

Karakter Morfofisiologi dan Agronomi Kedelai Toleran Salinitas

Morpho-physiological and Agronomical Characters of Soybean Tolerant to Salinity

Runik Dyah Purwaningrahyu

Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi
Jl.Raya Kendalpayak Km.8. Kotak Pos 66 Malang 65101, Indonesia
E-mail: runik_dpr@yahoo.com

Naskah diterima 30 Februari 2016, direvisi 13 April 2016, dan disetujui diterbitkan 9 Juni 2016

ABSTRACT

Salt tolerant cultivar of soybean is considered more economical to anticipate the spread of land salinity. Increased salinity in agricultural lands occurred in several places in Indonesia, resulted from the contamination of irrigation water, excessive uses of fertilizers, sea water intrusion and drought stress. To breed the salt tolerant soybean cultivars required knowledge of specific morpho-physiological and agronomical characters which can be used as an indicator of soybean genotypes tolerance to salinity stress. Researchers classified soybeans according to their degree of tolerance to salinity stress, namely sensitive, moderate, and tolerance based on plant characters such as: emergency ability, growth and survival rate, the degree of toxicity due to salt, K^+ , Na^+ and Cl^- concentration in plant tissues, prolines accumulation, electrolyte leakage rates, water content of plant, plant biomass and seed yield or reduced seed yield. Soybean genotypes which could grow and produce seed in soil with the salinity levels of above 5 dS/m is considered as having potential for the tolerant varieties.

Keywords: Soybean, salt tolerance, morpho-physiological, agronomical.

ABSTRAK

Varietas kedelai toleran salinitas lebih ekonomis untuk mengantisipasi meluasnya areal lahan dengan cekaman salinitas. Lahan pertanian di beberapa tempat di Indonesia telah mengalami peningkatan salinitas akibat pencemaran air irigasi, pemupukan berlebihan, intrusi air laut, dan kekeringan. Salah satu cara yang murah dan mudah untuk mengatasi masalah salinitas adalah menanam varietas toleran. Untuk mendapatkan varietas kedelai toleran salinitas diperlukan pengetahuan karakter morfofisiologi dan agronomis yang menjadi indikator toleransi genotipe kedelai terhadap cekaman salinitas. Peneliti mengklasifikasikan genotipe kedelai menurut toleransinya terhadap cekaman salinitas menjadi genotipe peka/sensitif, sedang, dan toleran, berdasarkan karakter seperti persentase tumbuh, kelangsungan hidup tanaman, tingkat keracunan garam secara visual, kadar K^+ , Na^+ dan Cl^- jaringan tanaman, kadar prolin, tingkat kebocoran elektrolit tanaman, kadar air tanaman, biomasa tanaman serta hasil biji atau penurunan hasil biji. Genotipe kedelai yang mampu tumbuh dan menghasilkan biji dengan baik pada kadar salinitas tanah di atas 5 dS/m berpotensi menjadi varietas toleran salinitas.

Kata kunci: Kedelai, salinitas, toleran, morfofisiologi, agronomis.

