PELUANG PERAKITAN DAN PENGEMBANGAN KEDELAI TOLERAN GENANGAN

Ratri Tri Hapsari[1] dan M.M. Adie[2]

[1]Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Jalan Raya Kendalpayak, Kotak Pos 66 Malang 65101
Telp. (0341) 801468, Faks. (0341) 801496, E-mail: hapsari_ratri@yahoo.com
[2]Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Jalan Merdeka 147 Bogor 16111
Telp. (0251) 8334089, Faks. (0251) 8312755, E-mail: crifc@indo.net.id

Diajukan: 03 November 2009; Diterima: 16 April 2010

ABSTRAK

Sekitar 60% produksi kedelai nasional dihasilkan dari lahan sawah. Namun, budi daya kedelai di lahan sawah menghadapi berbagai masalah, antara lain cekaman genangan. Genangan menyebabkan penuaan dini sehingga daun klorosis, nekrosis, dan gugur serta pertumbuhan tanaman terhambat, yang pada akhirnya menurunkan hasil. Umumnya kehilangan hasil pada fase vegetatif lebih kecil dibandingkan pada fase reproduktif, yaitu 17–43% pada fase vegetatif dan 50–56% pada fase reproduktif. Besarnya penurunan hasil bergantung pada varietas kedelai yang ditanam, fase pertumbuhan tanaman, lamanya tergenang, tekstur tanah, dan kehadiran penyakit. Tersedianya varietas kedelai toleran genangan akan memberikan arti penting bagi upaya mempercepat peningkatan produksi kedelai dalam negeri. Pengembangan kedelai toleran genangan tidak hanya bermanfaat dalam pengembangan kedelai di lahan sawah, tetapi juga wilayah yang sering mengalami cekaman genangan seperti lahan pasang surut. Luas lahan pasang surut di Indonesia mencapai 20,10 juta ha, sekitar 20–30% di antaranya berpotensi sebagai lahan pertanian. Program perakitan varietas kedelai toleran genangan berpeluang dilakukan jika tersedia sumber gen dan metode skrining yang sederhana, mudah, dan cepat. Karakter morfologi dan fisiologi yang dapat secara cepat mendeteksi indikator toleransi kedelai terhadap genangan adalah perkecambahan, tinggi tanaman, perubahan warna daun menjadi kuning, kehadiran akar adventif, bobot kering akar, penutupan stomata, dan kadar N total. Kerja sama dengan lembaga internasional terutama dalam pertukaran sumber gen akan mempercepat program pemuliaan kedelai toleran genangan.

Kata kunci: *Glycine max*, pemuliaan tanaman, genangan, ketahanan

ABSTRACT

The opportunity of improvement and development of soybean genotypes tolerant to flooding

About 60% of national soybean production came from rice fields. Soybean planting at rice fields closed with many problems, especially flooding. Flooding causes premature senescence that results in leaf chlorosis, necrosis, defoliation, cessation of growth, and reducing yield. Yield losses at vegetative phase were generally smaller than those of reproductive phase, i.e. 17–43% at vegetative phase and 50–56% at reproductive phase. The yield losses depend on soybean variety, plant growth stage, duration of flooding, soil texture, and diseases. Availability of soybean variety tolerant to flooding will give importance in increasing domestic soybean production. Development of soybean genotype tolerant to flooding is not only useful for soybean cultivation in rice fields, but also prospective for regions where flooding stress was the main constraint in soybean cultivation, such as tidal swampland. Tidal swampland in Indonesia achieves 20.10 million ha, about 20–30% among those are potentially utilized as agricultural land. Breeding of soybean genotypes tolerant to flooding has an opportunity to be done if gene source is available supported with simple, easy, and quick screening methods. Morphological and physiological characters that can rapidly detect indicators of soybean tolerance to flooding were germination, plant height, leaf discoloration to yellowing, present adventive roots, root dry weight, stomata conductance, and total N content. Collaboration with international agency in gene source exchange is invaluable in accelerating soybean breeding to flooding tolerance in Indonesia.

Keywords: *Glycine max*, plant breeding, flooding, tolerance

Kedelai sebagian besar dibudidayakan di lahan sawah setelah padi, dan sebagian di lahan kering pada musim hujan. Pada kedua sistem tanam tersebut, sebagian fase tumbuh tanaman kedelai akan berhadapan dengan kelembapan tanah yang tinggi. Kondisi media tumbuh yang lembap akan menghambat pertumbuhan tanaman yang pada akhirnya akan menurunkan hasil. Besarnya penurunan hasil ditentukan oleh varietas kedelai yang digunakan, fase pertumbuhan ta-

naman, lamanya tanaman tergenang, tekstur tanah, dan kehadiran penyakit (Cramer 2008).

Penurunan hasil kedelai pada kondisi tanah tergenang (jenuh air) berkisar antara 15–25% pada umur 15–30 hari (fase vegetatif) (Adisarwanto dan Suhartina 2001). Penggenangan selama 2 minggu pada fase berbunga penuh (R_2) terhadap 23 genotipe kedelai menurunkan hasil biji minimal 37% bahkan menyebabkan kematian tanaman (VanToai *et al*. 2007). Kehilangan hasil akibat genangan juga bergantung pada varietas yang digunakan. Shannon *et al*. (2005) melaporkan, pengurangan hasil pada varietas toleran genangan mencapai 39%, sedangkan pada varietas kurang toleran sampai 77%. Tanaman kedelai yang tergenang selama 3 hari mengakibatkan daun klorosis, gugur, pertumbuhan terhenti, dan akhirnya tanaman mati (Boru *et al*. 2003).

Tersedianya varietas unggul kedelai toleran genangan memiliki arti penting bagi upaya peningkatan produksi kedelai. Hingga saat ini, upaya menekan kehilangan hasil akibat genangan melalui teknik budi daya dianggap memadai, tetapi informasi mengenai kultivar kedelai yang toleran terhadap genangan relatif terbatas. Perakitan varietas kedelai toleran genangan dapat dimulai dengan mengetahui karakter yang berhubungan dengan toleransi kedelai terhadap genangan, dilanjutkan dengan memahami pewarisan karakter tersebut dan mengidentifikasi sumber-sumber plasma nutfah atau varietas yang membawa karakter tersebut. Pemahaman tentang masalah genangan dan mekanisme toleransi tanaman terhadap genangan penting pula untuk menentukan strategi seleksi dalam program perakitan kedelai toleran genangan.

