

PEMULIAAN DAN VARIETAS UNGGUL KAPAS

Emy Sulistyowati^{*)}

PENDAHULUAN

Kapas, *Gossypium* sp., merupakan salah satu tanaman penghasil serat yang digunakan sebagai bahan baku industri pemintalan. Serat kapas memiliki peranan yang sangat penting dalam industri tekstil dan produk tekstil (TPT) nasional. Industri TPT di dalam negeri berkembang sangat pesat dan termasuk dalam kelompok lima besar negara-negara penghasil tekstil dunia. Selain mampu menyerap tenaga kerja mencapai 1,7 juta orang, belum termasuk tenaga kerja yang diserap dalam sektor pertanian dan perdagangan, industri TPT menghasilkan volume ekspor yang cukup tinggi bahkan pada triwulan I 2010 mencapai US\$2,568 miliar.

Pada 2004 sektor industri TPT membutuhkan bahan baku berupa serat buatan dan serat alam antara lain kapas mencapai 1,2 juta ton yang meningkat menjadi 1,6 juta ton pada 2010. Kebutuhan akan serat kapas khususnya pada 2004 berkisar 510 ribu ton yang diprediksi meningkat menjadi 688 ribu ton pada 2010. Akan tetapi sampai saat ini produksi kapas dalam negeri hanya berkisar 1.600–2.500 ribu ton atau kurang dari 0,5% kebutuhan nasional (Sulistyowati dan Sahid 2007). Dengan adanya kesenjangan antara kebutuhan dan pasokan serat kapas dalam negeri, maka ketergantungan akan serat kapas impor semakin meningkat berkisar 454–762 ribu ton. Untuk menekan impor serat, maka harus dilakukan intensifikasi dan ekstensifikasi pengembangan kapas. Salah satu aspek intensifikasi yang penting adalah penggunaan varietas unggul kapas. Dalam program tersebut di atas, perbaikan secara simultan telah dicapai meliputi perbaikan produktivitas, ketahanan terhadap hama, dan mutu serat.

TEKNIK PEMULIAAN KAPAS

Pemuliaan kapas di Indonesia telah dimulai sejak tahun 1983 menggunakan materi genetik yang dikumpulkan dari Amerika Serikat. Pelaksanaan perbaikan varietas kapas dilakukan dengan menggunakan metode pemuliaan konvensional dan transgenik (bioteknologi). Pemilihan metode pemuliaan didasarkan pada tujuan pemuliaan yang ingin dicapai, dan ketersediaan gen penyandi sifat yang diinginkan.

^{*)} Peneliti pada Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat, Malang

1. Metode Pemuliaan Kapas Konvensional

Sampai dengan tahun 2011 telah dilepas 15 varietas unggul seri KANESIA (Kanesia 1–Kanesia 15), dan dua varietas introduksi (LRA 5166 dan ISA 205 A). Secara umum, metode pemuliaan yang dapat diaplikasikan untuk perbaikan tanaman kapas disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Pendekatan pemuliaan untuk perbaikan varietas kapas*

No.	Pendekatan pemuliaan	Hasil perbaikan varietas yang diharapkan
A. Metode umum		
1.	Introduksi varietas	Varietas eksotik atau varietas baru
2.	Seleksi galur murni	Varietas galur murni yang homozigot dan homogenous
3.	Seleksi massa	Varietas homozigot tetapi heterogenous
4.	Metode pedigree/bulk	Varietas baru yang homozigot dan homogenous
5.	Metode silang balik	Varietas baru yang memiliki karakter identik dengan tetua 'recurrent' kecuali untuk karakter yang ditransfer.
6.	Persilangan ganda	Varietas baru yang homozigot tetapi heterogenous
B. Metode khusus		
7.	Pemuliaan heterosis	Varietas hibrida yang heterozigot tetapi homogenous
8.	Pemuliaan mutasi	Varietas mutan baru
9.	Hibridisasi interspesifik	Varietas hibrida interspesifik atau perbaikan populasi
10.	Bioteknologi	Varietas transgenik

* Disarikan dari Singh (2004).

Adapun metode pemuliaan yang telah ditempuh dalam perakitan varietas unggul kapas nasional adalah sebagai berikut:

Seleksi Galur Murni

Varietas kapas yang telah lama digunakan dalam program pengembangan kapas rakyat akan mengalami fase degenerasi genetik, yang berakibat pada menurunnya kemurnian genetik suatu varietas sebagai akibat terjadinya persilangan secara natural, mutasi, ataupun percampuran mekanis (Singh 2004). Hal ini mengakibatkan menurunnya potensi genetik varietas tersebut. Untuk mengatasinya, maka dilakukan seleksi galur murni atau penggaluran. Proses seleksi diawali dengan seleksi individu, yang dilanjutkan dengan proses seleksi galur pada musim-musim berikutnya dan pengujian di beberapa lokasi. Adapun bagan perakitan varietas sebagaimana disajikan dalam Gambar 1.

Proses seleksi galur murni telah ditempuh dalam proses perakitan varietas Kanesia 1 yang berasal dari populasi Reba BTK 12, dan varietas Kanesia 2 yang berasal dari populasi Tak Fa 1. Varietas Reba BTK 12 dan Tak Fa 1 setelah beberapa tahun digunakan dalam program pengembangan kapas mengalami penurunan potensi produktivitas dan ketahanan terhadap hama pengisap, *Amrasca biguttula*. Seleksi individu dan galur, serta uji multilokasi dilakukan sejak tahun 1985 menghasilkan dua galur unggul Reba BTK 12/28 (hasil seleksi individu nomor 28) dan Tak Fa 1/111 (hasil seleksi individu nomor 111)

1. Silang tunggal: persilangan antara dua varietas/genotipe dan diberi kode A/B atau AxB.
2. Silang ganda: persilangan antara dua F1 yang berbeda dan biasanya diberi kode AB/CD atau (AxB) x (CxD).
3. Silang puncak: persilangan antara F1 dengan varietas lain, yang diberi kode AB/C atau (AxB)xC.
4. Silang balik: persilangan F1 dengan salah satu tetuanya, dan diberi kode (AxB)xA atau (AxB)xB.

Jenis-jenis persilangan yang telah ditempuh selama proses perakitan varietas unggul kapas nasional adalah persilangan tunggal, persilangan ganda, dan silang balik.

a. Persilangan Tunggal (*Single Cross*)