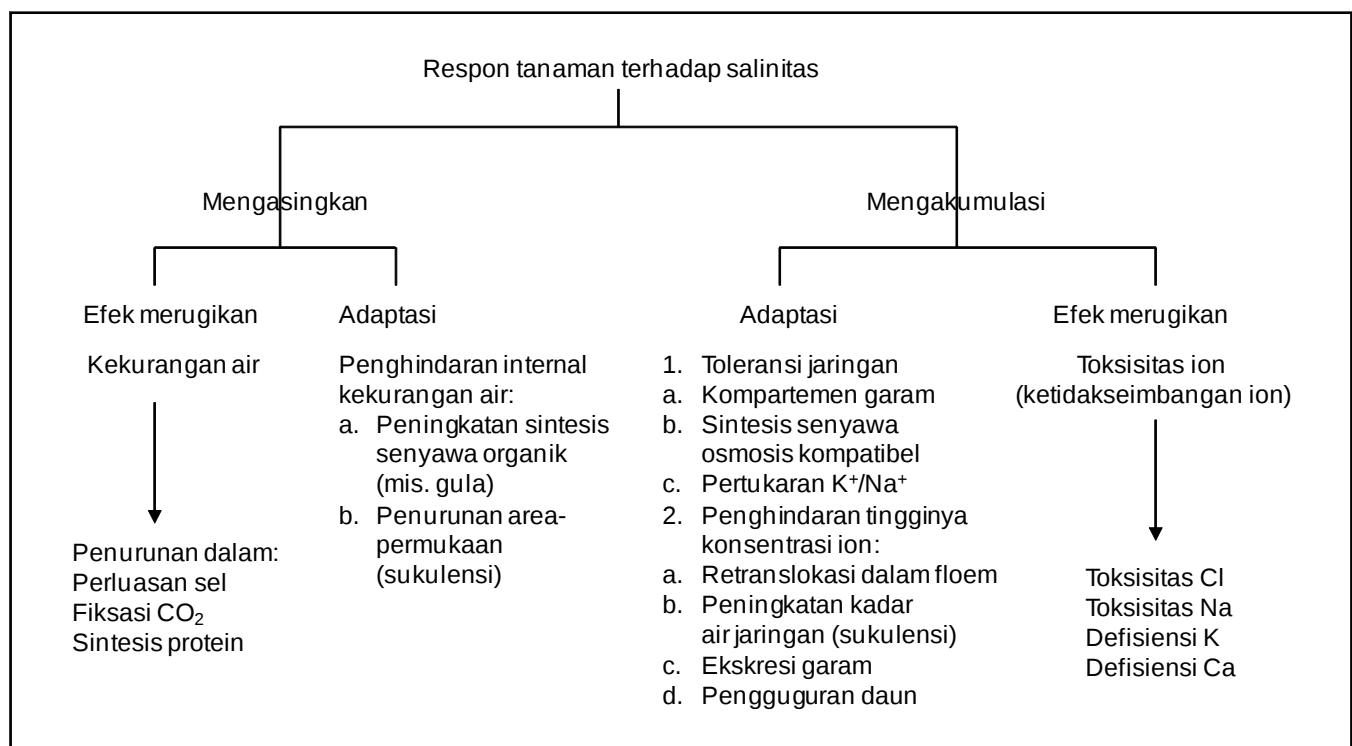
PENDAHULUAN

Perluasan areal tanam kedelai ke lahan suboptimal, termasuk lahan salin, menjadi salah satu strategi dan upaya peningkatan produksi kedelai. Pada lahan optimal, kedelai harus bersaing dengan padi dan jagung. Pengembangan varietas toleran salinitas pada lahan suboptimal diharapkan mampu meningkatkan areal tanam kedelai.

Di beberapa daerah di Indonesia telah terjadi peningkatan salinitas pada lahan pertanian yang kemungkinan besar disebabkan oleh pemupukan kimia dan pestisida berlebihan, pencemaran air irigasi, peningkatan intrusi air laut ke daratan, dan perubahan iklim global (Dajic 2006, Manabe and Stouffer 1994, Yeo 1999). Tanah dikategorikan salin apabila daya hantar listrik (*electrical conductivity*) dari ekstrak pasta tanah jenuh (ECe) lebih dari 4 dS/m (mmho/cm), setara dengan 40 mM NaCl per liter dan persentase natrium dapat ditukar kurang dari 15 (Marschner 1985, Sposito 2008, Gorham 2007). Peningkatan salinitas tanah terjadi di hampir semua wilayah di dunia. Lebih dari 800 juta hektar lahan pertanian di dunia telah terpengaruh oleh garam (tanah salin dan sodik) atau lebih dari 6% luas lahan dunia (FAO 2014). Di Indonesia, luas lahan salin diperkirakan 440.300 ha dengan kriteria agak salin 304.000 ha dan salin 140.300 ha (Rachman *et al.* 2007).