Pengembangan kedelai toleran genangan tidak hanya bermanfaat bagi pengembangan kedelai di lahan sawah, tetapi juga prospektif bagi wilayah yang sering mengalami cekaman genangan seperti lahan pasang surut. Luas lahan pasang surut di Indonesia mencapai 20,10 juta ha, sekitar 20–30% di antaranya berpotensi sebagai lahan pertanian (Suriadikarta dan Sutriadi 2007). Menurut Raihan *et al*. (1996), budi daya palawija berbasis padi mempunyai prospek dikembangkan di lahan pasang surut tipe B, C, dan D. Kunci utama penanaman palawija di lahan pasang surut adalah pengelolaan air yang tepat untuk mengantisipasi terjadinya genangan terutama pada musim hujan. Dengan memahami karakter-karakter penting yang dapat digunakan sebagai kriteria seleksi, pola pewarisan karakter tersebut dan sumber gennya diharapkan peluang perakitan dan pengembangan kedelai toleran genangan makin terbuka. Tersedianya varietas unggul kedelai toleran genangan akan bermanfaat dalam mempercepat peningkatan produksi kedelai di dalam negeri dalam upaya mengurangi impor yang makin meningkat. Tulisan ini bertujuan menelaah peluang perakitan dan pengembangan kedelai toleran genangan di Indonesia.

KEDELAI DAN MASALAH GENANGAN

Genangan merupakan masalah utama di banyak daerah pertanian di dunia dan kedelai merupakan tanaman yang peka terhadap genangan (Shimamura *et al*. 2003). Di Indonesia, kedelai umumnya diusahakan di lahan sawah setelah padi. Kondisi tanah yang tergenang (jenuh air) akibat air sisa penanaman padi atau air hujan sering menjadi salah satu penyebab rendahnya produktivitas kedelai di lahan sawah (Adie 1997). Genangan atau kondisi jenuh air disebabkan oleh kandungan lengas tanah yang berada di atas kapasitas lapang.

Genangan dapat terjadi pada lahan basah alami maupun lahan basah buatan. Notohadiprawiro (1989) mendeskripsikan lahan basah alami sebagai lahan yang karena drainase yang buruk, bersifat basah sementara atau sepanjang waktu. Keadaan ini terjadi karena iklim basah dan berkaitan dengan kedudukan lahan yang berenergi potensial rendah (daerah berketinggian rendah) atau karena bentuk lahan yang berupa cekungan tambat (*retention basin*). Lahan basah buatan yakni lahan yang bentuknya sengaja dibuat sedemikian rupa sehingga dapat menambat banyak air untuk membuat tanah jenuh air atau mempertahankan genangan air pada permukaan tanah selama waktu tertentu. VanToai *et al*. (2001) membagi genangan berdasarkan kondisi pertanaman menjadi dua, yaitu: 1) kondisi jenuh air (*waterlogging*) di mana hanya akar tanaman yang tergenang air, dan 2) kondisi bagian tanaman sepenuhnya tergenang air (*complete submergence*).

Kekurangan oksigen dalam tanah akibat genangan merupakan faktor pembatas pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Kekurangan oksigen menggeser metabolisme energi dari aerob menjadi anaerob sehingga berpengaruh kurang baik terhadap serapan nutrisi dan air. Akibatnya, tanaman menunjukkan gejala kelayuan walaupun tersedia banyak air (Sairam *et al*. 2009). Genangan dapat menurunkan pertukaran gas dalam tanah dan di udara sehingga mengurangi ke- $_2$ bagi akar dan menghambat pasokan O_2 bagi akar dan mikroorganisme (Riche 2004). Pada kondisi tergenang, volume pori tanah yang berisi udara kurang dari 10% sehingga menghambat pertumbuhan akar.

Tanaman yang tergenang dalam waktu singkat akan mengalami kondisi hipoksia (kekurangan O_2). Hipoksia biasanya terjadi jika hanya bagian akar tanaman yang tergenang (bagian tajuk tidak tergenang) atau tanaman tergenang dalam periode yang panjang tetapi akar berada dekat permukaan tanah. Jika tanaman tergenang seluruhnya, akar tanaman berada jauh di dalam permukaan tanah dan mengalami penggenangan lebih panjang sehingga tanaman berada pada kondisi anoksia (keadaan lingkungan tanpa O_2). Kondisi anoksia tercapai 6–8 jam setelah penggenangan, karena O_2 terdesak oleh air dan sisa O_2 dimanfaatkan oleh mikroorganisme. Pada kondisi tergenang, kandungan O_2 yang tersisa dalam tanah lebih cepat habis bila terdapat tanaman karena laju difusi O_2 di tanah basah 10.000 kali lebih lambat dibandingkan dengan di udara (Amstrong 1979 *dalam* Dennis *et al*. 2000). Kondisi hipoksia atau anoksia tidak hanya menghalangi fiksasi N, tetapi juga distribusi N dan mineral lain sehingga menghambat pertumbuhan akar dan nodulasi. Akibat transportasi N dan mineral ke bagian tajuk tidak mencukupi, daun akan menguning yang akan diikuti oleh pengguguran daun. Scott *et al*. (1989) melaporkan, pengaruh penggenangan ditunjukkan oleh daun yang menguning, pengguguran daun pada buku terbawah, kerdil, serta berkurangnya berat kering dan hasil tanaman.

Oksigen merupakan syarat dalam respirasi tanaman, sehingga pada saat tanaman tergenang dan dalam kondisi anaerob, aktivitas glikolitik akan menghasilkan asam piruvat dari glukosa yang dikonversi menjadi etanol dan karbon-

dioksida (Riche 2004). Namun pendapat lain menyatakan bahwa ketiadaan oksigen bukanlah satu-satunya faktor pembatas, tetapi akumulasi CO_2 di daerah perakaran juga berkontribusi terhadap penurunan hasil kedelai pada kondisi tergenang. Kedelai yang tergenang selama 14 hari mulai mengalami klorosis dan tumbuh kerdil jika konsentrasi keseimbangan (*equilibrium concentrations*) CO_2 pada kondisi tidak ada O_2 sebesar 30%. Jika konsentrasi keseimbangan CO_2 naik hingga 50% maka setengah populasi tanaman akan mati. Tanaman yang dapat bertahan hidup memperlihatkan gejala klorosis, nekrosis, dan akhirnya mati. Hal ini mengindikasikan bahwa kedelai yang peka terhadap CO_2 juga rentan terhadap genangan (Boru *et al.* 2003).