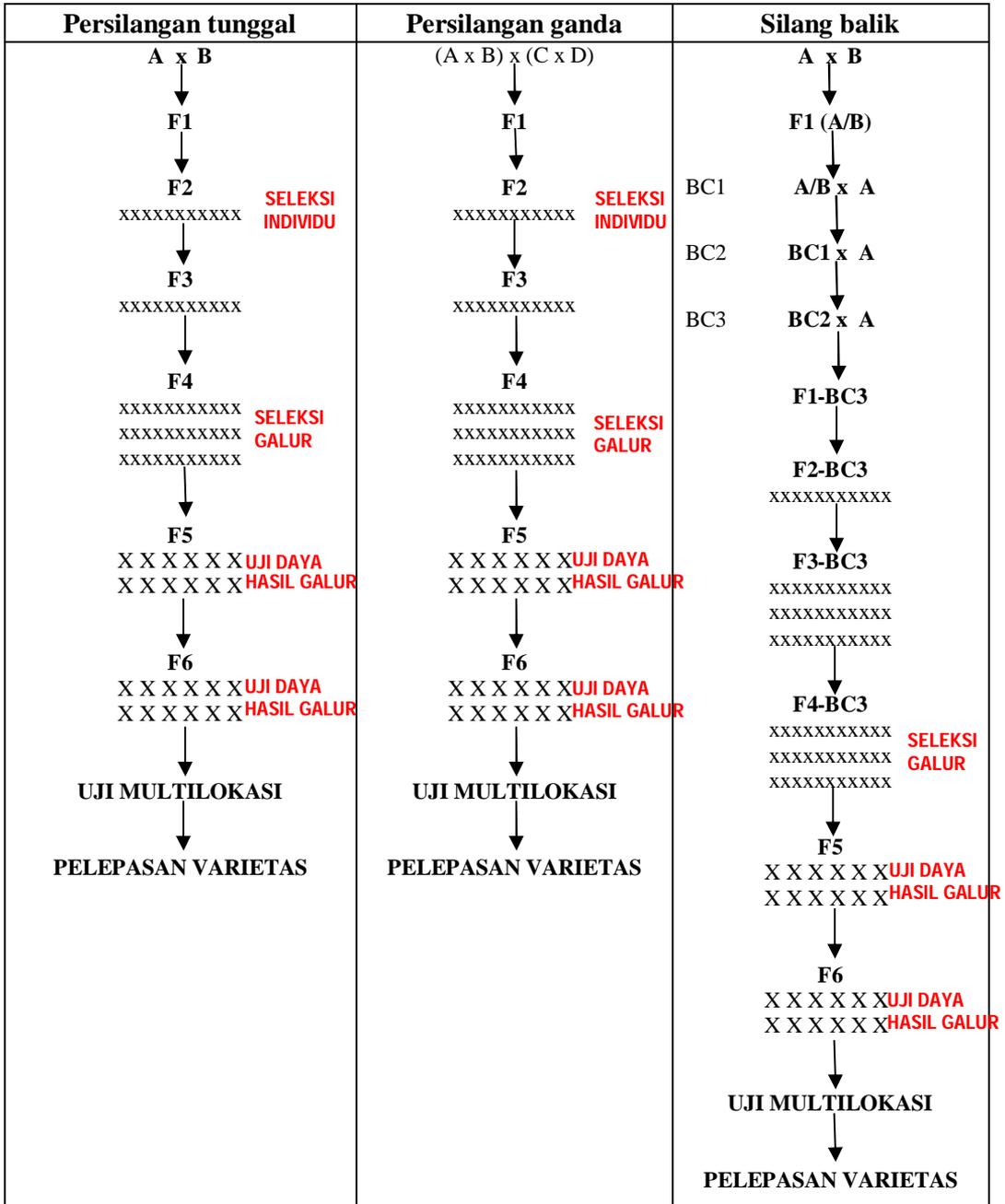
Persilangan tunggal telah dilakukan dalam perakitan varietas Kanesia 4–13, dan Kanesia 15. Setelah proses persilangan antara kedua tetua masing-masing varietas maka diperoleh generasi F1 yang seragam. F1 akan menghasilkan F2, dan perbanyakkan tanaman generasi hasil persilangan dilanjutkan sampai dihasilkan F8 atau F9. Pada generasi F2 atau F3 dilakukan proses seleksi menggunakan metode pedigree untuk memilih individu-individu tanaman yang sesuai dengan tujuan perbaikan varietas. Galur-galur generasi F4 dan F5 hasil seleksi individu dihadapkan pada seleksi galur untuk memilih galur-galur yang telah seragam dengan penampilan sesuai dengan tujuan pemuliaan. Galur-galur F6 yang tersaring selanjutnya diuji daya hasilnya, dan galur-galur F7–F9 terpilih diuji multi-lokasi untuk mengetahui potensi produksi, daya adaptasi, dan keunggulan spesifik galur yang diuji pada setiap daerah pengujian (Gambar 2).

b. Persilangan Ganda (*Double Cross*)

Persilangan ganda telah dilakukan dalam proses perakitan Kanesia 14. Persilangan antara dua F1 dilakukan untuk memperoleh F1 hasil silang ganda. Adapun proses seleksi selanjutnya dilakukan sebagaimana yang diuraikan pada proses perakitan secara persilangan tunggal (Gambar 2).

c. Silang Balik (*Back Cross*)

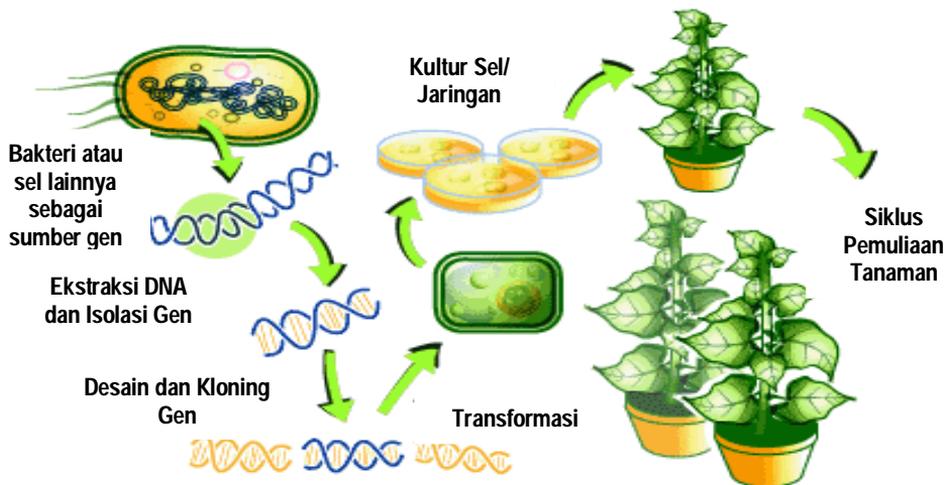
Silang balik dilakukan untuk meningkatkan dosis gen penyandi suatu karakter yang disandi oleh salah satu tetua. Silang balik dilakukan antara F1 dengan salah satu tetua jantan atau tetua betina. Persilangan dengan teknik silang balik dilakukan pada perakitan varietas Kanesia 3. Setelah beberapa proses silang balik dan dihasilkan galur-galur BC (1–3), maka proses seleksi selanjutnya dilakukan sebagaimana yang diuraikan pada proses perakitan secara persilangan tunggal (Gambar 2).



Gambar 2. Bagan beberapa jenis persilangan yang telah diaplikasikan dalam perakitan varietas kapas nasional

2. Metode Pemuliaan Kapas dengan Pendekatan Transgenik

Kapas transgenik adalah kapas yang disisipi oleh gen dari organisme lain (*transgene*) dalam genomnya yang bertujuan untuk meningkatkan atau memunculkan suatu sifat tertentu. Saat ini varietas kapas transgenik yang telah berkembang secara komersial adalah kapas transgenik BT yang mampu menghasilkan toksin δ -endotoksin yang beracun bagi herbivora dari kelompok Lepidoptera karena mengandung gen *Cry* dari bakteri tanah *Bacillus thuringiensis* (BT), dan kapas transgenik tahan herbisida. Selain varietas-varietas kapas transgenik yang telah berkembang secara komersial tersebut di atas, masih banyak *transgene* lain yang telah dipergunakan oleh para bioteknolog untuk meningkatkan ketahanan kapas terhadap penyakit yang disebabkan oleh virus kering kerupuk (*Cotton leaf curl virus*), kekeringan, salinitas, dan temperatur tinggi ataupun rendah. Selain itu juga untuk meningkatkan produksi melalui peningkatan efisiensi fotosintesa dan perbaikan mutu serat. Dengan kemajuan dalam bidang bioteknologi, telah siap varietas-varietas kapas transgenik yang mengekspresikan beberapa *transgene* sekaligus. Gambar 3 menyajikan proses perakitan varietas kapas transgenik.



Gambar 3. Proses perakitan varietas kapas transgenik dengan mengintroduksi suatu gen tertentu berasal dari organisme lain ke dalam genom kapas

Dalam Gambar 3 tersebut di atas dapat ditunjukkan bahwa perakitan varietas kapas transgenik berawal dari isolasi gen dari sumber gen yang diharapkan untuk dikloning. Gen yang telah dikloning digunakan untuk mentransformasi jaringan atau sel-sel kapas, yang kemudian melalui proses kultur sel atau jaringan akan menjadi individu tanaman ka-

pas transgenik. Selanjutnya individu atau galur kapas transgenik harus melalui proses pemuliaan sebagaimana diterangkan dalam proses persilangan atau hibridisasi.

