

# Kendali Genetik dan Karakter Penentu Toleransi Kedelai terhadap Salinitas

Ayda Krisnawati<sup>1</sup> dan M. Muchlish Adie<sup>2</sup>

## Ringkasan

Saat ini, salinitas menjadi salah satu ancaman bagi sistem produksi bahan pangan, termasuk kedelai. Salinitas pada kedelai menyebabkan penurunan tingkat perkecambahan, nekrosis daun, berkurangnya warna hijau daun, menghambat pertumbuhan akar, dan menurunkan jumlah nodul. Hal tersebut mengakibatkan penurunan biomass tanaman, tinggi tanaman, ukuran daun, hasil biji, kualitas biji, dan kemampuan tumbuh. Salah satu strategi untuk mengatasi dan mengeliminasi penurunan produksi kedelai akibat meluasnya salinitas adalah merakit varietas toleran salinitas. Keberhasilan perakitan varietas kedelai toleran salinitas ditentukan oleh tersedianya sumber gen toleran, yang dapat diperoleh melalui identifikasi terhadap koleksi plasma nutfah kedelai. Beberapa karakter morfologi dan fisiologi potensial digunakan sebagai dasar penentu toleran kedelai terhadap salinitas. Namun, pengalaman penelitian di beberapa negara menunjukkan bahwa penggunaan identifikasi toleransi terhadap salinitas berdasarkan karakter tunggal seringkali menyulitkan, sehingga diperlukan karakter gabungan yang potensial untuk digunakan sebagai penyeleksi toleransi kedelai terhadap salinitas.

Salinitas merupakan faktor pembatas produksi tanaman pangan karena dapat menyebabkan penurunan hasil tanaman. Diperkirakan sebanyak 7% lahan di dunia dan 20% lahan irigasi dipengaruhi oleh salinitas (Flowers *et al.* 1997). Berdasarkan data FAO (2000), total luas lahan salin di dunia 397 juta ha dan 434 juta ha lahan sodik. Dari 230 juta ha lahan irigasi, 45 juta ha di antaranya merupakan lahan salin (19,5%) dan dari 1.500 juta ha lahan kering di dunia, 32 juta ha di antaranya adalah lahan salin (2,1%) dengan berbagai tingkat salinitas. Di Indonesia, total luas lahan salin 440.300 ha yang terbagi menjadi lahan agak salin (304.000 ha) dan lahan salin (140.300 ha) (Rachman *et al.* 2007).

Usaha peningkatan produksi kedelai saat ini menghadapi kendala berupa penurunan areal tanam dan penyusutan lahan subur akibat alih fungsi lahan ke sektor nonpertanian. Optimalisasi penyediaan kedelai dalam negeri berpeluang diarahkan ke lahan suboptimal, di antaranya lahan salin. Namun salinitas menjadi faktor pembatas pertumbuhan kedelai, yang menghambat

---

<sup>1</sup> Peneliti pada Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Malang

<sup>2</sup> Peneliti Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor

pertumbuhan melalui penurunan biomassa (Essa and Al-Ani 2001, Shereen and Ansari 2001, Tunçturk *et al.* 2008), sehingga menurunkan hasil (Beecher 2004, Katerji *et al.* 2003 dalam Pathan *et al.* 2007).

Perubahan iklim global yang telah terjadi di berbagai belahan dunia, berdampak terhadap peningkatan permukaan air laut, dan salinitas akan menjadi masalah penting. Fenomena alam ini menuntut perlunya terobosan inovasi untuk mengatasi dan mengeliminasi penurunan produksi tanaman pangan akibat meluasnya salinitas. Salah satu strategi untuk mengatasi masalah ini adalah merakit varietas kedelai yang toleran terhadap salinitas. Keberhasilan perakitan varietas kedelai toleran salinitas ditentukan oleh tersedianya sumber gen tahan, yang dapat diperoleh melalui identifikasi dalam koleksi plasma nutfah kedelai. Selain itu, pemahaman tentang salinitas dan dampaknya terhadap tanaman, karakter-karakter morfologis, dan agronomis sebagai dasar penentuan tolok ukur toleransi kedelai terhadap salinitas, serta teknik skrining awal yang efektif dan efisien diperlukan dalam menunjang keberhasilan perakitan varietas kedelai toleran salinitas.

## Masalah Salinitas

Salinitas dari sudut pandang pertanian merupakan akumulasi garam terlarut dalam air tanah yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman (Gorham 1992). Lahan salin adalah lahan pasang surut yang secara temporer atau permanen memiliki salinitas tinggi, dengan nilai ESP (*Exchangeable Sodium Percentage*) < 15% atau nilai EC (*Electrical Conductivity*) > 4 dS/m. Terdapat dua macam bentuk salinitas tanah, yaitu salinitas primer dan sekunder. Salinitas primer terbentuk akibat akumulasi garam terlarut dalam tanah atau air tanah melalui proses alami yang berlangsung dalam jangka waktu lama. Salinitas sekunder terbentuk akibat aktivitas manusia yang mengubah keseimbangan tata air tanah, antara air yang digunakan (air irigasi atau air hujan) dengan air yang digunakan oleh tanaman dan penguapan. Penyebab utama salinitas sekunder adalah pembukaan lahan dan penggantian vegetasi tahunan dengan tanaman semusim, pengairan menggunakan air berkadar garam tinggi atau keterbatasan air irigasi (El-Hendawy 2004). Kadar salinitas dipengaruhi oleh curah hujan, pelapukan batuan, perpindahan material oleh angin dari permukaan tanah atau danau, kualitas air irigasi, intrusi air laut ke daratan, faktor iklim, dan aktivitas manusia (Rengasamy 2006).