Toleransi terhadap genangan dapat didefinisikan sebagai kemampuan tanaman untuk mempertahankan hasil optimal pada kondisi tergenang (VanToai *et al.* 1994). Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi toleransi kedelai terhadap genangan, yaitu:

1) Varietas. Skrining varietas kedelai yang dilakukan selama dua minggu pada keadaan tergenang menunjukkan penurunan hasil rata-rata 61%, yaitu 39% pada varietas toleran dan 77% pada varietas kurang toleran (Shannon *et al.* 2005).
2) Fase pertumbuhan tanaman dan lamanya tergenang. Penggenangan pada fase vegetatif kurang berpengaruh terhadap penurunan hasil dibandingkan pada fase generatif (Scott *et al.* 1989; Oosterhuis *et al.* 1990; Linkemer *et al.* 1998; Cramer 2008). Hal ini diperkuat oleh hasil penelitian Rhine (2006), bahwa terdapat pengaruh negatif yang nyata antara perlakuan penggenangan dengan fase pertumbuhan kedelai. Pada kondisi tergenang, hasil kedelai menurun 17–43% pada fase vegetatif dan 50–56% pada fase reproduktif (Oosterhuis *et al.* 1990). Penggenangan karena irigasi selama 1–2 hari tidak menyebabkan pengurangan hasil kedelai, tetapi periode penggenangan yang lama akan mengakibatkan kehilangan hasil (Heatherly dan Pringle 1991). Linkemer *et al.* (1998) melaporkan fase buku kedua (V_2), mulai berbunga (R_1), mulai pembentukan polong (R_3), dan polong mulai berisi (R_5) paling sensitif terhadap penggenangan di rumah kaca. Menurut Rhine (2006), fase R_5 (pengisian polong) merupakan periode yang paling kritis dibandingkan dengan buku ke-5 (V_5) dan R_1 karena kedelai tidak memiliki waktu yang cukup untuk melakukan pemulihan setelah tergenang. Pada fase tersebut, seluruh energi yang diproduksi dari fotosintesis digunakan untuk pengisian biji.
3) Tekstur tanah. Jenis tanah nyata mempengaruhi respons tanaman kedelai terhadap genangan (Rhine 2006). Pada tanah liat (*clay soil*), kehilangan hasil akibat genangan lebih besar dibandingkan pada tanah lempung berdebu (*silt loam*) (Scott *et al.* 1989; Rhine 2006).
4) Derajat kelembapan. Suhu selama penggenangan mempengaruhi ketahanan tanaman terhadap genangan. Suhu tinggi dan sinar matahari menyebabkan tanaman dan mikroba berespirasi lebih cepat sehingga menghabiskan oksigen dan menambah CO_2 (Conley *et al.* 2008). Sebaliknya pada suhu rendah, cuaca berawan, dan malam hari yang cerah dapat menambah ketahanan tanaman terhadap genangan.
5) Kehadiran penyakit. Genangan juga memberikan efek tidak langsung terhadap hasil kedelai, yaitu timbulnya penyakit pada akar (Naeve 2002). Tanah yang tergenang dapat memudahkan tanaman terserang penyakit seperti *Phytophthora* sp. dan *Phytium* sp. Penyakit ini dapat menyebabkan benih mati pada fase perkecambahan (Rhine 2006).

MEKANISME TOLERANSI TERHADAP GENANGAN

Memahami mekanisme toleransi tanaman terhadap genangan berperan penting dalam mengembangkan genotipe kedelai toleran genangan. Ketahanan tanaman terhadap genangan dapat berupa penghindaran (*avoidance*) kekurangan oksigen dari daun ke akar dan kemampuan tanaman untuk melakukan metabolisme, atau dengan kata lain pada kondisi tersebut respirasi berlangsung secara anaerob (Huang *dalam* Basra dan Basra 1997). Dalam kondisi tergenang, tanaman akan mengaktifkan proses fermentasi utama, yaitu etanol, asam laktat, yang akan membentuk alanin dari glutamat dan piruvat (Dennis *et al.* 2000). Menurut VanToai *et al.* (2003), kedelai merespons kondisi genangan dengan mengaktifkan metabolisme atau melakukan pemulihan secara cepat setelah terjadi cekaman genangan diikuti dengan aklimatisasi (penyesuaian diri). Waktu yang dibutuhkan untuk pemulihan lebih cepat 2–4 hari pada kedelai yang toleran dibandingkan dengan yang peka. Hal ini menunjukkan bahwa proses penyesuaian diri pada genotipe yang toleran lebih cepat dibandingkan dengan yang peka.

Tanaman yang mampu beradaptasi pada kondisi tergenang dicirikan oleh kemampuan mengatasi stres dengan membentuk aerenkim, meningkatkan gula yang dapat larut, memperbanyak aktivitas glikolitik dan enzim fermentasi serta mekanisme ketahanan antioksidan untuk mengatasi kondisi setelah hipoksia dan anoksia (Sairam *et al.* 2008). Pada tanaman padi, proses penghindaran dari genangan dilakukan dengan mengembangkan jaringan aerenkim. Aerenkim adalah jaringan parenkim yang rongga antarselnya besar dan berfungsi sebagai penyimpan udara (Mulyani 2006). Menurut Bacanamwo dan Purcell (1999), kedelai beradaptasi terhadap genangan dengan mengalokasikan fotosintesis dengan cara mengembangkan akar adventif dan

Tabel 1. Hubungan antara fase pertumbuhan, lama penggenangan, dan penurunan hasil pada tanaman kedelai.

Fase pertumbuhan	Lama penggenangan (hari)	Penurunan hasil (%)	Sumber
V_2 dan V_3	1–3	20	Sullivan *et al.* (2001)
V_2 dan V_3	4–6	93	Sullivan *et al.* (2001)
V_4	2	18	Scott *et al.* (1989)
R_2	2	26	Scott *et al.* (1989)
R_1 dan R_2	28	25	VanToai *et al.* (1994)

V_2 = buku kedua, V_3 = buku ke-3, V_4 = buku ke-4, R_1 = mulai berbunga, R_2 = berbunga penuh.

membentuk aerenkim yang bergantung pada fiksasi N_2. Mekanisme toleransi tanaman terhadap genangan sangat kompleks sehingga karakter-karakter penciri toleransi terhadap genangan tidak dapat berdiri sendiri, tetapi bergantung karakter lainnya.