Kedelai tergolong tanaman yang peka salinitas dengan ambang batas toleransi 2-5 dS/m (Maas and Hoffman 1977, Katerji *et al.* 2000). Meskipun demikian masih terbuka peluang untuk meningkatkan batas toleransi salinitas pada varietas kedelai dengan memanfaatkan sumber daya genetik yang ada. Keragaman genetik plasma nutfah kedelai yang tersedia hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal guna memperoleh genotipe toleran salinitas.

Pembentukan varietas kedelai toleran salinitas menjadi pilihan utama dalam meningkatkan produktivitas lahan dibandingkan dengan teknologi penurunan kadar salinitas tanah. Perakitan varietas kedelai toleran salinitas memerlukan pengetahuan tentang perubahan karakter morfologi, fisiologi, dan agronomis kedelai akibat cekaman salinitas. Kajian karakter morfologi dan fisiologi kedelai toleran salinitas bermanfaat untuk mendukung program pemuliaan. Karakter agronomi yang merupakan kombinasi antara karakter genetik dan lingkungan, termasuk di dalamnya mekanisme fisiologi, diharapkan dapat digunakan sebagai indikator toleransi tanaman terhadap cekaman salinitas (Ashraf and Harris 2004). Hal ini berkaitan dengan pengukuran terhadap toleransi salinitas yang sangat kompleks yang disebabkan oleh sebagian besar gen yang mengatur toleransi tanaman terhadap salinitas dan pengaruh lingkungan terhadap tingkat salinitas (Munns 2002).



Gambar 1. Respon dan mekanisme adaptasi tanaman terhadap salinitas (Marschner 1985).

Toleransi tanaman terhadap cekaman salinitas adalah kemampuan tanaman tersebut mencegah agar konsentrasi garam dalam protoplasma tidak berlebihan sehingga mampu bertahan pada konsentrasi garam yang tinggi. Toleransi tanaman terhadap cekaman salinitas dapat dicapai melalui proses pengeluaran atau pengasingan/penyimpanan garam ke bagian tanaman yang tidak ikut aktif dalam proses metabolisme. Adaptasi melalui mekanisme pengeluaran garam diperlukan untuk menghindari terjadinya kekurangan air dalam sel tanaman, sedangkan penyimpanan garam diperlukan untuk menghindari konsentrasi yang tinggi pada bagian tanaman yang berperan dalam proses metabolisme agar pertumbuhan tanaman tidak terganggu (Marschner 1985). Tanaman yang terpapar garam dalam larutan tanah akan mengembangkan respon untuk mengatasi cekaman. Analisis sederhana respon tanaman terhadap cekaman salinitas seperti dijelaskan oleh Munn dan Tester (2008) meliputi dua fase, yaitu fase cepat (cekaman osmotik) yang merupakan respon tanaman untuk meningkatkan tekanan eksternal osmotik, dan fase lambat yang merupakan respon tanaman dalam mengakumulasi Na^+ dalam daun atau disebut juga fase cekaman ionik. Cekaman osmotik akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman dengan segera, sedangkan cekaman ionik berkembang dari waktu ke waktu karena kombinasi dari akumulasi ion pada tajuk dan ketidakmampuan tanaman dalam mentoleransi ion yang telah terakumulasi. Tanaman peka atau toleran salinitas berbeda dalam kemampuan mentoleransi kadar garam hingga tingkat beracun di daun. Jangka waktu terjadinya respon dapat dalam hitungan hari, minggu, atau bulan, bergantung pada spesies dan tingkat salinitas.

Makalah ini membahas karakter morfologi, fisiologi, dan agronomis kedelai toleran cekaman salinitas, yang diharapkan dapat digunakan sebagai indikator genotipe kedelai toleran salinitas. Dari 85 varietas unggul kedelai yang telah dilepas hingga saat ini belum satu pun yang toleran terhadap kadar garam tanah yang tinggi. Keragaman genetik pada plasma nutfah kedelai dapat dimanfaatkan dalam pembentukan varietas unggul toleran salinitas.