Sebaran lahan salin pada umumnya adalah di daerah pantai, lahan beririgasi, lahan kelebihan pupuk, dan lahan yang secara alami berkadar garam tinggi. Perluasan lahan irigasi dan tingginya kadar garam dalam air irigasi, yang disertai oleh buruknya sistem irigasi menyebabkan peningkatan cekaman garam terhadap tanaman. Pada saat kemarau panjang, bila terjadi pasang besar, air di saluran drainase yang salinitasnya tinggi dapat masuk ke lahan melalui air tanah. Blumwald dan Grover (2006) memprediksi sekitar

50% lahan pertanian akan mengalami cekaman garam pada tahun 2050. Kadar garam yang tinggi dalam tanah mempengaruhi pertumbuhan tanaman melalui empat mekanisme (Xiong 2002), yaitu (1) tingginya kadar garam menyebabkan stres osmotik, (2) penghambatan dalam penyerapan  $K^+$  yang merupakan nutrisi utama tanaman, (3) ion  $Na^+$  pada kadar yang tinggi bersifat toksik terhadap enzim *cytosolic*, dan (4) konsentrasi garam yang tinggi memacu stres oksidatif dan kematian sel.

Pertumbuhan tanaman pada lingkungan dengan kadar garam tinggi menyebabkan tanaman mengalami efek *hiperosmotik*. Akibatnya, terjadi gangguan pada fungsi membran, keracunan metabolisme, gangguan pada proses fotosintesis, bahkan dapat berujung pada kematian tanaman (Malhotra and Blake 2004). Salinitas pada kedelai dapat meningkatkan tingkat kematian tanaman, nekrosis pada daun, dan akumulasi klorida dalam daun dan batang, serta berkurangnya warna hijau pada daun. Hal tersebut mengakibatkan penurunan biomass tanaman, tinggi tanaman, ukuran daun, hasil biji, kualitas biji, dan kemampuan tumbuh (Able and MacKenize 1964, Parker *et al.* 1983, Yang and Blanchar 1993, Essa 2002).

Salinitas juga berpotensi menghambat pertumbuhan akar, penyesuaian osmotik akar, tekanan akar, pengeluaran ion natrium, dan ekstraksi air (An *et al.* 2002). Nodulasi kedelai juga dipengaruhi oleh cekaman garam. Beberapa kajian menunjukkan bahwa salinitas menurunkan jumlah nodul dan bobot kering tanaman (Bernstein and Ogata 1966, Singleton dan Bohlool 1984). Selain itu, salinitas juga berimbas pada peningkatan natrium dan klorida, mengurangi akumulasi kalium, kalsium dan magnesium pada tanah (Abel 1969, Essa 2002). Salinitas berpengaruh pula terhadap hasil biji kedelai. Penurunan hasil sebanyak 20% dilaporkan terjadi pada salinitas tanah 4,0 dS/m, dan mencapai 66% pada salinitas 5,4 dS/m. Sedangkan pada salinitas tanah 0,8 dS/m tidak menyebabkan penurunan hasil biji kedelai (Katerji *et al.*, 2003 *dalam* Pathan *et al.*, 2007).

Abel (1969) melaporkan bahwa konsentrasi klorida pada daun kedelai yang peka salinitas 10 kali lebih banyak dibandingkan dengan kedelai tahan. Perjalanan ion klorida dari akar menuju batang dan daun pada genotipe tahan sangat lambat. Penelitian Able dan MacKenizi (1964) menunjukkan bahwa perkecambahan benih kedelai varietas/galur B54-842, N53-505, N53-509, Improved Pelican, Lee, dan Jackson berkurang dengan pengaturan kadar natrium klorida. Evaluasi ketahanan terhadap salinitas pada stadia perkecambahan biji canola (Puppala *et al.* 1999) menunjukkan bahwa perkecambahan benih menurun searah dengan kenaikan tingkat salinitas.

Peningkatan salinitas dari 10,1 menjadi 16,2 dS/m menurunkan hampir 40% perkecambahan dibandingkan dengan kontrol. Kegagalan perkecambahan pada tanah salin diakibatkan oleh tingginya konsentrasi garam pada areal penanaman benih, sebagai akibat dari pergerakan ke atas larutan

tanah dan dilanjutkan dengan penguapan pada permukaan tanah. Hal ini berpengaruh terhadap perkecambahan benih dan pertumbuhan tanaman. Penilaian toleransi salinitas pada kacang tanah (Mensah *et al.* 2006) menghasilkan penundaan perkecambahan dan mengurangi presentasi perkecambahan, saat konduktivitas elektrik lebih besar dari 2,60 mS/cm. Vigor kecambah, panjang akar, tinggi tanaman, dan bobot kering tanaman cenderung menurun dengan meningkatnya salinitas. Penelitian Wang dan Shannon (1999) terhadap pertumbuhan kecambah kedelai tercekam salinitas nyata menurunkan daya kecambah pada saat salinitas ekstrak larutan tanah mencapai 11 dS/m. Adanya peningkatan serapan  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  pada kedelai varietas Lee dan Jackson diduga akibat peningkatan konsentrasi NaCl pada larutan nutrisi (Lauchli and Wieneke 1979 *dalam* Wang and Shannon 1999).