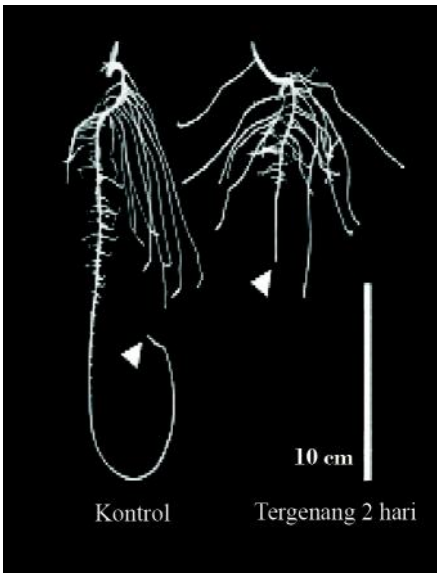
KARAKTER GENOTIPE KEDELAI TOLERAN GENANGAN

Skrining kedelai toleran genangan dapat dilakukan dengan menentukan karakter tanaman yang mempunyai respons terhadap genangan. Beberapa karakter berikut dapat dijadikan indikator seleksi kedelai toleran genangan.

Karakter Morfologi

1) Perkecambahan. Skrining toleransi kedelai terhadap genangan dapat dilakukan dengan uji daya tumbuh biji seperti yang dilakukan Hou *et al*. (1995). Pengujian tersebut berhasil mendapatkan tetua PI 186195 yang daya tumbuhnya tinggi (bersifat toleran) tetapi memiliki gen yang resesif, serta PI 92683 yang daya tumbuhnya rendah (bersifat peka) tetapi memiliki gen yang dominan. Hou dan Thseng (1991) melakukan seleksi dengan merendam benih kedelai 750 varietas selama 4 hari pada suhu 25°C. Hasilnya menunjukkan bahwa toleransi benih terhadap genangan berkorelasi dengan warna kulit biji. Kedelai berbiji hitam memiliki toleransi yang lebih tinggi terhadap genangan, bahkan biji dari beberapa varietas dapat berkecambah dengan baik jika direndam selama 10 hari pada suhu 25°C. Sebaliknya, biji kedelai yang berwarna kuning tidak dapat berkecambah setelah direndam selama 8 hari. Kelebihan air pada saat tanam berakibat buruk terhadap perkecambahan benih. Walaupun benih bermutu baik, pada kondisi kelebihan air benih akan mengalami kekurangan oksigen untuk berkecambah sehingga menjadi busuk (Sudaryono *et al*. 2007).
2) Tinggi tanaman. Tinggi tanaman dapat menjadi indikator seleksi pada percobaan di rumah kaca dan di lapang. Adie (1997) mengidentifikasi toleransi 337 galur kedelai terhadap genangan pada fase vegetatif. Dilaporkan bahwa galur kedelai yang toleran mampu mempertahankan tinggi tanaman saat berbunga. Hal ini didukung oleh VanToai *et al*. (2007) yang melaporkan bahwa terdapat korelasi antara genangan dan tinggi tanaman. Pada kondisi tergenang, kedelai yang toleran genangan memiliki tinggi tanaman 29% lebih tinggi daripada yang peka. Penggenangan yang lebih lama akan mengurangi tinggi tanaman (Sullivan *et al*. 2001).
3) Perubahan warna daun. Kedelai yang banyak mengalami perubahan warna daun menjadi kuning dapat digolongkan kurang toleran genangan. Adie (1997) melaporkan, kedelai yang penurunan tinggi tanamannya saat berbunga rendah umumnya memiliki daun yang menguning kurang dari 10%.
4) Akar adventif. Tanaman kedelai yang tergenang mampu membentuk akar adventif (Komariah *et al*. 2004). Hal ini terjadi karena tanaman memiliki daya adaptasi terhadap lingkungan perakaran yang kekurangan oksigen dengan cara membentuk akar lateral dan akar adventif. Pada saat tanaman dalam keadaan hipoksia (kekurangan O_2), akar adventif akan terbentuk pada bagian atas akar mendekati permukaan tanah di mana tekanan oksigen tinggi. Akar adventif dapat mengurangi pengaruh buruk genangan dengan memperluas area perakaran ke udara, meningkatkan respirasi aerob, dan mengoksidasi rizosfer (Bacanamwo dan Purcell 1999).
5) Aerenkim. Shimamura *et al*. (2003) menjelaskan bahwa aerenkim sekunder juga berhubungan dengan respons kedelai terhadap genangan. Aerenkim sekunder yang berupa jaringan putih berpori terbentuk pada hipokotil, akar utama, akar adventif, dan akar nodul setelah 3 minggu. Aerenkim dapat menjadi fasilitas difusi udara secara internal antara bagian pucuk yang kaya oksigen dan bagian akar sehingga akar dapat berfungsi seperti dalam keadaan aerob. Aerenkim juga dapat menekan kapasitas fermentasi yang dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap genangan (Kuo 1992 *dalam* Komariah *et al*. 2004).
6) Bobot kering akar dan daun. Genotipe kedelai yang toleran terhadap genangan memiliki korelasi positif dengan bobot kering akar dan bobot kering daun pada awal musim tanam (Henshaw *et al*. 2007). Hasil penelitian Budi (2000) menunjukkan bahwa bobot kering akar per tanaman meningkat pada penggenangan air selama fase vegetatif.
7) Komponen hasil biji. Toleransi tanaman terhadap genangan pada fase R_2 berasosiasi dengan tingginya jumlah polong per tanaman dan jumlah biji per polong, sedangkan pada fase V_4 berasosiasi dengan ukuran biji yang besar (VanToai *et al*. 2007).
8) Skor kelukaan tanaman. Seleksi berdasarkan skor kelukaan pada tanaman dapat digunakan pemulia untuk menentukan genotipe yang toleran terhadap genangan (Cornelious *et al*. 2006). Reyna *et al*. (2003) menggunakan skor 0 (tidak ada gejala klorosis dan tanaman tidak mati) hingga 9 (90% tanaman klorosis dan mati). Shannon (2009) menggunakan skor toleransi 1–5, yaitu skor 1 jika tidak ada kerugian akibat genangan dan skor 5 jika semua tanaman mati.

Gambar 1. Perbedaan akar adventif genotipe kedelai yang toleran dan yang peka terhadap genangan (Lee et al. *2004).*



Gambar 2. Perbedaan distribusi akar pada tanaman kedelai yang tidak tergenang dan yang tergenang (*Morita* et al. *2004*).

