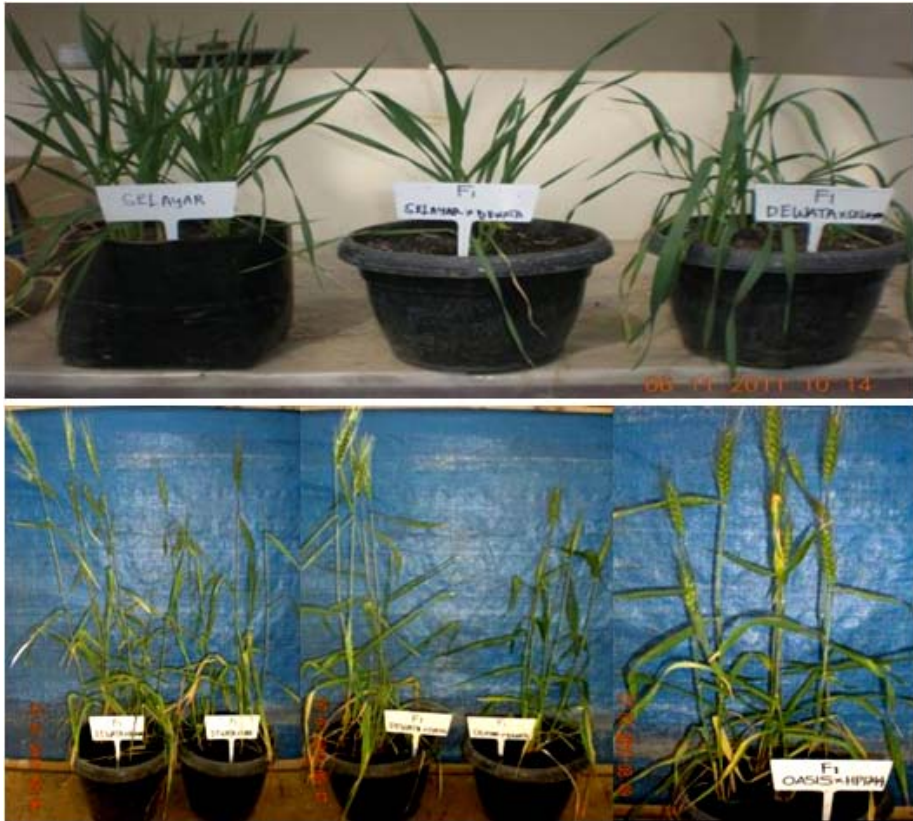
Dari hasil kombinasi persilangan *single cross* kerja sama Balitsereal dan IPB di hasilkan masing-masing 30 galur potensial F6 turunan dari Oasis x HP 1744 dan Selayar x Rabe yang dapat dikembangkan pada dataran menengah (400-700 m dpl) (Yamin 2014). Melalui *convergent breeding* dari hasil persilangan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



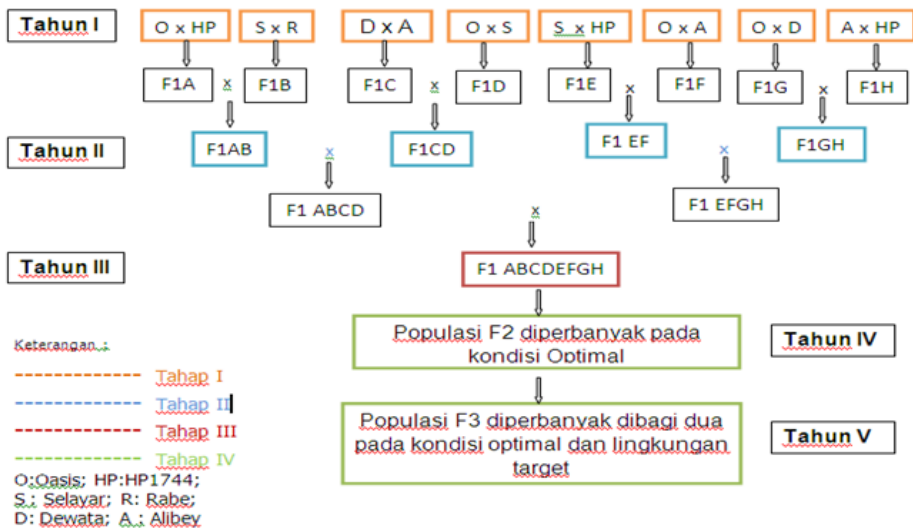
Gambar 6. Prosedur persilangan tanaman gandum: (A) persiapan tanaman induk; (B) pemilihan bunga betina untuk persilangan; (C,D) tahapan emaskulasi dan kastrasi; (E) rangkaian bunga betina yang sudah di emaskulasi dan kastrasi; (F) bunga betina yang siap diserbuki (reseptis); (G) persiapan polen atau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