Perbedaan toleransi varietas kedelai terhadap salinitas seringkali berhubungan dengan toksisitas klorida. Beberapa daun seperti terbakar diakibatkan oleh tanah mengandung klorida tinggi akibat pemupukan kalium klorida (Parker *et al.* 1983). Kajian Yang and Blanchard (1993) menunjukkan bahwa pengaruh racun klorida pada kedelai dari pemupukan kalium klorida ditentukan oleh dosis klorida dan varietas.

## Modifikasi Genetik

Toleransi tanaman terhadap salinitas merupakan kemampuan tanaman untuk tumbuh dan menyelesaikan daur hidupnya serta mampu memberikan hasil pada cekaman garam. Mekanisme toleransi tanaman terhadap salinitas terdiri atas dua macam yaitu osmotik dan ionik. Pengaruh osmotik merupakan respon cepat dari tanaman yang membatasi penyerapan air akibat salinitas di daerah perakaran. Pengaruh ionik adalah kemampuan tanaman dalam mengatasi keracunan interseluler dari kelebihan ion.

Ketahanan tanaman terhadap salinitas merupakan sifat kompleks yang melibatkan banyak gen, di mana masing-masing gen berkontribusi kecil dan belum diketahui pengaruhnya secara jelas. Identifikasi gen penentu toleransi terhadap salinitas merupakan salah satu prasyarat dalam perakitan varietas toleran salinitas. Sejumlah gen telah diidentifikasi dan diuji pada berbagai tanaman dan beberapa dari gen tersebut terbukti efektif dalam pengaturan toleransi tanaman terhadap salinitas (Tabel 1).

Abel (1969) melakukan studi pewarisan toleransi kedelai terhadap salinitas dengan mengskrinings sejumlah genotipe yang rentan dan toleran salinitas. Kemudian tetua, keturunan F1, dan F2 ditanam pada tanah berkadar garam rendah, dan selanjutnya dilakukan pengayaan kadar garam untuk skrining populasi F2. Dari penelitian tersebut diperoleh nisbah Mendel 3:1, untuk tanaman tanpa nekrosis dengan kadar klorida rendah dan tanaman

Tabel 1. Jenis gen yang terlibat dalam mekanisme toleransi terhadap salinitas.

Gen dan produk	Sumber gen	Spesies yang diuji	Manipulasi Gen	Toleransi garam
<b>Mengurangi absorpsi Na<sup>+</sup></b>				
<i>AtHKT1</i> (pengangkut K <sup>+</sup> dengan daya tarik menarik yang tinggi)	Arabidopsis	Arabidopsis	T-DNAKO	+
<i>HKT1</i> (pengangkut K <sup>+</sup> dengan daya tarik menarik yang tinggi)	Gandum	Gandum	Antisense	+
<b>Mengeluarkan Na<sup>+</sup></b>				
SOS1 (membran plasma antiporter Na <sup>+</sup> /H <sup>+</sup> )	Arabidopsis	Arabidopsis	Overexpression	+
<b>Peningkatan penyimpanan Na<sup>+</sup> vakuola</b>				
<i>YCF1</i> (ABC transporter)	Yeast	Arabidopsis	Overexpression	+
<i>SsVP</i> (Vacuolar H <sup>+</sup> -pyrophosphatase)	Suaeda salsa	Arabidopsis	Overexpression	+
<i>AtNHX1</i> (vacuolar Na <sup>+</sup> /H <sup>+</sup> antiporter)	Arabidopsis	Arabidopsis, B. napus Kapas, Tomat	Overexpression	+
<i>GhNHX1</i> (vacuolar Na <sup>+</sup> /H <sup>+</sup> antiporter)	Cotton	Tembakau	Overexpression	+
<i>NHX</i> (vacuolar Na <sup>+</sup> /H <sup>+</sup> antiporter)	<i>A. gmelini</i>	Padi	Overexpression	+
<i>ACA4</i> (Vacuolar Ca <sup>2+</sup> -ATPase)	Arabidopsis	Ragi	Overexpression	+
<b>Daur ulang Na<sup>+</sup> dari tajuk ke akar</b>				
<i>SKC1</i> (Na <sup>+</sup> -transporter)	Padi	Padi	Map-based cloning	+
<i>AtHKT1</i> (pengangkut K <sup>+</sup> dengan daya tarik menarik yang tinggi)	Arabidopsis	Arabidopsis	Mutasi	++
<b>Mencegah stres oksidatif dan meningkatkan toleransi salinitas</b>				
<i>DhAR</i> (Dehydroascorbate reductase)	Padi, manusia	Arabidopsis, tembakau	Overexpression	+
<i>GmTP55</i> (Antiquitin-like protein)	Kedelai	Arabidopsis, tembakau	Overexpression	+
<i>AAO</i> (ascorbate oxidase)	Arabidopsis, tembakau	Arabidopsis, tembakau	Antisense atau insersi T-DNA	+
<i>AtRab7</i> (vesicle trafficking protein)	Arabidopsis	Arabidopsis	Overexpression	+
<i>GPX</i> (glutathione peroxidase)	Tembakau	Tembakau	Overexpression	+