Karakter Fisiologi

Beberapa karakter fisiologi yang dapat digunakan dalam skrining kedelai toleran genangan yaitu:

1) Kadar N. Kadar N total tanaman dilaporkan berkorelasi positif nyata baik secara fenotipik maupun genetik dengan *stress tolerance index* (STI). Kadar N total tanaman yang tinggi mencerminkan kemampuan tanaman untuk mempertahankan serapan N yang tinggi, melakukan reduksi nitrat dan fiksasi N simbiosis yang tinggi (Komariah *et al.* 2004).
2) Aktivitas nitrat reduktase (ANR). ANR pada daun dan akar dilaporkan dapat menjadi penciri utama toleransi tanaman kedelai terhadap genangan. ANR yang tinggi pada akar maupun daun pada tanaman yang toleran menunjukkan efisiensi pemanfaatan nitrat oleh tanaman. Selain itu, dalam keadaan tergenang, reduksi nitrat menjadi nitrit dapat berperan sebagai alternatif transfer elektron untuk mengganti peran oksigen.
3) Penutupan stomata. Respons awal tanaman yang tergenang adalah penutupan stomata dan pengurangan aliran air dari akar menuju tajuk. Respons tanaman terhadap genangan sering kali meningkatkan asam absisat pada daun yang berperan dalam penutupan stomata sehingga menghambat pertumbuhan daun. Etilen juga dapat menyebabkan stomata menutup, diduga karena etilen dan asam absisat dapat menyebabkan perubahan pada membran pelindung sel sehingga mengganggu keluar-masuknya air dan ion. Kejadian tersebut akan meningkatkan konsentrasi CO_2 dan menyebabkan stomata menutup. Stomata membuka dengan cepat bila tanaman tergenang dalam waktu singkat (Pezeshki 1994 *dalam* Riche 2004).
4) Kandungan ureida pada petiol. Umumnya konsentrasi ureida pada petiol meningkat pada kondisi kekeringan, sebaliknya pada kondisi tergenang konsentrasi ureida pada pembuluh xilem menurun (Puiatti dan Sodek 1999).
5) Aktivitas nodul. Jumlah nodul pada akar kedelai akan berkurang pada kondisi tergenang (Gunho *et al.* 2008). Kedelai yang toleran terhadap genangan dilaporkan mengalami kehilangan berat nodul yang lebih sedikit dibandingkan dengan yang peka (Lee *et al.* 2004).
6) Laju fotosintesis. Perubahan warna daun menjadi kuning akibat tergenang menurunkan laju fotosintesis pada awal penggenangan. Kedelai yang mampu mempertahankan laju fotosintesis merupakan indikator awal toleransi tanaman terhadap genangan.
7) Efisiensi penggunaan air. Fotosintesis yang terhambat saat tanaman tergenang mengakibatkan efisiensi penggunaan air menurun. Lee *et al.* (2004) melaporkan bahwa pada varietas kedelai yang toleran (Pungsannamulkong), penurunan efisiensi penggunaan air lebih kecil dibandingkan dengan varietas yang peka.

Seleksi ketahanan kedelai terhadap genangan sebaiknya dilakukan pada awal dan akhir musim tanam. Seperti yang dilaporkan Henshaw *et al.* (2007) bahwa tidak terdapat korelasi antara perkembangan akar dengan hasil biji kedelai yang ditanam di awal dan akhir musim tanam. Namun, Linkemer *et al.* (1998) melaporkan tidak ada korelasi antara seleksi yang dilakukan pada kedelai yang ditanam di awal dan akhir musim tanam. Hal ini menunjukkan bahwa untuk mendapatkan genotipe kedelai yang toleran terhadap genangan, skrining dapat dilakukan pada berbagai musim tanam.

POLA PEWARISAN KARAKTER TOLERANSI GENANGAN

Pola pewarisan sifat ketahanan tanaman terhadap genangan belum sepenuhnya diketahui. Namun melalui penelusuran pustaka, dapat diketahui pola pewarisan pada saat perkecambahan, ANR daun, ANR akar, dan kadar N total. Pada saat perkecambahan, toleransi biji terhadap genangan dikendalikan secara bersama oleh gen aditif dan dominan serta memiliki heritabilitas dalam arti sempit yang tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa sifat toleransi terhadap genangan mudah diwariskan sehingga seleksi dapat dilakukan pada generasi awal (Hou *et al.* 1995).

Penelitian pola pewarisan sifat ANR daun, ANR akar, dan kadar N total dilakukan oleh Komariah *et al.* (2007) pada populasi F_2 genotipe kedelai yang memiliki kadar ANR daun, ANR akar, dan kadar N total tertinggi dan terendah. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa ANR daun dan ANR akar dikendalikan oleh gen sederhana (s*imple genic*), yaitu paling sedikit oleh sepasang gen inti dengan aksi dominan sempurna (3:1), sedangkan kadar N total tanaman dikendalikan secara sederhana paling sedikit oleh dua pasang gen inti yang berinteraksi epistasis duplikat resesif (9:7). Hal ini menunjukkan bahwa sifat tersebut mudah diwariskan pada keturunannya sehingga akan memberikan kemajuan genetik dan respons seleksi yang tinggi. Dengan demikian, karakter ANR daun, ANR akar, dan kadar N total tanaman dapat digunakan sebagai kriteria pada seleksi generasi awal.

IDENTIFIKASI SUMBER GEN TOLERAN GENANGAN

Program perakitan varietas kedelai toleran genangan berpeluang dilakukan jika tersedia sumber gen. Kultivar kedelai yang berasal dari Amerika umumnya tidak toleran terhadap genangan (VanToai *et al.* 2007; Shannon 2009). Dari 122 varietas MG IV yang diseleksi, hanya delapan varietas yang toleran; dari empat varietas MG III hanya dua yang toleran; dan skrining terhadap 72 varietas MG V berhasil menemukan 20 varietas yang toleran terhadap genangan pada tanah

yang bertekstur berat. Shannon (2009) menyatakan galur kedelai dari Asia memiliki peluang toleransi yang lebih besar terhadap genangan sepenuhnya (*complete submergence*). Penelitian Hou dan Thseng (1991) pada 730 koleksi plasma nutfah kedelai di Taiwan menunjukkan bahwa sebagian besar plasma nutfah tersebut memperlihatkan toleransi yang tinggi terhadap genangan pada uji perkecambahan. Hal ini membuka peluang mendapatkan sumber gen toleran genangan dari varietas, galur, atau aksesi plasma nutfah kedelai yang ada.