3. Fokus dan Arah Perbaikan Varietas Kapas Nasional

Program perbaikan varietas kapas difokuskan pada upaya peningkatan potensi produksi dan mutu serat kapas. Peningkatan potensi produksi antara lain ditempuh dengan memperbaiki ketahanan terhadap hama dan penyakit utama, cekaman kekeringan, dan kesesuaian terhadap kompetisi dengan tanaman pangan pada pola tumpang sari. Sedangkan perbaikan mutu serat ditempuh dengan cara memperbaiki karakter-karakter serat, terutama panjang dan kekuatan serat, serta warna serat.

Perbaikan Ketahanan terhadap Hama dan Penyakit Utama

Budi daya kapas menghadapi kompleks hama yang mampu menurunkan produksi cukup signifikan, dimana kehilangan hasil bisa mencapai 90% (Soebandrijo *et al.* 1994). Permasalahan yang dihadapi petani untuk meningkatkan hasil kapas berbiji utamanya adalah gangguan hama, antara lain *Amrasca biguttula*, *Helicoverpa armigera*, *Pectinophora gossypiella*, dan *Earias vittella* (Nurindah 2002). Sebaliknya, serangan penyakit belum menyebabkan kehilangan hasil yang signifikan. Penyakit-penyakit yang sering ditemukan dan menimbulkan kerugian pada pertanaman kapas adalah: penyakit bibit yang disebabkan oleh *Pythium* spp., *Fusarium* spp., *R. solani* Kühn., *S. rolfsii*. Penyakit kecambah yang disebabkan oleh berbagai patogen, terutama *S. rolfsii* dan *R. solani* ditemukan di hampir semua pertanaman kapas (Ibrahim *et al.* 1997). Singh (2004) telah menyarikan daftar karakter-karakter yang berkaitan dengan ketahanan terhadap hama dan penyakit yang disajikan dalam Tabel 2.

Dalam perakitan varietas kapas tahan hama *A. biguttula*, maka karakter panjang dan kerapatan bulu pada bagian permukaan bawah daun telah dimanfaatkan. Dengan adanya bulu yang panjang dan rapat, maka akan diperoleh ketahanan fisik tanaman kapas terhadap *A. biguttula*. Hama pengisap daun *A. biguttula* atau yang dikenal dengan wereng kapas adalah salah satu hama utama kapas pengisap cairan sel daun kapas yang menyerang sejak tanaman mulai tumbuh daun sampai menjelang panen. Serangan yang lebih parah menyebabkan seluruh daun mengeriting berwarna cokelat kemerahan seperti terbakar, sehingga berakibat proses fotosintesis terhambat, dan tanaman mengalami defoliiasi dan akhirnya pertumbuhan akan terhenti (Matthews 1994; Uthamasamy 1994). Menurut Syed *et al.* (2003) bahwa kerapatan bulu di permukaan daun merupakan salah satu karakter morfologi yang erat kaitannya dengan ketahanan tanaman dan tingkat infestasi *A. biguttula*, karena bulu daun lebat dan panjang akan menghalangi alat mulut (*stylet*) hama wereng untuk mengisap cairan daun kapas. Gen pengendali sifat ketahanan hama diekspresikan dengan kelebatan bulu yang pada tanaman kapas dikendalikan oleh gen H₁ (Endrizzi *et al.* 1984; Singh 2004). Selanjutnya menurut Endrizzi *et al.* (1984) bahwa masih ada se-

rangkaian gen-gen yang mengendalikan karakter bulu pada tanaman kapas seperti gen H₂ mengendalikan kerapatan daun berbulu pendek, gen H₃ mengendalikan bulu pada batang, gen H₄ mengendalikan bulu di permukaan bawah daun, dan gen H₅ mengendalikan panjang bulu daun. Selain itu masih ada satu seri gen-gen yang mengurangi kelebatan bulu daun yaitu gen Sm₁, Sm₂, dan Sm₃. Peran gen yang telah diketahui dapat digunakan untuk menentukan metode seleksi yang tepat.

Tabel 2. Keterkaitan karakter-karakter pada kapas dengan ketahanan terhadap hama dan penyakit

Jenis ketahanan	Jenis hama/penyakit	Karakter tanaman kapas
A. Ketahanan terhadap hama		
1. Ketahanan fisik terhadap hama dengan mekanisme non-preferensi	1. Wereng kapas (<i>A. biguttula</i>).	Kelebatan bulu pada bagian bawah daun, dan daun yang tidak sukulen.
	2. Penggerek buah (<i>H. armigera</i> dan <i>P. gossypiella</i>).	Daun tidak berbulu, <i>nectariless</i> , tangkai buah panjang, kulit buah yang tebal dan keras, dan bentuk daun okra.
2. Ketahanan terhadap hama secara antibiosis	1. Wereng kapas (<i>A. biguttula</i>).	Kandungan tanin tinggi pada daun.
	2. Penggerek buah (<i>H. armigera</i> dan <i>P. gossypiella</i>).	Kandungan gosipol, zat-zat <i>phenotic</i> , dan tanin, serta kandungan gula rendah pada tepung sari.
3. Ketahanan terhadap hama secara genetik	1. Wereng kapas (<i>A. biguttula</i>).	Gen-gen H ₁ , H ₂ , dan H ₆ (Kelebatan bulu pada bagian bawah daun).
	2. Penggerek buah (<i>H. armigera</i> dan <i>P. gossypiella</i>).	Gen-gen Sm ₁ , Sm ₂ , dan Sm ₃ (daun tidak berbulu), Gl ₂ dan Gl ₃ (kandungan gosipol), ne ₁ dan ne ₂ (<i>nectariless</i>), serta L ₁ dan L ₂ (bentuk daun okra).
B. Ketahanan terhadap penyakit		
1. Ketahanan fisik terhadap penyakit	1. Layu bibit (<i>Rhizoctonia</i> dan <i>Fusarium</i>).	Kandungan terpenoid tinggi pada hipokotil, dan sekresi gosipol tinggi pada akar.
	2. Busuk buah.	Kelopak buah <i>frego</i> , bentuk daun okra/super okra.

Untuk perbaikan ketahanan kapas terhadap hama penggerek buah *H. armigera* dan *P. gossypiella*, maka karakter tanaman yang telah dimanfaatkan adalah kandungan gosipol tinggi, ketiadaan kelenjar nektar pada bagian bawah daun (*nectariless*), dan bentuk kelopak buah melintir atau *frego bract*. Peningkatan kandungan gosipol telah ditempuh pada perakitan varietas Kanesia 3 melalui proses persilangan balik tiga kali sumber gen gosipol tinggi HG P-6-3 dengan reba BTK 12. Sedangkan pemanfaatan karakter *nectariless* dan *frego bract* belum menghasilkan varietas unggul nasional. Khusus untuk ketahanan kapas terhadap hama penggerek buah terutama yang merupakan kelompok Lepidoptera, maka telah berhasil direkayasa kapas transgenik dengan mengintroduksi gen *Cry* penyandi sifat produksi delta endotoksin yang berasal dari bakteri tanah *Bacillus thuringiensis* (BT).

Arah perbaikan ketahanan varietas kapas terhadap penyakit belum mendapatkan perhatian di Indonesia, karena masalah serangan penyakit belum menjadi penyebab merosotnya produksi kapas nasional. Untuk mengatasi serangan penyakit pada fase kecambah, dilakukan upaya perlakuan benih dengan fungisida yaitu Dithane M 45 dengan dosis 2 g per kilogram benih. Sedangkan untuk mengatasi serangan penyakit busuk buah, telah dilakukan upaya untuk memodifikasi arsitektur kanopi yaitu dengan memanfaatkan karakter daun okra. Dengan varietas kapas berdaun okra, maka intersepsi cahaya matahari akan meningkat sehingga kelembapan pertanaman dapat ditekan dan serangan penyakit busuk buah dapat berkurang. Sampai saat ini telah diperoleh galur-galur harapan berdaun okra, akan tetapi belum ada varietas unggul nasional berdaun okra yang telah dilepas.