Tabel 1. Lanjutan

Gen dan produk	Sumber gen	Spesies yang diuji	Manipulasi Gen	Toleransi garam
<b>Pencegahan kematian sel</b>				
<i>shmt1</i> (Serine hydroxymethyltransferase)	Arabidopsis	Arabidopsis	Mutan	-
<i>Bcl-2</i> (Pencegah kematian sel)	Manusia	Ragi	Mutan	+
<b>Pengaturan transkripsi</b>				
<i>CBF3</i>	Arabidopsis	Padi	Overexpression	+
<i>JERF3</i>	Tomat	Tembakau	Overexpression	+
<i>OsDREB1A</i>	Padi	Arabidopsis	Overexpression	+
<i>SNAC1</i>	Padi	Padi	Overexpression	+
<i>STO</i>	Arabidopsis	Arabidopsis	Overexpression	+
<i>ABF2</i>	Arabidopsis	Arabidopsis	Overexpression	+
<i>Tsi1</i>	Tembakau	Tembakau	Overexpression	+
<b>Signal transduksi</b>				
<i>MKK2</i> (Mitogen-activated protein kinase 2)	Arabidopsis	Arabidopsis	Overexpression	+
<i>AtCaMBP25</i> (Calmodulin binding protein)	Arabidopsis	Arabidopsis	Antisense expression	+
<i>NPK1</i> (MAPKKK)	Tembakau	Arabidopsis	Aktivasi dasar	+
<i>BvCKA2</i> (protein kinase CK2)	Tebu	Ragi	Overexpression	+
<i>SOS2</i> (Ser/Thr kinase)	Arabidopsis	Arabidopsis	Mutasi	-
<i>SOS3</i> (Ca <sup>++</sup> -sensor)	Arabidopsis	Arabidopsis	Mutasi	-
<b>Mekanisme yang belum diketahui</b>				
<i>Pc-Strp</i> (Serine-rich-protein)	<i>Porteresia coarctata</i>	Ragi	Overexpression	+
<i>XTH</i>	Merica	Arabidopsis	Overexpression	+
<i>PDH45</i> (DNA helicase)	Kacang polong	Tembakau	Overexpression	+
<i>OsISAP1</i> (Zinc-finger protein)	Padi	Tembakau	Overexpression	+
<i>BADH</i> (betaine aldehyde dehydrogenase)	<i>Daucus carota</i>	<i>Daucus carota</i>	Overexpression	+
<i>ALDH</i> (Aldehyde dehydrogenase)	Arabidopsis	Arabidopsis	Overexpression	+
<i>BveIF1A</i> (Faktor inisiasi translasi)	Tebu	Ragi	Overexpression	+
<i>TPSP</i> (Trehalose production)	<i>E. coli</i>	Padi	Overexpression	+
<i>CDH</i> (Choline dehydrogenase)	<i>E. coli</i>	Tembakau	Overexpression	+

+ Mengurangi akumulasi ion Na<sup>+</sup> dalam akar++ Meningkatkan akumulasi ion Na<sup>+</sup> dalam tajukSumber: Zhou *et al.* 2007

mengalami nekrosis dengan kadar klorida sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa keluar masuknya klorida pada daun dan batang kedelai dikendalikan oleh gen dominan sederhana, dengan simbol gen *Ncl* (toleran) dan *ncl* (rentan).

Salah satu strategi untuk memanfaatkan lahan salin adalah memilih genotipe kedelai yang toleran terhadap kadar garam yang tinggi. Respon toleransi genotipe kedelai terhadap cekaman salinitas dapat berupa (1) pencegahan perpindahan ion dari akar menuju bagian lain tanaman, (2) tidak mengakumulasi banyak garam pada daun dan batang, dan (3) memiliki kemampuan penyesuaian osmotik yang lebih baik pada sel tanaman (Pathan *et al.* 2007). Toleransi kedelai terhadap salinitas juga berkaitan dengan pengaturan kadar air yang stabil dalam tajuk dan akumulasi sakarida terlarut, protein terlarut, asam amino, serta ion  $K^+$  dan  $Ca^+$  untuk penyesuaian osmotik (Abd El-Samad and Shaddad 1997).

Sumber gen kedelai yang berkontribusi terhadap toleransi salinitas dilaporkan di 70 negara. Hasil analisis terhadap asal usul pelepasan varietas kedelai dari tahun 1960 hingga 1990 mengindikasikan bahwa keanekaragaman plasma nutfah kedelai di Amerika Utara bagian selatan lebih sedikit dibandingkan di bagian utara. Hal ini disebabkan oleh hampir 40% plasma nutfah kedelai yang ada di bagian selatan berasal dari genotipe CNS dan S-100 yang toleran salinitas. Varietas Lee (toleran salin) dan tiga saudaranya yang berasal dari persilangan antara S-100 x CNS merupakan sumber utama dari 37% asal usul plasma nutfah kedelai yang ada di bagian selatan. Varietas Lee, Manokin, Centennial, dan masih banyak lagi yang berasal dari penelusuran induk persilangan S-100 x CNS telah banyak digunakan dalam penelitian kegaraman. S-100 merupakan hasil seleksi dari Illini. Sedangkan Illini dan A.K. (Harrow) terseleksi dari A.K., yang dikoleksi dari timur laut Cina pada tahun 1912. Dari penelusuran ini maka dapat diasumsikan bahwa gen toleran salinitas pada aksesori yang ada di Amerika Serikat dimungkinkan berasal dari sumber yang sama (kedelai A.K). Hal ini juga ditunjukkan oleh penelusuran pedigree menggunakan penanda SSR dari QTL toleran salinitas yang berasal dari S-100 (Pathan *et al.* 2007).