TOLERANSI TANAMAN KEDELAJ TERHADAP CEKAMAN SALINITAS

Berdasarkan toleransi terhadap cekaman salinitas, tumbuhan dibagi menjadi dua kelompok: (a) halofita, yaitu tumbuhan yang dapat tumbuh baik pada kadar garam sampai 20% (setara 300 dS/m) dan merupakan tanaman asli tanah salin yang dapat menyelesaikan daur hidupnya pada lingkungan tersebut, dan (b) glikofita (*sweet plants*)

atau nonhalofita, yaitu tumbuhan yang mulai terganggu pertumbuhannya pada kadar garam lebih dari 0,01% (setara 0,15 dS/m) (Dajic 2006). Jumlah halofita hanya 2% dari spesies tumbuhan darat. Pada kelompok tumbuhan nonhalofita atau glikofita, pembagian berdasarkan tanggap tanaman terhadap cekaman salinitas adalah peka, agak toleran, dan sangat toleran.

Pengelompokan jenis tanaman mungkin berbeda di antara peneliti karena perbedaan kriteria klasifikasi terhadap cekaman salinitas yang digunakan. Kedelai termasuk kelompok tanaman moderat peka (berdasarkan perbedaan evaporasi selama periode pertumbuhan), sedangkan tanaman yang sangat peka salinitas adalah *chickpea* (kacang arab) dan lentil. Kelompok tanaman toleran salinitas adalah gandum dan bit gula, kelompok agak peka (moderat) adalah jagung, bunga matahari, dan kentang (Katerji *et al.* 2003, Taiz and Zeiger 2002). Hal ini relatif berbeda dengan pengelompokan menurut Levitt (1980), tanaman kacang-kacangan (*pea*, *bean*) termasuk toleran cekaman garam rendah, sereal (*rye*, *oats*, *gandum*, *barley*) toleran cekaman medium, dan rumput sudan (*sudan grass*) alfafa, bunga matahari, dan bit gula termasuk kelompok toleran salinitas tinggi.

Kedelai diklasifikasikan sebagai kelompok tanaman yang peka cekaman salinitas, dengan ambang batas 5 dS/m. Di atas nilai tersebut, pertumbuhan kedelai menurun (Maas and Hoffman 1977). Katerji *et al.* (2000) menyarankan nilai ambang batas yang lebih rendah, sekitar 2 dS/m. Walaupun demikian, respon kedelai terhadap salinitas berubah sepanjang tahap fenologi tanaman (Khajeh *et al.* 2002). Misalnya, 50% potensi hasil kedelai dicapai pada DHL tanah/ECe 7,5 dS/m, sedangkan kacang tanah pada 4,9 dS/m, kacang faba pada 6,8 dS/m, kacang tunggak pada 4,9 dS/m, dan terendah pada kacang buncis pada DHL tanah 3,6 dS/m (Landon 1984). Pada kadar salinitas 120mM (setara 10 dS/m) terjadi perbedaan respon genotipe kedelai (Valencia *et al.* 2008). Varietas unggul Wilis banyak ditanam di Indonesia, eksplan varietas ini mampu tumbuh pada media kultur jaringan hingga konsentrasi NaCl 8 g/l atau sekitar 12 dS/m (Lubis 2005). Pada fase perkecambahan toleran hingga 8,9 dS/m (Yuniati 2004) dan pada penelitian di rumah kaca hingga fase generatif, varietas Wilis agak toleran hingga salinitas 6 dS/m (Sunarto 2001). Pada penelitian pot, varietas Wilis termasuk toleran cekaman salinitas paling rendah, yakni pada 0,5-5,8 dS/m (Tabel 1).