Githiri *et al*. (2006) telah melakukan penelitian tentang dasar genetik yang mempengaruhi toleransi kedelai terhadap genangan pada awal pertumbuhan vegetatif. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa dari 360 gen penanda yang digunakan, terdapat tiga *quantitative trait loci* (QTL) yang berhubungan dengan toleransi terhadap genangan, yaitu ft_1, ft_2, dan ft_3. Dari ft_1 kemudian diperoleh empat QTL lagi pada tahun berikutnya (ft_4, ft_5, ft_6, dan ft_7). Dibandingkan dengan penanda yang lain, ft_1 memiliki total varian yang besar dan berkaitan dengan umur berbunga. Gen tersebut diduga berhubungan dengan E_1 (gen pengendali umur dalam pada kedelai). Artinya kedelai yang berumur dalam diduga memerlukan waktu yang lebih panjang untuk melakukan pemulihan dari cekaman genangan.

VanToai *et al*. (2001) telah menyeleksi 208 galur dari persilangan Archer x Minsoy dan Archer x Noir I pada penggenangan selama 2 minggu dan mendapatkan QTL tunggal yang berhubungan dengan gen penanda Sat-064 dari tetua Archer. Gen tersebut berasosiasi dengan perbaikan tinggi tanaman (dari 11% menjadi18%) dan hasil biji (47–180%). Fakta ini menunjukkan bahwa tanaman yang dapat tumbuh 2 minggu pada cekaman genangan berpenampilan lebih tinggi dan dapat memproduksi banyak biji. Cornelious *et al*. (2005) menggunakan *single marker analysis* (SMA) dan *composite interval mapping* (CIM) untuk mengindentifikasi QTL yang berhubungan dengan toleransi terhadap genangan. Dengan SMA dilaporkan terdapat lima gen penanda yang berhubungan dengan toleransi terhadap genangan, yaitu Satt599, Satt160, Satt269, Satt252, dan Satt485. Dengan metode CIM diketahui QTL yang berhubungan erat dengan Satt385. Pada kedua metode tersebut, QTL berperan 10–16% terhadap variasi fenotipe. Alel yang dapat meningkatkan toleransi berasal dari tetua Archer.

Tabel 2. Sumber gen kedelai yang toleran atau peka terhadap genangan.

Genotipe	Asal	Aksi gen	Respons	Fase	Sumber
Lokon	Indonesia	NA	Toleran	V dan R	Budi (2000)
Lumajang bewok	Indonesia	NA	Peka	V dan R	Budi (2000)
Tengger	Indonesia	NA	Peka	V dan R	Budi (2000)
Dieng	Indonesia	NA	Toleran	V	Adie (1997)
MLGG 0132	Indonesia	NA	Toleran	V	Adie (1997)
MLGG 0305	Indonesia	NA	Toleran	V	Adie (1997)
PI 186195	Taiwan	Resesif	Toleran	Perkecambahan	Hou *et al*. (1995)
PI 92683	Taiwan	Dominan	Peka	Perkecambahan	Hou *et al*. (1995)
VND2	Asia Tenggara	NA	Toleran	R_2	VanToai *et al*. (2007)
ATF 15-1	Asia Tenggara	NA	Toleran	R_2	VanToai *et al*. (2007)
Nam Vang	Kamboja	NA	Toleran	V_4 dan R_2	VanToai *et al*. (2007)
Kanto 100	Jepang	NA	Peka	V_3	Gunho *et al*. (2008)
Sowonkong	Korea	NA	Toleran	V_4 dan V_5	Cho dan Yamakawa (2006)
Pungsannamulkong	Korea	NA	Toleran	V_5 dan R_2	Lee *et al*. (2004)
Jangryupkong	Korea	NA	Peka	V_5 dan R_2	Lee *et al*. (2004)
NK S39-A3	USA	NA	Toleran	NA	Shannon (2009)
Hornbeck HBK 3927	USA	NA	Toleran	NA	Shannon (2009)
Trisoy 4586	USA	NA	Toleran	NA	Shannon (2009)
Progeny 4908	USA	NA	Toleran	NA	Shannon (2009)
Asgrow 4303	USA	NA	Toleran	NA	Shannon (2009)
USG 75Z 38	USA	NA	Toleran	NA	Shannon (2009)

V = vegetatif, R = reproduktif, NA = tidak diketahui.

PROSPEK PENGEMBANGAN KEDELAI TOLERAN GENANGAN

Luas lahan pertanian di Indonesia sekitar 107 juta ha dari luas daratan yang mencapai 192 juta ha, belum termasuk Maluku dan Papua (BPS 2002). Dari luasan tersebut sekitar 24,50 juta ha berupa lahan basah untuk sawah, 25,30 juta ha berupa lahan kering yang berpotensi untuk tanaman semusim, dan 50,90 juta ha untuk padang rumput dan tanaman kayu-kayuan.

Dari lahan basah yang tersedia, yang saat ini sudah dijadikan sawah baru sekitar 8,50 juta ha, sedangkan sisanya 16 juta ha belum dimanfaatkan. Pada lahan yang demikian, budi daya kedelai di lahan sawah sangat berpotensi dikembangkan. Namun, budi daya kedelai di lahan sawah terkendala oleh kondisi lahan yang tergenang sehingga produktivitas rendah. Curah hujan yang tinggi pada musim hujan sering berakibat tanah jenuh air, drainase buruk atau banjir sehingga kurang sesuai bagi pertumbuhan kedelai (Sumarno dan Mashuri 2007). Selain itu, pemanasan global yang menyebabkan peningkatan curah hujan dan kenaikan permukaan laut dapat mengakibatkan banyak lahan pertanian yang tergenang.

Tersedianya varietas kedelai yang adaptif pada kondisi tersebut akan memberikan arti penting dalam rangka percepatan peningkatan produksi kedelai di dalam negeri. Peluang perakitan varietas kedelai toleran genangan sangat terbuka dengan tersedianya sumber-sumber gen dan metode skrining yang sederhana, mudah, dan cepat. Kerja sama dengan lembaga internasional terutama dalam pertukaran sumber gen akan mempercepat program pemuliaan kedelai toleran genangan di Indonesia.