Perbedaan toleransi kedelai terhadap salinitas bervariasi antargenotipe. Dalam empat kajian yang berbeda menunjukkan bahwa 32 dari 65 (Parker *et al.* 1986), 10 aksesori dari 15 (Parker *et al.* 1983), 19 dari 60 aksesori (Yang and Blanchard 1993) dan 10 aksesori dari 257 (Shao *et al.* 1995) kedelai Amerika Serikat dan galur hasil pemuliaan telah diidentifikasi sebagai genotipe yang toleran terhadap kadar klorida tinggi. Sejumlah 151 genotipe kedelai lain juga dilaporkan toleran terhadap salinitas (Pathan *et al.* 2007). Fakta ini menunjukkan bahwa peluang untuk mendapatkan sumber gen toleran salinitas cukup tinggi.

Cina merupakan salah satu negara yang aktif melakukan skrining plasma nutfah terhadap salinitas. Dari 10.000 genotipe kedelai Cina, 176 genotipe di antaranya toleran terhadap salinitas pada fase perkecambahan pada tanah

dengan kadar garam tinggi. Delapan genotipe memiliki ketahanan yang sangat tinggi dan 456 genotipe menunjukkan toleransi yang baik pada uji fase kecambah. Beberapa negara lain juga melaporkan bahwa genotipe Flambeau dari Rusia, Bilomi #3 dari Filipina, Fiskeby III dan Fiskeby-840-7-3 dari Swedia (Carter *et al.* 2006), serta Dare (An *et al.* 2002) toleran terhadap salinitas. Hanya beberapa genotipe kedelai liar yang dilaporkan toleran salinitas, di antaranya *G. argyrea* 1626, *G. clandestina* 1388 dan 1389, serta *G. microphylla* 1143 dan 1195, yg memiliki skor klorosis daun yang lebih rendah dibandingkan dengan kultivar *G. max* pada perlakuan 10 g/L NaCl. Beberapa kedelai liar introduksi (*G. soja*), yaitu PI378701A, PI468916, PI483463, PI483468A, dan PI549048 lebih toleran salinitas dibanding Hutcheson yang merupakan varietas sensitif terhadap salinitas (Pathan *et al.* 2007).

Chinnusamy *et al.* (2005) melaporkan bahwa ambang batas untuk mendeteksi toleransi salinitas adalah 3,2 dS/m. Genotipe kedelai menunjukkan perbedaan toleran dan rentan pada 7,5 dS/m, namun semua genotipe rentan pada konsentrasi garam 10,9 dS/m (Ragab *et al.* 1994). Ambang batas natrium klorida pada kedelai liar berkisar antara 3,0-17,5 g/L NaCl, sedangkan untuk *Glycine max* hanya 5,2-8,0 g/L NaCl (Pantalone *et al.* 1997 dalam Wang and Shannon 1999). Lee *et al.* (2004) menggunakan 100 mM NaCl untuk menyeleksi 106 galur murni hasil persilangan. Hasil identifikasi toleransi varietas kedelai Tachiyutaka dan Dare terhadap salinitas (An *et al.* 2002) menggunakan empat macam konsentrasi NaCl (0, 40, 80 dan 120 mM NaCl) pada fase tanaman muda mendapatkan adanya perbedaan yang nyata dari kedua varietas pada konsentrasi 40 mM NaCl. Dalam kondisi tersebut, varietas Dare yang lebih toleran memiliki kemampuan yang lebih baik dalam penyerapan air, tekanan akar, dan penyesuaian osmotik akar. Selain itu, pertumbuhan relatif tajuk dan akar varietas Dare lebih tinggi dan akumulasi Na<sup>+</sup> lebih rendah pada jaringan tanaman dibandingkan dengan varietas Tachiyutaka.

Studi lebih lanjut menunjukkan bahwa *G. max* lebih rentan dalam larutan Cl<sup>-</sup> daripada Na<sup>+</sup> kedelai liar (*G. soja*). Hal ini disebabkan karena perbedaan mekanisme toleransi antara kedelai liar dan kedelai yang dibudayakan (*G. max*). Ketahanan *G. max* sebagian besar disebabkan oleh pencegahan perjalanan ion Cl<sup>-</sup> dari akar menuju bagian lain tanaman untuk menanggulangi akumulasi racun dalam bagian batang dan daun. Toleransi kedelai liar terutama berasal dari kemampuan mengeluarkan ion natrium dari akar pada saat konsentrasi telah bersifat racun pada batang dan daun. Hasil persilangan antara kedelai liar dan kedelai budi daya menghasilkan keturunan yang lebih toleran terhadap stres garam NaCl dan Cl<sup>-</sup> dibandingkan dengan hasil persilangan antar *G. max* yang sama-sama toleran salinitas (Pathan *et al.* 2007). Hal ini mengindikasikan bahwa persilangan interspesifik antara *G. max* dan *G. soja* memberikan peluang dalam pengembangan kedelai toleran salinitas.

## Karakter Morfologi sebagai Tolok Ukur Toleransi

Karakter morfologi dan fisiologi banyak digunakan sebagai tolok ukur penilaian toleransi tanaman terhadap salinitas. Prasyarat pemilihan suatu karakter untuk digunakan sebagai kriteria penyeleksi adalah mudah pengukurannya dan keragaan hasilnya bernilai ekonomis.