Dalam koleksi sumber daya genetik kapas, terdapat sekelompok aksesori yang memiliki ketahanan beraneka yang dikenal dengan *Multi Adversity Resistance* (MAR). Sumber daya genetik dari kelompok MAR ini merupakan materi untuk mengembangkan varietas baru kapas yang memiliki ketahanan terhadap hama, penyakit, dan kekeringan yang bersumber dari koleksi sumber daya genetik kapas di Texas A&M, Amerika Serikat (El-Zik dan Thaxton 1989; El-Zik 1993).

Perbaikan Ketahanan terhadap Cekaman Kekeringan

Ketahanan kapas terhadap kekeringan merupakan karakter yang penting mengingat areal pengembangan kapas didominasi oleh lahan kering pada areal-areal yang beriklim erratik. Mekanisme ketahanan tanaman terhadap kekeringan dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu '*drought escape*' atau lolos dari kekeringan, '*dehydration postponement*' atau penundaan terhadap proses dehidrasi, dan '*dehydration tolerance*' atau toleransi terhadap proses dehidrasi (Turner 2003). Pada saat terjadi kekeringan, maka perubahan metabolisme dalam akar tanaman akan menghasilkan signal-signal biokimia kepada tunas-tunas yang ada dan secara otomatis akan terjadi penurunan kecepatan tumbuh, penurunan konduksi stomata, fotosintesis, dan tekanan osmotik dalam tanaman (Bressan 1998). Ketahanan terhadap kekeringan pada kapas berasosiasi dengan beberapa karakter morfologi dan fisiologi sebagaimana disimpulkan dari Singh (2004) dalam Tabel 3.

Untuk menilai tingkat ketahanan koleksi plasma nutfah kapas terhadap cekaman keterbatasan air, telah dilakukan seleksi terhadap sebagian dari koleksi plasma nutfah kapas yang ada, baik secara langsung di lapangan maupun secara tak langsung dengan simulasi menggunakan PEG di laboratorium. Aksesori-aksesori Albar G 501, Auburn 200, dan Stoneville 302 merupakan aksesori-aksesori yang toleran terhadap cekaman kekeringan. Selain itu juga aksesori LRA 5166 dan galur (351x268)/4 (Sulistyowati *et al.* 2008). Dari hasil persilangan menggunakan pendekatan metode pengumpulan dan piramida gen dari aksesori-aksesori yang memiliki toleransi tinggi terhadap cekaman keterbatasan air dan yang toleran terhadap hama pengisap *A. biguttula* yang dilaksanakan pada tahun 1996 dan 1997, telah diperoleh dua galur unggul yaitu (339x448)2 dan (135x182)(351x268)/9 yang memiliki

produktivitas tinggi, tahan terhadap *A. biguttula*, tahan terhadap cekaman keterbatasan air, dan mutu serat tinggi (Sumartini *et al.* 2008a) yang telah diusulkan pelepasannya pada sidang pelepasan varietas tahun 2007. Kedua galur tersebut telah dilepas secara resmi oleh Menteri Pertanian melalui SK Mentan No. 506/Kpts/SR.120/9/ 2007 dan No. 507/Kpts/SR.120/9/2007 dengan nama berturut-turut Kanesia 14 dan Kanesia 15.

Salah satu mekanisme ketahanan terhadap cekaman kekeringan adalah umur genjah yang memanfaatkan fenomena lolos dari cekaman, karena pada saat terjadi kekeringan tanaman telah menyelesaikan semua fase pertumbuhannya. Umur genjah pada tanaman kapas ditentukan oleh umur tanaman pada saat pembentukan bunga pertama, dan buah me-rekah, dan kedua hal tersebut dicerminkan pada karakter proporsi hasil panen dari panen pertama terhadap panen total. Karakter umur genjah selain terdapat pada kelompok sumber daya genetik MAR, juga telah diamati pada aksesori Arkugo 4. Di India, upaya untuk memperoleh varietas kapas genjah dilakukan dengan menempuh pemuliaan mutasi, baik dengan menggunakan iradiasi sinar gama atau sinar X, atau menggunakan mutagen kimia antara lain Na-azide dan di-etil sulfonat (Singh 2004). Varietas kapas genjah tidak saja berguna untuk mengatasi cekaman kekeringan, tetapi juga untuk mengatasi kompetisi area dengan tanaman pangan yang lebih dominan berkaitan dengan pola tanam atau rotasi ta-naman.

Tabel 3. Karakter-karakter morfologi dan fisiologi yang terkait dengan ketahanan terhadap keke-
rangan pada kapas

Jenis karakter	Mekanisme ketahanan terhadap kekeringan
A. Karakter morfologi	
- Umur genjah	Lolos dari kekeringan karena tanaman telah menyelesaikan siklus hidup sebelum terjadi cekaman kekeringan.
- Karakter stomata	<ul style="list-style-type: none"> - Stomata yang dapat menutup dengan cepat akan membantu tanaman untuk mempertahankan potensial air dengan menurunkan laju transpirasi. - Ukuran stomata yang kecil berpengaruh terhadap porometer pada daun yaitu laju pergerakan udara dan air keluar daun. - Jumlah stomata yang lebih sedikit berkorelasi dengan transpirasi yang rendah.
- Karakter daun	<ul style="list-style-type: none"> - Ukuran daun yang kecil dan ketebalan lapisan lilin pada permukaan daun berkorelasi dengan transpirasi minimal. - Kelebatan bulu pada daun akan menurunkan transpirasi dengan cara menurunkan suhu daun.
- Karakter akar	Sistem perakaran yang dalam menunjukkan kemampuan mendapatkan air yang tinggi.
B. Karakter fisiologi	
- Kecepatan fotosintesa	Varietas kapas tahan memiliki kecepatan fotosintesa yang tinggi dalam cekaman kekeringan
- Kecepatan transpirasi	- Varietas kapas yang tahan menunjukkan kecepatan transpirasi rendah dalam cekaman kekeringan, dan hal ini berkaitan dengan konsentrasi osmotikum, turgiditas daun, dan kandungan proline yang tinggi.

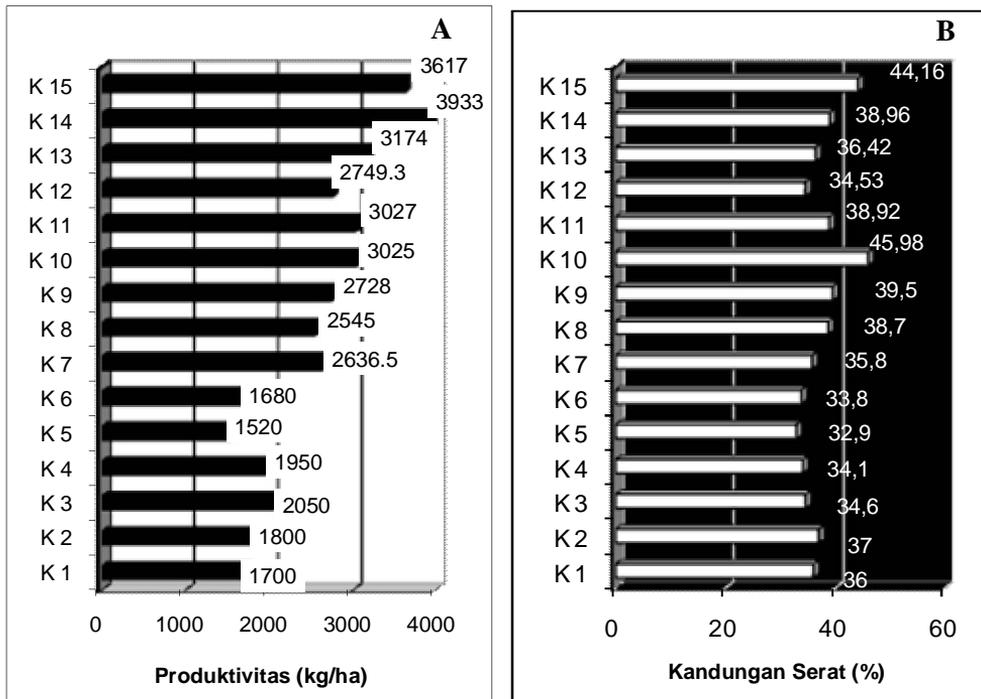
Perbaikan Kesesuaian Varietas Kapas untuk Pola Tumpang Sari dengan Palawija