KESIMPULAN

Genangan menyebabkan tanaman mengalami penuaan dini sehingga daun

klorosis, nekrosis, dan gugur, pertumbuhan terhambat, yang pada akhirnya menurunkan hasil. Umumnya kehilangan hasil pada fase vegetatif lebih kecil dibandingkan pada fase reproduktif, yaitu 17–43% pada fase vegetatif dan 50–56% pada fase reproduktif. Besarnya penurunan hasil bergantung pada varietas yang digunakan, fase pertumbuhan tanaman, lamanya tergenang, tekstur tanah, dan kehadiran penyakit.

Tersedianya varietas kedelai toleran genangan memberikan arti penting dalam rangka percepatan peningkatan produksi kedelai di dalam negeri dengan luas lahan sawah yang mencapai 24,50 juta ha.

Program perakitan varietas kedelai toleran genangan berpeluang dilakukan jika tersedia sumber gen dan metode skrining yang sederhana, mudah serta cepat. Karakter morfologi dan fisiologi yang dapat secara cepat mendeteksi indikator toleransi kedelai terhadap genangan antara lain adalah perkecambahan, tinggi tanaman, perubahan warna daun menjadi kuning, kehadiran akar adventif, bobot kering akar, penutupan stomata, dan kadar N total. Kerja sama dengan lembaga internasional terutama dalam pertukaran sumber gen akan mempercepat program pemuliaan kedelai toleran genangan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Adie, M.M. 1997. Pembentukan varietas unggul kedelai. hlm. 111–142. Laporan Teknis 1997. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Malang.

Adisarwanto, T. dan Suhartina. 2001. Tanggap beberapa varietas kedelai terhadap kondisi tanah jenuh air. Penelitian Pertanian 20: 88–94.

Bacanamwo, M. and L.C. Purcell. 1999. Soybean root morphological and anatomical traits associated with acclimation to flooding. Crop Sci. 39: 143–149.

Basra, A.S. and R.K. Basra. 1997. Mechanisms of environmental stress resistance in plants. Harwood Academic Publishers. http://books.google.co.id. [8 January 2009].

Badan Pusat Statistik. 2002. Statistik Indonesia 2002. Badan Pusat Statistik, Jakarta.

Boru, G., T.T. Van Toai, J. Alves, D. Hua, and M. Knee. 2003. Response of soybean to oxygen deficiency and elevated root-zone carbon dioxide concentration. Annals Bot. 91(4): 447–453.

Budi, D.S. 2000. Toleransi kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.) terhadap genangan air statis pada berbagai fase pertumbuhan. hlm. 207–212. *Dalam* V.W. Gunawan, N. Sunarlin, T. Handayani, B. Soegiarto, W. Adil, B. Priyanto, dan Suwarno (Ed.). Prosiding Lokakarya Penelitian dan Pengembangan Produksi Kedelai di Indonesia. Direktorat Teknologi Lingkungan, Jakarta.

Cho, J.W. and T. Yamakawa. 2006. Tolerance differences among small seed soybean cultivars againts excessive water stress conditions. J. Fac. Agric. Kyushu Univ. 51(2): 195–199.

Conley, S., P. Esker, and G. Shannon. 2008. Assessing flood damage to soybean. University of Wisconsin Integrated Pest and Crop Management. http://ipcm.wisc.edu/WCMNews/tabid/53/EntryId/552/Assessing-Flood-Damage-to-Soybean.aspx. [28 January 2009].

Cornelious, B., P. Chen, N. de Leon, J.G. Shannon, and D. Wang. 2005. Identification of QTLs underlying waterlogging tolerance in soybean. Mol. Breed. 16(2): 103–112.

Cornelious, B., P. Chen, A. Hou, A. Shi, and J.G. Shannon. 2006. Yield potential and water-logging tolerance of selected near-isogenic lines and recombinant inbreed lines from two southern soybean populations. J. Crop. Improv. 16: 97–111.

Cramer. 2008. Cultivating agriculture-saturated and flooded soybean fields. Kansas State University Research and Extension. http://www. sedgwick.ksu.edu/desktopmodules/viewdocument.aspx?document10=13373. [20 January 2009].

Dennis, E.S., R. Dolferus, M. Ellis, M. Rahman, Y. Wu, F.U Hoeren, A. Grover, K.P. Ismond, A.G. Good, and W.J. Peacock. 2000. Molecular strategies for improving water-logging tolerance in plants. J. Exp. Bot. 51: 89–97.

Githiri, S.M., S. Watanabe, K. Harada, and R. Takashi. 2006. QTL analysis tolerance in soybean at an early vegetative growth stage. Plant Breed. 125(6): 613–618.

Gunho, J., M. Toshinori, O. Yukihiko, and K. Makie. 2008. Effect of waterlogging on nitrogen fixation and photosynthesis in supernodulating soybean cultivar kanto 100. Plant Prod. Sci. (11): 291–297.

Heatherly, L.G. and H.C. Pringle III. 1991. Soybean cultivars response to flood irrigation of clay soil. Agronomy 83: 231–236.

Henshaw, T.L, R.A., Gilbert, J.M.S. Scholberg, and T.R. Sinclair. 2007. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genotype response to early-season flooding: I Root and nodule development. Journal Agronomy and Crop Science. 193(3): 177–178.

Hou, F.F. and F.S. Thseng. 1991. Studies on the flooding tolerance of soybean seed: varietal differences. Euphytica 57: 169–173.

Hou, F.F., F.S. Thseng, S.T. Wu, and K. Takeda. 1995. Varietal differences and diallel analysis of pre-germination flooding tolerance in soybean seed. Bulletin Research Institute of Bioresource Okayama University 3: 35–41.

Komariah, A., A. Baihaki, R. Setiamihardja, dan S. Djakasutami. 2004. Hubungan antara aktivitas nitrat reduktase, kadar N total, dan karakter penting lainnya dengan toleransi tanaman kedelai terhadap genangan. Zuriat 15(2): 163–169.

Komariah, A., A. Baihaki, R. Setiamihardja, dan S. Djakasutami. 2007. Pola pewarisan aktivitas nitrat reduktase pada daun dan pada akar, serta kadar N total tanaman sebagai karakter penciri toleransi kedelai terhadap genangan. Zuriat 18(1): 46–55.

Lee, J.E., H.S. Kim, W.H Kim, Park Sei-Joon, Y.U. Kwon, and J.K. Kim. 2004. Identification of physiological indicators for establishing screening techniques related to tolerance of excess water in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). New Directions for a Diverse Planet. Proc. Fourth International Crop Science Congress held in Brisbane Australia, 26 September–1 October 2004.

Linkemer, G., J.E. Board, and M.E. Musgrave. 1998. Waterlogging effect on growth and yield component in late-planted soybean. Crop Sci. (38): 1576–1584.