Beberapa parameter berikut ini dapat digunakan sebagai indikator toleransi salinitas (FAO 2000):

### Karakter morfologi

Hingga saat ini masih sulit mendapatkan penanda morfologi tunggal yang dapat bertindak sebagai penciri toleran salinitas, namun kombinasi dari beberapa sifat morfologi seringkali mampu mendeteksi ragam toleransi terhadap salinitas. Beberapa penanda morfologi yang dapat digunakan antara lain:

- a. Kajian perkecambahan  
Persentase perkecambahan, panjang calon akar dan koleoptil pada berbagai tingkat stres terhadap salinitas pada berbagai tanaman, merupakan indikator toleran terhadap salinitas yang baik, khususnya pada fase pertumbuhan awal. Kadar garam yang tinggi dapat menunda atau bahkan mengurangi jumlah benih yang berkecambah.
- b. Kelangsungan hidup tanaman  
Cekaman rendah salinitas memang tidak berbahaya bagi tanaman, namun pada kondisi cekaman garam tinggi dapat digunakan sebagai kriteria toleransi tanaman terhadap salinitas, baik pada fase kecambah maupun reproduktif.
- c. Skor pelukaan  
Kelukaan pada bagian tanaman juga dapat digunakan sebagai penciri toleransi tanaman terhadap salinitas. Tingkat kelukaan dapat menggunakan skor 1-5 atau 1-9, skor terendah menunjukkan indikasi toleran, dan skor tertinggi untuk indikasi rentan salinitas.
- d. Penampilan fenotipik  
Ujung daun muda yang keriting dan pertumbuhan tanaman yang terhambat dapat dikategorikan sebagai penampilan fenotipik genotipe di bawah kondisi tercekam.
- e. Hasil biji  
Penurunan hasil sebesar 50% akibat cekaman salinitas dapat dikategorikan sebagai batas kritis seleksi toleransi tanaman terhadap salinitas.

f. Indeks toleransi cekaman rata-rata (*stress tolerance Index*)

Toleransi tanaman yang diukur berdasarkan nisbah hasil biji pada lingkungan normal dan tercekam salinitas efektif digunakan sebagai kriteria seleksi genotipe terhadap salinitas.

### **Karakter fisiologis**

Toleransi tanaman terhadap salinitas merupakan fenomena yang melibatkan berbagai mekanisme dan proses yang kompleks.

a. Penyerapan Na dan K

Secara umum, toleransi varietas terhadap salinitas berhubungan dengan kemampuan untuk membatasi pengambilan ion meracun (contohnya  $\text{Na}^+$ ) dan kemampuan penyerapan ion penyeimbang ( $\text{K}^+$ ). Varietas toleran mempunyai kemampuan untuk mempertahankan keseimbangan antara ion Na dan K dalam kondisi salinitas tinggi. Varietas rentan tidak mampu mengatasi masuknya ion Na secara berlebih ke dalam jaringan tanaman.

b. Rasio Na/K

Meskipun pengambilan ion Na dan K melalui proses yang terpisah, namun rasio Na/K yang rendah merupakan indikasi kemampuan untuk mempertahankan keseimbangan ion.

c. Ketahanan jaringan

Diukur dengan  $\text{LC}_{50}$ , yang merupakan konsentrasi sodium dalam jaringan daun yang dapat menyebabkan kehilangan 50% klorofil. Ini merupakan suatu indikator kerusakan jaringan tanaman akibat kadar garam yang berlebihan. Nilai  $\text{LC}_{50}$  berbeda untuk setiap genotipe dan tidak semua varietas yang mempunyai toleransi jaringan yang tinggi terhadap salinitas.

Kenyataan menunjukkan, walaupun sumber gen toleran salinitas sudah diperoleh dan indikator penilai morfofisiologi telah ditemukan, namun pemuliaan ke arah toleran salinitas masih dianggap sulit dan lamban. Hal ini disebabkan oleh:

1. Perbedaan ketahanan salinitas pada berbagai fase pertumbuhan tanaman.
2. Banyaknya parameter fisiologi yang berkontribusi terhadap toleran salinitas.
3. Kurangnya metode evaluasi untuk toleran salinitas antargenotipe.
4. Efisiensi seleksi yang rendah apabila menggunakan banyak parameter.
5. Interaksi antara sifat ionik dan osmotik garam pada tanaman.
6. Ketidaktuntasan pengetahuan tentang dampak salinitas pada tanaman
7. Interaksi yang kompleks antara salinitas dengan lingkungan pada tanaman toleran salinitas.

Oleh karena itu, beberapa aspek harus dipertimbangkan dalam perakitan tanaman toleran salinitas: (1) evaluasi koleksi plasma nutfah untuk menguji variasi genetik dan melihat apakah seleksi dimungkinkan dalam suatu genotipe, (2) mengidentifikasi tahap fase pertumbuhan pada saat produktivitas paling dipengaruhi oleh salinitas dan menguji apakah hal tersebut dapat diatasi melalui perlakuan agronomis, (3) menguji variasi genetik berbagai sifat di bawah kondisi tercekam salinitas, (4) memilih kriteria seleksi yang tepat, (5) mengidentifikasi sumber gen untuk berbagai sifat toleran salinitas, (6) mengawasi program pemuliaan yang mengkombinasikan berbagai sifat dari berbagai sumber untuk dijadikan genotipe yang beradaptasi lokal sebagai pengembangan terakhir genotipe toleran salinitas, (7) mengembangkan metode skrining yang sederhana, cepat, dan tidak merusak, yang dapat digunakan untuk mengevaluasi toleransi salinitas antargenotipe, dan (8) memilih metode evaluasi yang sesuai untuk mendukung analisis banyak parameter secara serentak dan memudahkan pemberian peringkat terhadap antargenotipe tahan salinitas.