Pengembangan kapas rakyat sebagian besar dilakukan dalam tata tanam tumpang sari dengan palawija, misalnya jagung, kedelai, kacang hijau, dan kacang tanah. Untuk kesesuaian kapas pada tata tanam tumpang sari dengan palawija, terjadi kompetisi cahaya matahari, air, dan unsur hara. Untuk itu diperlukan upaya perbaikan varietas untuk mengubah arsitektur dan sistem perakaran kapas yang mampu memanfaatkan ketersediaan air, unsur hara, dan cahaya matahari dalam tata tanam tumpang sari (Trenbath 1976). Tanaman kapas dengan bentuk tanaman piramid dan yang memiliki bentuk daun okra akan memungkinkan intersepsi cahaya matahari lebih tinggi dibandingkan yang berdaun normal. Kombinasi antara bentuk tanaman, bentuk daun okra, dan perakaran yang dalam merupakan kombinasi karakter yang dibutuhkan untuk varietas-varietas yang sesuai pada tata tanam dengan palawija (Francis 1989).

VARIETAS UNGGUL KAPAS

Sampai saat ini program perakitan varietas kapas unggul nasional telah berhasil melepas 15 varietas unggul seri Kapas Nasional Indonesia (KANESIA) dan memutihkan 2 varietas introduksi. Tabel 4 menyajikan metode pemuliaan dan tahun pelepasan varietas-varietas unggul kapas nasional sebagaimana disajikan dalam Sulistyowati (2010). Selama 15 tahun program perbaikan varietas kapas nasional (1983–1998), telah dilepas 6 varietas kapas (Kanesia 1–Kanesia 6) dengan peningkatan produktivitas dari 0,8–1,1 ton menjadi 1,85–1,91 ton kapas berbiji atau peningkatan berkisar 10% sampai 15% untuk masing-masing siklus seleksi. Dengan tingkat perbaikan tersebut, maka setiap tahun terjadi peningkatan produksi sebesar 35 kg kapas berbiji atau setara dengan 12,4 kg serat. Sepuluh tahun pertama program perbaikan varietas kapas yang menghasilkan Kanesia 1–Kanesia 6, potensi produksi varietas kapas nasional masih kurang dari 2.000 kg kapas berbiji/ha (Sulistyowati dan Hasnam 2007). Lonjakan produktivitas kapas secara signifikan dicapai pada pelepasan varietas-varietas Kanesia 7–Kanesia 15 yang memiliki tingkat produktivitas 1 ton kapas berbiji lebih tinggi dibanding Kanesia 1–Kanesia 6 (Gambar 4). Kanesia 7 dan Kanesia 8 memiliki tetua jantan yang sama yaitu LRA 5166, satu varietas introduksi dari India yang memiliki sifat tahan terhadap hama pengisap *Amrasca biguttula* (Hasnam *et al.* 2004). Peningkatan potensi produksi yang dicapai pada program pengembangan varietas Kanesia 1–Kanesia 15 tersebut juga diikuti dengan peningkatan kandungan serat (Gambar 4). Kanesia 5 adalah varietas dengan kandungan serat yang paling rendah di antara 15 varietas unggul nasional yang telah dilepas. Kanesia 10 dan Kanesia 15 merupakan dua varietas yang memiliki kandungan serat tinggi, yaitu 45,98% dan 44,46% (Sulistyowati dan Sumartini 2009; Sumartini *et al.* 2008a). Kandungan serat yang tinggi ter-

sebut akan menguntungkan bagi industri tekstil nasional, dengan demikian apabila varietas-varietas tersebut dikembangkan maka selayaknya harga pembeliannya lebih tinggi dibandingkan varietas lain.

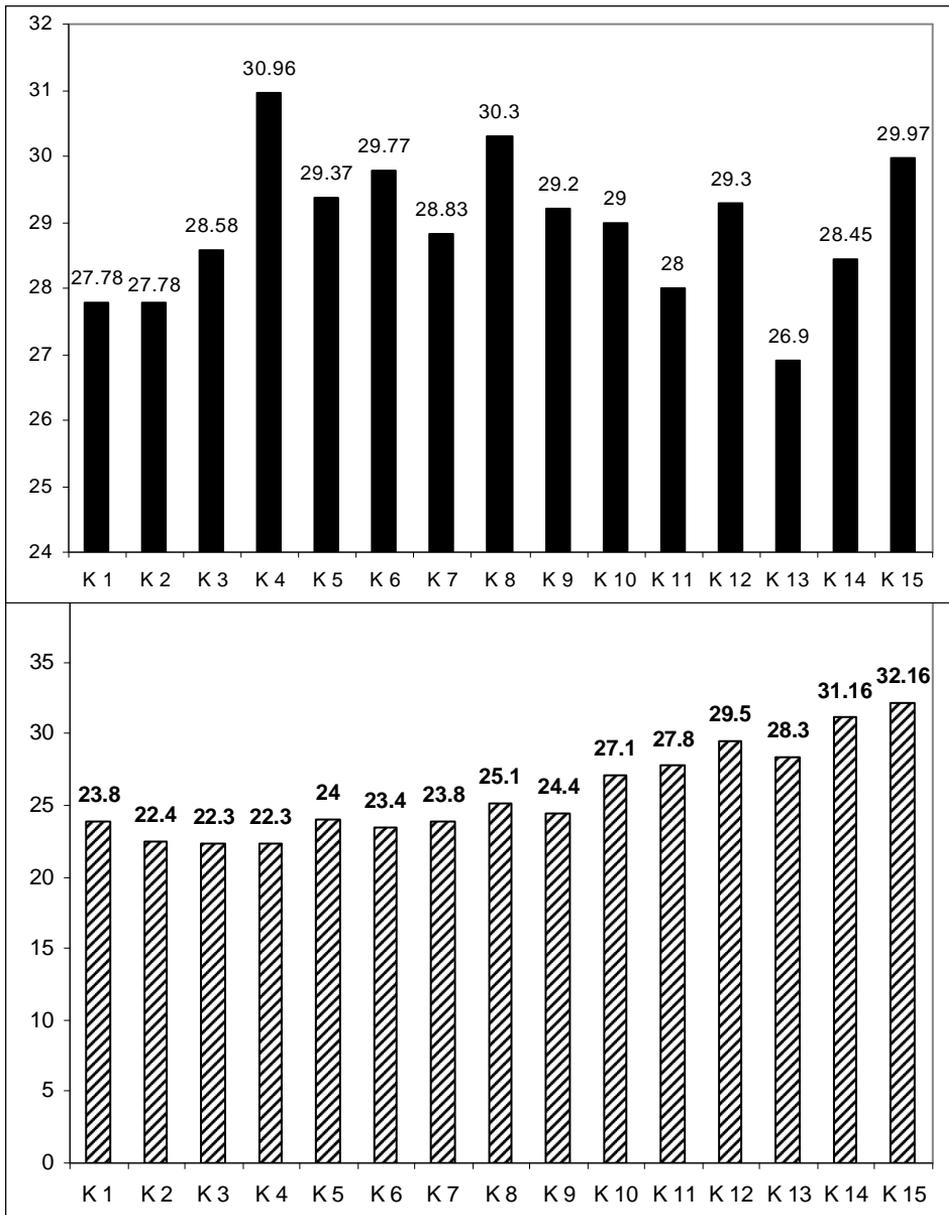


Gambar 4. Keragaan potensi produksi dan kandungan serat varietas kapas nasional, Kanesia 1–Kanesia 15