Kedelai dapat dikelompokkan sebagai glikofita yang peka terhadap salinitas, tetapi di antara genotipe terdapat perbedaan tingkat toleransi terhadap kadar salinitas tertentu. Keragaman toleransi genotipe kedelai terhadap salinitas menunjukkan tanaman ini mempunyai potensi

Tabel 1. Tingkat toleransi beberapa genotipe kedelai terhadap salinitas berdasarkan penurunan hasil biji, indeks kepekaan cekaman, dan skor keracunan visual daun.

Genotipe	Penurunan hasil biji	Indeks kepekaan cekaman	Skor keracunan visual
Toleran hingga salinitas tanah dS/m			
Wilis	5,8	5,8	5,8
Tanggamus	5,8	5,8	5,8
Gema	5,8	5,8	5,8
LK/3474-403	5,8	5,8	5,8
MLG 2805-962	5,8	5,8	5,8
MLG 3474-991	5,8	5,8	5,8
IAC100/Bur/Mabr-10-KP-30-75	5,8	5,8	5,8
SU-7-1014	8,4	8,4	8,4
Argomulyo//IAC100-10-KP-40-120	8,4	12,2	8,4
IAC100/Bur//Malb-10-KP-21-50	12,2	12,2	12,2
Argopuro//IAC100	12,2	12,2	12,2

Purwaningrahyu *et al.* (2015).

Tabel 2. Skor keracunan visual daun kedelai akibat cekaman salinitas.

Pantalone <i>et al.</i> (1997)		Ledesma <i>et al.</i> (2016)	
Skor	Kriteria	Skor	Kriteria
1	Tidak ada gejala klorosis	1	Tanaman normal, ukuran daun normal, hijau segar
2	Gejala ringan (25% daun klorosis),	2	Daun mulai mengecil, warna daun hijau tua
3	Gejala sedang (50% daun klorosis dan nekrosis)	3	Daun klorosis ringan
4	Klorosis parah (75% daun terlihat klorosis dan nekrosis parah)	9	Daun nekrosis parah
5	Tanaman mati (daun terlihat nekrosis parah)		

Tabel 3. Skor keracunan visual, gejala keracunan, respon, klasifikasi dan konsentrasi Cl pada beberapa genotipe kedelai dengan pemberian 100 mM dan 120 mM NaCl.

Genotipe	Skor keracunan		gejala	klasifikasi	Respon	Respon	Cl ⁻ (mg/kg)	
Hutcheson	4.5 ^a	6.7 ^b	Klorosis ^b	Campur (mixed) ^b	peka ^a	Segregasi ^b	4,92 ^a	53,64 ^b
Hartwig	1.3 ^a	5.7 ^b	Klorosis ^b	Campur (mixed) ^b	Toleran ^a	Segregasi ^b	3,19 ^a	55,36 ^b
S-100	1.3 ^a	4.9 ^b	Hijau muda ^b	excluder	Toleran ^a	Toleran ^b	3,34 ^a	45,57 ^b
Forrest	1.1 ^a	6.0 ^b	Klorosis ^b	Campur (mixed) ^b	Toleran ^a	Segregasi ^b	3,16 ^a	59,88 ^b
Williams	-	8,2 ^b	nekrosis	Includer ^b	-	peka ^b	-	97,11 ^b

^a Dong Lee *et al.* (2008) NaCl100 mM, penilaian skor: toleran jika skor ≤ 2,0 dan peka jika skor ≥ 3,0.;

^b Ledesma *et al.* (2016) 120 mM NaCl, skor keracunan visual (LSS) 1= daun hijau sehat dan 9 = nekrosis, LSS ≥ 6,4 includers, LSS ≤ 5,9 excluder, CI ≥ 66,082 includers, CI ≤ 52,148 excluders dan selain itu campur (mixed).

untuk diseleksi guna memperoleh genotipe toleran salinitas hingga kadar tertentu.