## Kesimpulan

1. Salinitas akan semakin menjadi masalah bagi usahatani tanaman pangan sebagai akibat perubahan iklim global. Salinitas tanah yang tinggi (ESP < 15% atau EC > 4 dS/m) dapat menghambat pertumbuhan kedelai yang berdampak terhadap penurunan hasil.
2. Keanekaragaman genetik merupakan salah satu elemen terpenting untuk dapat mencapai kemajuan genetik dalam pemuliaan tanaman. Tersedianya sumber gen toleran salinitas dalam koleksi plasma nutfah akan memberikan peluang kepada pemulia sebagai dasar perakitan varietas kedelai toleran salinitas.

## Pustaka

- Abd El-Samad, H.M. dan M.A.K. Shaddad. 1997. Salt tolerance of soybean cultivars, *Biologia Plantarum* 39:263-269.
- Abel, G.H. dan A.J. MacKenzie. 1964. Salt tolerance of soybean varieties (*Glycine max* L.Merrill) during germination and later growth. *Crop Sci.* 4:157-161.
- Abel, G.H., 1969. Inheritance of the capacity for chloride inclusion and chloride exclusion by soybeans. *Crop Sci.* 9: 697-698.

- An, P., S. Inanaga, Y. Cohen, U. Kafkafi, and Y. Sugimoto. 2002. Salt tolerance in two soybean cultivars, *J. Plant Nutr.* 25:407-423.
- Beecher, H.G. 2004. Effects of saline irrigation water on soybean yield and soil salinity in the Murrumbidgee Valley. *Australian J. of Exp. Agri.* 34(1):85-91.
- Bernstein, L. and G. Ogata. 1966. Effects of salinity on nodulation, nitrogen fixation and growth of soybeans and alfalfa. *Agron. J.* 58: 201-203.
- Blumwald E. and A. Grover. 2006. Salt tolerance. *In: Nigel G. Halford (Eds.). Plant biotechnology: current and future uses of genetically modified crops.* John Wiley and Sons Ltd, UK, p. 206-224.
- Carter Jr, T. E., H.R. Boerma, G.J. Lee, X. Zhou, M.R. Villagarcia, A. Cardinal, and J.G. Shannon. 2006. On-farm QTL mapping of salt tolerance in the genetic base of North American soybean, The 11th Biennial Conference on the Molecular and Cellular Biology of the Soybean (abstract). August 5-8, 2006, Lincoln, Nebraska.
- Chinnusamy, V., A. Jagendorf, and J.K. Zhu. 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci.* 45:437-448.
- El-Hendawy, S.E. 2004. Salinity tolerance in Egyptian spring wheat genotypes. Desertasi. Universitas Munich-Weihenstephan. Jerman. 116 p.
- Essa, T.A. and D.H. Al-Ani. 2001. Effect of salt stress on the performance of six soybean genotypes. *Pakistan J. of Biological Sci.* 4 (2):175-177.
- Essa, T.A., 2002. Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars. *J. Agron. Crop Sci.* 188:86-93.
- FAO. 2000. Extent and causes of salt-affected soils in participating countries. 193.43.36.103/ag/AGL/agll/spush/topic2.htm (akses 18 Desember 2008).
- Flowers, T.J., A. Garcia, M. Koyama, and A.R. Yeo. 1997. Breeding for salt tolerance in crop plants- the role of molecular biology. *Acta. Physiol. Plant.* 19(4):427-433.
- Gorham, J., 1992. Salt tolerance in plants. *Sci. Progr.* 76:273-285.
- Hollington, P.A. and K.A. Steele. 2007. Participatory breeding for drought and salt tolerant crops (Chapter 18). *In: M.A. Jenks et al. (Eds.). Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops.* p.455-478.
- Lee, G.J., H.R. Boerma, M.R. Villagarcia, X. Zhu, T.E. Carter, Z. Li, and M.O. Gibbs. 2004. A major QTL conditioning salt tolerance in S-100 soybean and descendent cultivars. *Theor. Appl. Genet.* 109:1610-1619.