Perbaikan mutu serat yang telah dicapai pada program pengembangan Kanesia 1–Kanesia 15 tidaklah terlalu signifikan. Gambar 5 menyajikan kisaran panjang dan kekuatan serat Kanesia 1–Kanesia 15. Selain Kanesia 13, semua varietas Kanesia memiliki panjang serat >28 mm yang berarti memenuhi persyaratan industri pemintalan yang menggunakan mesin pemintal jenis rotor atau friksi. Adapun dua varietas yang memiliki panjang serat >30 mm adalah Kanesia 4 dan Kanesia 8 (30,30 mm). Setelah pelepasan Kanesia 10–Kanesia 15, perbaikan mutu serat secara signifikan dicapai yaitu kekuatan serat bahkan mencapai >27 g/tex. Bahkan Kanesia 14 dan Kanesia 15 mampu mencapai kekuatan serat >30 g/tex, sedangkan Kanesia 2–4 merupakan tiga varietas kapas unggul nasional yang memiliki kekuatan serat terendah yaitu sekitar 22 g/tex. Varietas-varietas kapas transgenik yang dilepas oleh Deltapine Land Australia tahun 2007–2008 memiliki kisaran panjang serat 1,15–1,18 inch, kekuatan serat 29,4–31,8 g/tex, dan kehalusan serat 4,3–4,6 mic (Anonymous 2008).

Tabel 4. Metode pemuliaan dan tahun pelepasan varietas-varietas unggul nasional

Varietas	SK Mentan tentang Pelepasan varietas	Metode pemuliaan	Keterangan
Kanesia 1	SK Mentan No. 585/Kpts/TP.240/8/90	Seleksi individu dari populasi Reba BTK 12	Digunakan sejak tahun 1991
Kanesia 2	SK Mentan No. 584/Kpts/TP.240/8/90	Seleksi individu dari populasi Tak Fa 1	Digunakan sejak tahun 1991
Kanesia 3	SK Mentan No. 454/Kpts/TP.240/7/93	Persilangan Reba BTK 12 x HG P-6-3 diikuti dengan silang balik tiga kali dengan Reba BTK 12	Digunakan sejak tahun 1994
Kanesia 4	SK Mentan No. 441/Kpts/TP.240/6/93	Persilangan Stoneville 825 x Reba B-50 diikuti dengan seleksi pedigree	Belum digunakan oleh petani
Kanesia 5	SK Mentan No. 455/Kpts/TP.240/7/93	Persilangan Stoneville 825 x Reba 1887 diikuti dengan seleksi pedigree	Digunakan sejak tahun 1994
Kanesia 6	SK Mentan No. 456/Kpts/TP.240/7/93	Persilangan Acala 1517-77 x Reba B-50 diikuti dengan seleksi pedigree	Belum digunakan oleh petani
Kanesia 7	SK Menhutbun No. 683/Kpts-IX/98	Persilangan TAMCOT SP-37 X LRA 5166 diikuti dengan seleksi pedigree	Digunakan sejak tahun 2000–2005 seluas >10.000 ha/tahun
Kanesia 8	SK Mentan No. 424/Kpts/SR.120/8/2003	Persilangan DPL Acala 90 x LRA 5166 diikuti seleksi individu, seleksi famili, dan seleksi individu dalam famili	Digunakan sejak tahun 2006–sekarang seluas >12.000 ha/tahun
Kanesia 9	SK Mentan No. 425/Kpts/SR.120/8/2003	Persilangan DPL Acala 90 x SRT-1 diikuti seleksi individu, seleksi famili, dan individu dalam famili	Digunakan sejak tahun 2006–sekarang seluas >1.000 ha/tahun
Kanesia 10	SK Mentan No. 109/Kpts/SR.120/2/2007	Persilangan LRA 5166 x SRT 1 diikuti dengan seleksi individu dan seleksi galur	Masih dalam proses diseminasi/perbanyak benih
Kanesia 11	SK Mentan No. 111/Kpts/SR.120/2/2007	Persilangan Tashkent 2 x Pusa 1 diikuti dengan seleksi individu dan seleksi galur	Masih dalam proses diseminasi/perbanyak benih
Kanesia 12	SK Mentan No. 112/Kpts/SR.120/2/2007	Persilangan Pusa 1 x Deltapine 5690 diikuti dengan seleksi individu dan seleksi galur	Masih dalam proses diseminasi/perbanyak benih
Kanesia 13	SK Mentan No. 110/Kpts/SR.120/2/2007	Persilangan Deltapine Acala 90 x Tashkent 2 diikuti dengan seleksi individu dan seleksi galur	Masih dalam proses diseminasi/perbanyak benih
Kanesia 14	SK Mentan No. 506/Kpts/SR.120/9/2007	Persilangan (Reba B 50 x Reba BTK 12 Thailand) dengan (MCU9 x Auburn 200) diikuti seleksi individu dan seleksi galur	Masih dalam proses diseminasi/perbanyak benih
Kanesia 15	SK Mentan No. 507/Kpts/SR.120/9/2007	Persilangan ISA 205 A x ALA 73-2M diikuti seleksi individu dan seleksi galur	Masih dalam proses diseminasi/perbanyak benih
LRA 5166	SK Mentan No. 583/Kpts/TP.240/8/90	Introduksi dari India	Digunakan sejak tahun 1991
ISA 205 A	SK Mentan No. 307/Kpts/SR.120/8/2005	Introduksi dari Perancis	Digunakan sejak tahun 1990–sekarang seluas <1.000 ha/tahun



Gambar 5. Keragaan panjang dan kekuatan serat varietas kapas unggul nasional Kanesia 1–Kanesia 15

PENDEKATAN PEMULIAAN KAPAS KE DEPAN

Upaya peningkatan produksi kapas nasional harus didukung dengan tersedianya varietas unggul. Oleh karena itu, upaya-upaya harus tetap dilanjutkan dalam rangka meningkatkan potensi produksi dan mutu serat, serta memperbaiki ketahanan terhadap ce- kaman biotik dan abiotik melalui pendekatan pemuliaan konvensional maupun transgenik.

Kegiatan perakitan varietas sangat memerlukan koleksi sumber daya genetik yang berpotensi. Oleh karena itu, kegiatan evaluasi dan karakterisasi plasma nutfah perlu diin- tensifkan, sehingga 700 aksesori yang ada dapat dipilih menjadi suatu ‘*workable-set*’ yang terdiri atas genotipe-genotipe yang bervariasi (Sumartini *et al.* 2006). Selain evaluasi ke- tahanan sumber daya genetik kapas terhadap kekeringan dan hama antara lain hama peng- isap *A. biguttula* (Indrayani *et al.* 2007) dan hama kutu putih, *Bemisia tabacci* (Indrayani dan Sulistyowati 2005), juga telah dilakukan evaluasi sumber daya genetik kapas untuk toleransinya terhadap salinitas (Sulistyowati *et al.* 2010). Di masa mendatang, proses eva- luasi sumber daya genetik kapas harus dilakukan dengan mengombinasikan teknik-teknik molekular sebagaimana telah dilakukan untuk mengetahui variasi genetik varietas-varietas unggul kapas menggunakan keragaman pita izosim (Sulistyowati *et al.* 2009), analisis fi- siologi, penyaringan fenotipe, dan lain-lain yang memungkinkan ditemukannya donor-do- nor gen potensial yang lebih bermanfaat untuk perbaikan varietas yang akan datang. Hal lain yang perlu dilakukan adalah pengembangan marka DNA sebagai penciri dari varietas tertentu atau DNA *finger printing*.

Penelitian bioteknologi seperti mencari marka molekular dalam rangka mengem- bangkan teknik seleksi berbantuan marka atau ‘*Marker-Assisted Selection*’ untuk sifat-si- fat yang akan dikombinasikan dengan sifat-sifat ketahanan perlu diintensifkan. Saranga *et al.* (2004) menyatakan bahwa telah cukup banyak publikasi tentang marka DNA yang berkaitan dengan *Quantitative Trait Locus* (QTL) yang terkait dengan sifat indeks panen pa- da kondisi keterbatasan air. Pemanfaatan teknik tersebut adalah untuk tujuan memaksi- malkan keragaan tanaman pada kondisi *input* rendah. Untuk itu sumber daya manusia yang menangani pemuliaan konvensional dan pemuliaan molekular (modern) perlu di- kembangkan.