Morita, S., J. Abe, S. Furubayashi, A. Lux, and R. Tajima. 2004. Effect of waterlogging on root system of soybean. New Directions for a Diverse Planet: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress Brisbane, Australia, 26 September–1 October 2004. http://www. cropscience. org.au/icsc2004/poster/2/7/4/743_ morita.htm. [13 March 2010].

Mulyani, S. 2006. Anatomi Tumbuhan. Kanisius, Yogyakarta.

Naeve, S. 2002. Flooded fields and soybean survival. MCCN80. http://www.plpa.agri.umm.edu/extension. [28 January 2009].

Notohadiprawiro, T. 1989. Pola kebijakan pemanfaatan sumber daya lahan basah, rawa, dan pantai. Seminar Ilmiah Dies Natalis ke-25 Universitas Jember 14–15 Juli 1989. http://soil.faperta.ugm.ac.id/tj/1981/1989%20pola.pdf. [20 January 2009].

Oosterhuis, D.M., H.D. Scott, R.E. Hampton, and S.D. Wullschleger. 1990. Physiological response of two soybean (*Glycine max* L. Merr.) cultivars to short-term flooding. Environ. Exp. Bot. 30: 85–92.

Puiatti, M. and L. Sodek. 1999. Waterlogging affects nitrogen transport in the xylem of

soybean. Plant Physiol. Biotechnol. 37: 767–773.

Raihan, S., S. Saragih, R.S. Simatupang, dan M.Y Maamun. 1996. Rakitan teknologi budi daya palawija berbasis padi di lahan pasang surut *dalam* Abstrak Hasil Penelitian Pertanian Komoditas Kedelai. Pusat Perpustakaan dan Penyebaran Teknologi Pertanian Departemen Pertanian. http://www.pustaka-deptan.go.id/abstrak/abstrak_kedelai.pdf [13 Maret 2010]

Reyna, N., B. Cornelious, J.G. Shannon, and C.H. Sneller. 2003. Evaluation of QTL for waterlogging tolerance in southearn soybean germplasm. Crop Sci. 43: 2077–2082.

Rhine, M.D. 2006. Reaction of soybean cultivars to waterlogged soil. University Missouri-Columbia Electronic Thesis and Dissertation Archieves. http://edt.missouri.edu/fall2006/Thesis/RhineM-030707-T5258/research.pdf.2006 [2 February 2009].

Riche, C.J. 2004. Identification of soybean cultivars tolerance to waterlogging through analyses of leaf nitrogen concentration. Lousiana State University Electronic Thesis and Dissertation Collection. http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-04132004-154236/unrestricted/Riche_thesis.pdf. [20 January 2009].

Sairam, R.K., D. Kumutha, K. Ezhilmathi, P.S. Deshmukh, and G.C. Srivastava. 2008. Phisiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. Biol. Plant (52): 401–412.

Sairam, R.K., D. Kumutha, and K. Ezhilmathi. 2009. Waterlogging tolerance: nonsymbiotic haemoglobin-nitric oxide homeostatis and antioxidants. Curr. Sci. 96(5): 674–682.

Scott, H.D., J. De Angulo, M.B. Daniels, and L.S. Wood. 1989. Flood duration effect on soybean growth and yield. Agronomy. 81: 631–636.

Shannon, J.G., W.E. Stevens, W.J. Wiebold, R.L. McGraw, D.A. Sleper, and H.T. Nguyen. 2005. Breeding soybeans for improved tolerance to flooding. Proc. 35th Soybean Seed Res. Conf. Am. Seed. Trade Assoc. Chichago.

Shannon, J.G. 2009. Research of soybean tolerance to waterlogging and drought funded by the southern soybean research program and the united soybean board. Southern Soybean Research Program. http://kysoy.org/ssrp/gshannon0409b.html. [14 March 2010].

Shimamura, S., T. Mochizuki, Y. Nada, and M. Fukuyama. 2003. Formation and function of secondary aerenchyma in hypocotyl, roots and nodules of soybean (*Glycine max*) under flooded condition. Plant Soil: 351–359.

Sudaryono, A. Taufik, dan A. Wijanarko. 2007. Peluang peningkatan produksi kedelai di Indonesia. hlm. 130–167. *Dalam* Kedelai: Teknik produksi dan pengembangannya. Sumarno, Suyamto, A. Widjono, Hermanto, dan H. Kasim (Ed.). Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor.

Sullivan. M., T.T. Van Toai, N. Fausey, J. Beuerlein, R. Parkinson, and A. Soboyejo. 2001. Evaluating on-farm flooding impacts on soybean. Crop Sci. 41: 93–100.

Sumarno dan A.G. Mashuri. 2007. Persyaratan tumbuh dan wilayah produksi kedelai di Indonesia. hlm. 73–103. *Dalam* Kedelai: Teknik produksi dan pengembangannya, Sumarno, Suyamto, A. Widjono, Hermanto, dan H. Kasim (Ed.). Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor.

Suriadikarta, D.A. dan M.T. Sutriadi. 2007. Jenis-jenis lahan berpotensi untuk pengembangan pertanian di lahan rawa. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian 26(3): 115–122.

VanToai, T.T., A.F. Beuerlein, S.K. Scjimitthenner, and S.K. St. Martin. 1994. Genetic variability for flooding tolerance in soybeans. Crop Sci. 34: 1112–1115.

VanToai, T.T., S.K. St. Martin, K. Chase, G. Boru, V. Schnipke, A.F. Schmitthenner, and K.G. Lark. 2001. Identification of a QTL associated with tolerance of soybean to soil waterlogging. Crop Sci. 41: 1247–1252.

VanToai, T.T., Y. Yang, P. Ling, G. Boru, M. Karica, V. Roberts, D. Hua, and B. Bishop. 2003. Monitoring soybean tolerance to flooding stress by image processing technique. p. 43–51. *In* T.T. VanToai (Ed.). Digital Imaging and Spectral Techniques: Applications to precision agriculture and crop physiology. ASA Special Publication No. 66. The American Society of Agronomy, Madison, WI.

VanToai, T.T., T.T.C Hoa, N.T.N. Hue, H. Nguyen, J.G. Shannon, and B. Bishop. 2007. Diversity in tolerance of soybean (*Glicyne max* L. Merr.) germplasm to soil waterlogging. Paper presented at International Annual Meetings, New Orleans, Louisiana, 4–8 November 2007.