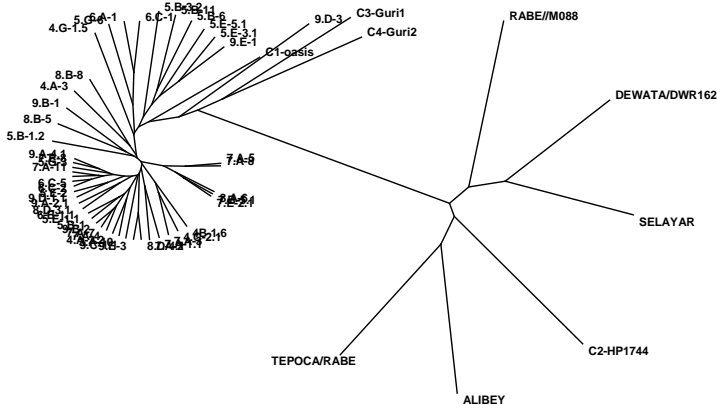
Gambar 8. Tahapan persilangan dalam *convergent breeding* (Nur *et al.* 2015).

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.

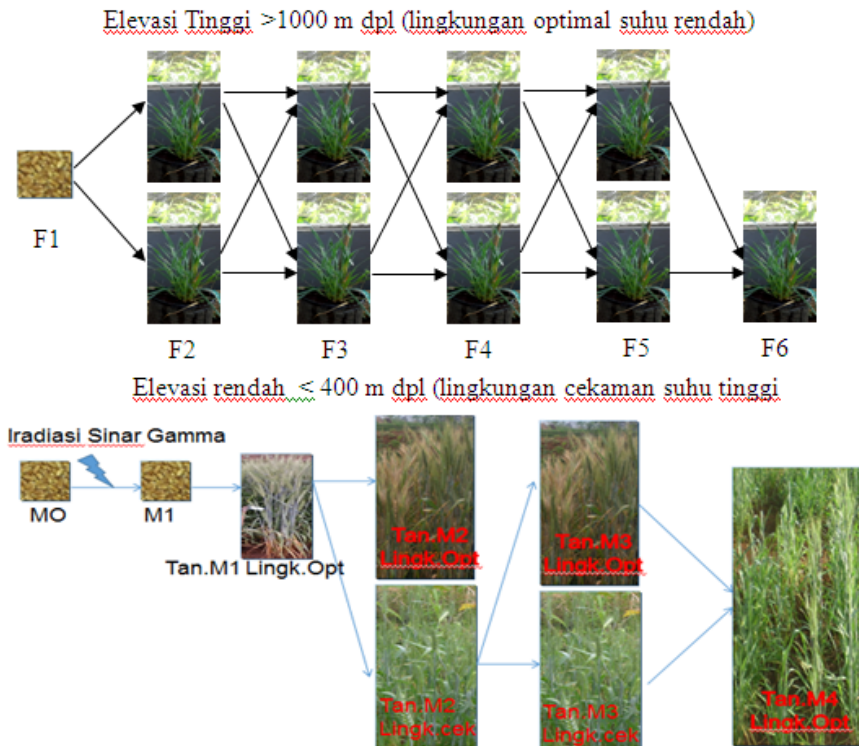


Gambar 10. Penampilan pohon filogenetik genotype hasil persilangan “*Convergent Breeding*” generasi F3 dan Tetua persilangan HP1744, Oasis, varietas Selayar, varietas Dewata, Rabe dan Alibey (Nur 2015b).

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 memperbanyak 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 pembandingan pada lingkungan yang sama (Evans 1993, Mifflin 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. Genotipe 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 $\geq 1,5$ 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. *Eupytica 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.