Upaya peningkatan potensi produksi juga akan ditempuh dengan memanfaatkan fenomena heterosis yang lazim diaplikasikan pada pengembangan varietas kapas hibrida berbasis varietas kapas nasional Indonesia (KANESIA). Sampai dengan tahun 2007, be- berapa varietas kapas hibrida hasil introduksi telah diuji untuk pengembangannya di Indo- nesia. Pengembangan varietas kapas hibrida nasional telah dimulai antara lain dengan pe- ngembangan tetua mandul jantan berbasis KANESIA untuk mendukung program produk- si benih kapas hibrida yang lebih murah (Sumartini *et al.* 2008b).

Fokus penelitian tidak saja menggunakan teknologi konvensional melalui per- silangan menggunakan koleksi sumber daya genetik kapas yang ada, melainkan juga

menggunakan pendekatan transgenik. Di masa mendatang, produk transgenik diramalkan akan mampu mengubah sistem pertanian menuju pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan. Ketahanan terhadap cekaman abiotik maupun biotik sangat perlu ditambahkan pada genom tanaman kapas untuk meningkatkan dan memperbaiki produktivitas dan mutu serat.

Fenomena pemanasan global diramalkan akan menyebabkan terjadinya musim kering yang berkepanjangan. Oleh karena itu, upaya-upaya untuk mengembangkan varietas kapas yang tahan terhadap keterbatasan air harus mendapat perhatian yang besar. Untuk mengantisipasi cekaman kekeringan, upaya pengumpulan gen-gen ketahanan terhadap kekeringan akan ditempuh dengan cara persilangan yang melibatkan lebih dari dua tetua. Kejadian iklim ekstrim dimana kemarau panjang semakin sering terjadi dengan intensitas yang semakin kuat perlu diantisipasi; antara lain dengan upaya bioteknologi untuk menghasilkan genotipe yang mampu melakukan *over*-produksi prolin, polyol, glycine betaine, trehalose, dan poliamina (Ho dan Wu 2004). Dengan menggunakan teknologi transgenik yang telah berkembang dengan baik sekarang ini, maka varietas baru kapas transgenik dapat dirakit menggunakan gen-gen yang berasal dari sumber genetik lokal. Hal ini membuka peluang untuk merakit varietas baru kapas tahan terhadap kekeringan, berumur genjah, dan berproduksi tinggi untuk mendukung pengembangan kapas nasional (Sulistyowati 2009).

Pengembangan kapas transgenik tahan hama terutama dari kelompok Lepidoptera telah berkembang pesat, yaitu dengan dilepasnya secara komersial varietas-varietas kapas transgenik yang mengekspresikan gen Cry yang berasal dari bakteri tanah *Bacillus thuringiensis* (Bt) dalam genomnya karena mampu menghasilkan toksin δ -endotoksin yang beracun bagi herbivora dari kelompok Lepidoptera. Kapas transgenik telah dikomersialkan di beberapa negara, antara lain Amerika Serikat, India, Australia, Afrika Selatan, Argentina, Mexico, Cina, dan secara terbatas di Indonesia (James 2006). Pertanaman kapas Bt yang mengekspresikan gen Cry IAc di negara-negara sedang berkembang seperti India pada musim tanam 2001 menghasilkan kapas berbiji yang lebih tinggi dibanding kapas non-Bt, yang ditunjang dengan menurunnya jumlah frekuensi penyemprotan terhadap hama penggerek buah, volume penggunaan insektisida dengan toksisitas kelas I dan II (organofosfat, karbamat, dan piretroid sintetis) yang berdampak pada penurunan volume bahan aktif insektisida (Qaim dan Zilberman 2003). Babu *et al.* (2003) mendiskusikan gen-gen penyandi ketahanan terhadap hama secara transgenik baik yang berasal dari tanaman ataupun yang berasal dari mikroorganisme lain. Gen-gen tersebut yang merupakan kelompok proteinase inhibitor (Larry dan Richard 2002) antara lain serine proteinase (Marcetti *et al.* 2000) dan tripsin inhibitor CpTi (Xu *et al.* 1996) yang efektif menekan perkembangan *Helicoverpa* dan *Spodoptera*, kelompok gen-gen lektin antara lain gen *gna* (Bell *et al.* 2001) dan *arcelin-1* (Christine *et al.* 1998), kelompok kitinase (Ding *et al.* 1998), dan avidin (Kramer *et al.* 2000). Satu gen yang berasal dari bisa kelompok hewan arachnida

misalnya kalajengking dan laba-laba yaitu gen Hvt atau ∞ -ACTX-Hv1a telah dibuktikan mampu menekan perkembangan hama *Helicoverpa armigera* dan *Spodoptera litura* (Khan *et al.* 2006).

PENUTUP

Varietas unggul merupakan salah satu aspek yang penting dalam program intensifikasi kapas. Sampai dengan tahun 2011 telah dilepas 15 varietas unggul seri KANESIA (Kanesia 1–Kanesia 15) yang dihasilkan dari program pemuliaan konvensional, dan dua varietas introduksi (LRA 5166 dan ISA 205 A). Program perbaikan varietas kapas harus tetap dilanjutkan dalam rangka meningkatkan potensi produksi dan mutu serat, serta memperbaiki ketahanan terhadap cekaman biotik dan abiotik melalui pendekatan pemuliaan konvensional maupun transgenik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2008. 2007–2008 Variety Guide. Deltapine Australia Pty. Ltd. 12 pp.
- Babu, R.M., A. Sajeena, K. Seetharaman & M.S. Reddy. 2003. Advances in genetically engineered (transgenic) plants in pest management-an over view. *Crop Protection* 22 (2003):1071–1086
- Bell, H.A., E.C. Fitches, G.C. Marris, J. Bell, J.P. Edwards, J.A. Gatehouse & A.M.R. Gatehouse. 2001. Transgenic GNA expressing potato plants augment the beneficial biocontrol of *Lacanobia oleracea* (Lepidoptera; Noctuidae) by the parasitoid *Eulophus pennicornis* (Hymenoptera; Eulophidae). *Transgenic Res.* 10:35–42.
- Bressan, R.A. 1998. Stress physiology. *In* L. Taiz & E. Zeiger (eds.) *Plant Physiology*. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA. pp. 725–734.
- Christine, F., C. Henri, M. Lionel, K. Jos, R. Michel, H. Henno, P. Germain, S. Jean-Pierre & R. Pierre. 1998. Characterization and sugar-binding properties of arcelin-1, an insecticidal lectin-like protein isolated from kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L. Cv. Raz-2) seeds. *Biochem. J.* 329:551–560.
- Ding, X., B. Gopalakrishnan, L.B. Johnson, F.F. White, X. Wang, T.D. Morgan, K.J. Kramer & S. Muthukrishnan. 1998. Insect resistance of transgenic tobacco expressing an insect chitinase gene. *Transgenic Res.* 7:77–84.
- El-Zik, K.M. 1993. Progress in developing advanced MAR cotton germplasm with mutant morphological traits. *Proc. Beltwide Cotton Prod. Res. Conf.* p. 589–592.
- El-Zik, K.M. & Thaxton. 1989. Genetic improvement for resistance to pest and stresses in cotton. *In* R.E. Frisbie, K.M. El-Zik & L.T. Wilson (eds.) *Integrated Pest Management System and Cotton Production*. John Willey & Sons Inc., New York. p. 192–224.
- Endrizzi, J.E., E.L. Turcotte & R.J. Kohel. 1984. Qualitative genetics, cytology, and cytogenetics. *In* R.J. Kohel & C.F. Lewis (eds.). *Cotton*. Agron. Series No. 24. ASA, CSSA, SSSA, Publishers, Madison, Wisconsin, USA. p. 81–129.
- Francis, C.A. 1989. Biological efficiencies in multiple-cropping system. *Advances in Agronomy* 42:1–41.