- Malhotra, R.S. and T. Blake. 2004. Breeding for salinity tolerance. *In: M. Ashraf and P.J.C. Harris (Eds.). Abiotic stresses, plant resistance through breeding and molecular approaches.* Food Products Press, Binghamton, NY. p.125-143.
- Mensah, J.K., P.A. Akomeah, B. Ikhajiagbe, and E.O. Ekpekurede. 2006. Effects of salinity on germination, growth and yield of five groundnut genotypes. *African J. of Biotech.* Vol. 5(20):1973-1979.
- Parker, M.B., G.J. Gascho, and T.P. Gaines. 1983. Chloride toxicity of soybeans grown on Atlantic coast flatwoods soils. *Agron. J.* 75:439-443.
- Parker, M.B., T.P. Gaines, and G.J. Gascho. 1986. Sensitivity of soybean cultivars to soil chloride. *Research Bulletins 347.* The Georgia Agricultural Experiment Stations. University of Georgia. p. 1-14.
- Pathan, S.M.D., J. Lee, J.G. Shannon, and H.T. Nguyen. 2007. Recent advances in breeding for drought and salt stress tolerance in soybean (Chapter 30). *In: M.A. Jenks et al. (Eds.). Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops.* p.739-773.
- Puppala, N., J.L. Fowler, L. Poindexter, and H.L Bhardwaj. 1999. Evaluation of salinity tolerance of canola germination. *In: J. Janick (Eds.). Perspectives on new crops and new uses.* ASHS Press, Alexandria, VA.
- Rachman, A., IGM. Subiksa, dan Wahyunto. 2007. Perluasan areal tanaman kedelai ke lahan suboptimal. *Kedelai: Teknik produksi dan pengembangan*, p. 185-226. Puslitbangtan, Bogor.
- Ragab, A., V.R. Pantalone, W.J. Kenworthy, and B.R. James. 1994. Salt tolerance of soybean in solution culture experiments I. Evaluation of screening technique. *Soybean Genet. Newsl.* 21:274-276.
- Rengasamy, P. 2006, World salinization with emphasis on Australia. *J. Expt. Bot.* 57:1017-1023.
- Shao, G., R. Chang, and Y. Chen. 1995. Screening for salt tolerance to soybean cultivars of the United States. *Soybean Genet. Newsl.* 22:32-42.
- Shereen, A. and R. Ansari. 2001. Salt tolerance in soybean (*Glycine max* L.): effect on growth and water relations. *Pakistan J. of Biological Sci.* 4 (10): 1212-1214.
- Singleton, P.W. and B.B. Bohlool. 1984. Effect of salinity on nodule formation by soybean. *Plant Physiol.* 74:72-76.
- Tunçturk, M., R. Tunçturk, and F. Yasar. 2008. Changes in micronutrients, dry weight and plant growth of soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars under salt stress. *African J. of Biotech.* 7 (11):1650-1654.

- Wang, D. and M.C. Shannon. 1999. Emergence and seedling growth of soybean cultivars and maturity groups under salinity. *Plant and Soil* 214: 117-124.
- Xiong, L.Z. 2002. Salt tolerance. *The Arabidopsis Book* 24(1):1-22.
- Yang, J. and R.W. Blanchar. 1993. Differentiating chloride susceptibility in soybean cultivars. *Agron. J.* 85: 880-885.
- Zhou, F., J. Sasa, and K.A. Feldmann. 2007. High throughput approaches for the identification of salt tolerance genes in plants (Chapter 15). *In: M.A. Jenks et al. (Eds.). Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops.* p.359-379.

## Indeks Judul

Karakter Padi sebagai Penciri Varietas dan Hubungannya dengan Sertifikasi Benih	59
Keberlanjutan Sistem Produksi Padi Sawah	18
Kendali Genetik dan Karakter Penentu Toleransi Kedelai terhadap Salinitas	222
Menyikapi Perkembangan Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan	1
Pengayaan Kandungan Bahan Organik Tanah Mendukung Pato sistem, Strategi, dan Komponen Teknologi Pengendalian Tungro pada Tanaman Padi	202
Pencegahan Infeksi <i>A. flavus</i> dan Kontaminasi Aflatoksin pada Kacang Tanah	194
Pengelolaan Lahan Kering Masam untuk Budi Daya Kedelai	49
Populasi dan Jarak Tanam pada Pola Tumpangsari Ubi Kayu dan Aneka Tanaman Kacang	81
Potensi Arang Hayati sebagai Komponen Teknologi Perbaikan Produktivitas Lahan Pertanian	33
Potensi Tepung Jagung dan Sorgum sebagai Substitusi Terigu dalam Produk Olahan	181
Prospek Ubi Jalar sebagai Bahan Baku Minuman Probiotik	169
Senjang Adopsi Teknologi dan Senjang Hasil Padi Sawah	116
Status Ubi Jalar sebagai Bahan Diversifikasi Pangan Sumber Karbohidrat	69
Strategi Pengendalian Hama Kedelai dalam Era Perubahan Iklim Global	94
Sumbangan Pemikiran bagi Penentu Kebijakan Peningkatan Produksi Kedelai	154
Teknologi Budi Daya untuk Meningkatkan Produksi Ubikayu dan Keberlanjutan Usahatani	131
Verifikasi Metode Penetapan Kebutuhan Pupuk pada Padi Sawah Irigasi	105

## Indeks Penulis

Aan A. Darajat	59
Achmad M. Fagi	1, 154
Anischan Gani	33
Astanto Kasno	81, 194
Ayda Krisnawati	222
Djuber Pasaribu	18
Farid A. Bahar	154
Hasil Sembiring	105
I Nyoman Widiarta	202
Joko Budiarto	154
Lukman Hakim	116
M. Muchlish Adie	222
Marwoto	94
Mohamad Yamin Samaullah	59
Muhammad Muhsin	202
Nani Zuraida	69
Nurwulan Agustian	105
S.W. Indiaty	94
Sarlan Abdulrachman	105
Suarni	181
Subandi	131
Sudaryono	49
Suhartini	169
Sumarno	18, 116
Unang G. Kartasasmita	18, 116
Zulkifli Zaini	116