- Hasnam, E. Sulistyowati, S. Sumartini, F.T. Kadarwati & P.D. Riajaya. 2004. Kemajuan genetik pada dua varietas baru kapas, Kanesia 8 dan Kanesia 9. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri* 10(2):66–73.
- Ho, Tuan-hua D. & R. Wu. 2004. Genetic engineering or enhancing plant productivity and stress tolerance. *In* Nguyen & Blum (eds.) *Physiology and Biotechnology Integration for Plant Breeding*. Marcel Dekker, Inc., New York-Basel. p. 489–502.
- Ibrahim, N., T. Yulianti, S. Rahayuningsih, M. Machfud, Utomo & Fauzi. 1997. Studi ekobiologi patogen utama kapas dan mikroorganisme antagonis. *Dalam* Penelitian Ekobiologi Hama, Penyakit, dan Musuh Alami Serta Dasar Teknik Pengendalian pada Berbagai Pola Usaha Tani Kapas. Laporan Hasil Penelitian TA 1997. Balai Penelitian Tembakau dan Tanaman Serat, Malang.
- Indrayani, IG.A.A. & E. Sulistyowati. 2005. Pengaruh kerapatan bulu daun pada kapas terhadap kolonisasi *Bemisia tabaci* Gennadius. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri* 11(3):101–106.
- Indrayani, IG.A.A., S. Sumartini & B. Heliyanto. 2007. Ketahanan beberapa aksesi kapas terhadap hama pengisap daun *Amrasca biguttula* (Ishida). *Jurnal Penelitian Tanaman Industri* 13(3):81–87.
- James, C. 2006. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops:2006. ISAAA brief No. 35. ISAAA: Ithaca, NY.
- Khan S.A., Y. Zafar, R.W. Briddon, K.A. Malik, & Z. Mukhtar. 2006. Spider venom toxin protects plants from insect attack. *Transgenic Research* 15:349–357.
- Kramer, K.J., T.D. Morgan, J.E. Throne, F.E. Dowell, M. Bailey & J.A. Howard. 2000. Transgenic avidin maize is resistant to storage insect pests. *Nat. Biotechnol.* 18:670–674.
- Larry, L.M. & Richard, E.S. 2002. Lectins and protease inhibitors as plant defenses against insects. *J. Agric. Food Chem.* 50:6605–6611.
- Marchetti, S., M. Delledonne, C. Fogher, C. Chiaba, F. Chiesa, F. Savazzini & A. Giordano. 2000. Soybean Kunitz, C-II and PI-IV inhibitor genes confer different levels of insect resistance to tobacco and potato transgenic plants. *Theor. Appl. Gen.* 101:519–526.
- Matthews. G.A. 1994. Jassids Hemiptera: Cicadellidae. *In* G.A. Matthews & J.P. Tunstall (eds) *Insect Pests of Cotton*. University Press, Cambridge. p. 353–357.
- Nurindah. 2002. Kapas: Serangga hama kapas. Monograf Balittas No. 7 Buku 2. Balai Penelitian Tanaman Tembakau dan Serat, Malang. hlm. 128–143.
- Qaim, M. & D. Zilberman. 2003. Yield effects of genetically modified crops in developing countries. *Science* 299:900–902.
- Saranga, Y., C-X. Jiang, R.J. Wright, D. Yakir & A.H. Paterson. 2004. Genetic dissection of cotton physiological responses to arid conditions and their inter-relationship with productivity. *Plant, Cell and Environment* 27:263–277.
- Singh, P. 2004. *Cotton Breeding*. Kalyani Publishers, Ludhiana, New Delhi. 342 p.
- Soebandrijo, Sri-Hadiyani, IG.A.A. Indrayani, G. Kartono, Subiyakto, S.A. Wahyuni & Nurheru. 1994. Peningkatan Produktivitas Kapas dengan Efisiensi Pengendalian Hama Secara Terpadu. Laporan Proyek ARM Balittas, Malang. 17 hlm.
- Sulistyowati, E. 2009. Pemanfaatan teknologi transgenik untuk perakitan varietas unggul kapas tahan kekeringan. *Perspektif. Review Penelitian Tanaman Industri* 8(2):93–107.
- Sulistyowati, E. 2010. Perkembangan penggunaan varietas untuk program pengembangan kapas (*Gossypium*). *Warta Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri* 16(1):9–12.
- Sulistyowati, E. & Hasnam. 2007. Kemajuan genetik varietas unggul kapas Indonesia yang dilepas tahun 1990–2003. *Perspektif. Review Penelitian Tanaman Industri* 6(1):19–28.

- Sulistiyowati, E. & M. Sahid. 2007. Peluang dan dukungan teknologi pengembangan komoditas kapas nasional. Prosiding Lokakarya Nasional Kapas dan Rami. Surabaya, 15 Maret 2006. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan, Bogor. hlm. 147–156.
- Sulistiyowati, E. & S. Sumartini. 2009. Kanesia 10–Kanesia 13: Empat varietas kapas baru berproduksi tinggi. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri* 15(1):24–32.
- Sulistiyowati, E., S. Sumartini & S. Rustini. 2008. Evaluasi ketahanan terhadap cekaman kekeringan menggunakan simulasi PEG-6000 pada tanaman kapas muda. *AGRITEK* 16(5):678–688.
- Sulistiyowati E., S. Sumartini & Abdurrahman. 2010. Toleransi 60 aksesi kapas terhadap cekaman salinitas pada fase vegetatif. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri* 16(1):20–26.
- Sulistiyowati, E., Sulistiyowati, S. Rustini, S. Sumartini & Abdurrahman. 2009. Variasi genetik beberapa spesies kapas (*Gossypium* sp.) berdasarkan keragaman pita isozym. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri* 15(4):174–183.
- Sumartini, S., Abdurrahman & E. Sulistiyowati. 2008a. Galur-galur harapan kapas di lahan tadah hujan. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri* 14(3):87–94.
- Sumartini, S., E. Sulistiyowati, S. Rustini & Abdurrahman. 2008b. Potensi hasil galur-galur F1 mandul jantan kapas pada persilangan alami. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri* 14(2):43–86.
- Sumartini, S., Hasnam, F.T. Kadarwati & E. Sulistiyowati. 2006. ISA 205A (*Gossypium hirsutum* L.), varietas kapas introduksi dari IRCT dikembangkan di Jawa Timur dan Jawa Tengah. Prosiding Lokakarya Revitalisasi Agribisnis Kapas Diintegrasikan dengan Palawija di Lahan Sawah Tadah Hujan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan, Bogor. hlm. 58–64.
- Syed, T.S., G.H. Abro, R.D. Khuhro & Dhauroo. 2003. Relative resistance of cotton varieties against sucking pest. *Pakistan Journal of Biological Science* 6(14):1232–1233.
- Trenbath, B.R. 1976. Plant interaction in mixed crop communities. In Mathias Stelly (ed.) *Multiple Cropping* ASA Special Publication 27:129–169.
- Turner, N.C. 2003. Drought resistance: A Comparison of two research frameworks. In N.P. Saxena (ed.) *Management of Agricultural Drought*. FAO-ICRISAT, India. p. 89–102.
- Uthamasamy, S. 1994. Host resistance to leaf hopper *Amrasca devastans* (Distant) in cotton, *Gossypium* spp. In G.A. Constable & N.W. Forrester (eds.). *Challenging the future: Proceeding of The World Cotton Research Conference I*, Brisbane, Australia. CSIRO, Melbourne. pp. 494–498.
- Xu, D., Q. Xue, D. McElroy, Y. Mawal, V.A. Hilder & R. Wu. 1996. Constitutive expression of a cowpea trypsin inhibitor gene, CpTi, in transgenic rice plants confers resistance to two major rice pests. *Mol. Breed.* 2:167–172.