KARAKTER MORFOLOGI

Gejala Keracunan Visual

Kadar salinitas tanah yang tinggi berakibat buruk terhadap pertumbuhan kedelai. Secara morfologis, tanaman kedelai yang terpapar garam dalam waktu yang lama mengalami keracunan yang terlihat secara visual. Keracunan garam mempunyai gejala khas seperti yang digambarkan oleh Levitt (1980), akumulasi ion Na dan Cl hingga konsentrasi meracun menyebabkan daun tanaman berwarna kuning/klorosis, nekrosis, tepi daun mengering dan menggulung. Gejala keracunan tersebut juga menurunkan kemampuan fotosintesis sehingga berakibat pada penurunan pertumbuhan tanaman (Munns 2002). Kerusakan daun kedelai yang peka salinitas berasosiasi dengan tingginya kadar Cl pada jaringan tanaman (Abel and Mackenzie 1964).

Genotipe toleran salinitas mempunyai gejala keracunan garam sangat rendah atau bahkan tidak terlihat keracunan dan kadar Cl tanaman relatif lebih rendah (Dong-Lee *et al.* 2008, Yang and Blanchar 1993). Gejala keracunan yang terlihat secara visual dapat dibuat skoring untuk menentukan tingkat toleransi genotipe terhadap cekaman lingkungan. Skor keracunan visual menggunakan skala 1-4 (Pantalone *et al.* 1997) atau yang telah dimodifikasi menggunakan skala 1-9 (Ledesma *et al.* 2016) seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Pengelompokan genotipe juga dapat didasarkan pada kadar Cl akar maupun daun (Tabel 3).

Skor keracunan visual dapat digunakan untuk mengukur toleransi tanaman kedelai terhadap salinitas (Dong Lee *et al.* 2008). Bahkan secara spesifik dapat digunakan untuk mengklasifikasikan galur kedelai apakah

termasuk genotipe peka atau toleran Cl dengan melihat gejala keracunan visual (Valencia *et al.* 2008).

Gejala keracunan garam secara visual dapat digunakan untuk mengetahui tanggapan genotipe kedelai terhadap cekaman salinitas secara mudah setelah tanaman terpapar salinitas dalam kurun waktu tertentu. Gejala keracunan visual yang dinilai berdasarkan tingkat keparahan keracunan dapat dibuktikan secara kuantitatif dengan mengukur kadar Cl dan Na pada akar dan daun serta kadar klorofil daun. Oleh karena itu, untuk menilai toleransi salinitas genotipe kedelai perlu menggunakan beberapa peubah lain sebagai pendukung.

Trikoma Daun

Trikoma merupakan struktur khusus uniseluler atau multiseluler yang berasal dari lapisan sel epidermis, banyak terdapat pada beberapa spesies tanaman, dan sering berbentuk kelenjar yang mengeluarkan berbagai senyawa asam organik, polisakarida, terpen, nektar maupun garam (Werker 2000). Trikoma yang lebih rapat dan panjang kemungkinan berfungsi seperti kelenjar yang dapat mengeluarkan garam. Pada kedelai liar (*Glycine soja*) yang tumbuh di muara sungai Kuning di Propinsi Shandong China ditemukan semacam struktur kelenjar garam pada daun dan batangnya (Lu *et al.* 1998). Pada kedelai yang telah dibudidayakan juga dilaporkan adanya semacam struktur kelenjar garam (Li *et al.* 2003). Pada mentimun, peningkatan salinitas memacu tanaman lebih banyak membentuk trikoma pada lapisan epidermal dibandingkan dengan tanaman kontrol (Dolatabadian *et al.* 2011). Kondisi ini kemungkinan merupakan mekanisme tanaman untuk meningkatkan toleransinya terhadap cekaman salinitas. Dalam hal ini trikoma glandular berperan mengekskresi ion dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap garam (Gucci *et al.* 1997).

Genotipe kedelai toleran salinitas mempunyai kerapatan trikoma pada permukaan atas maupun bawah daun dan lebih rapat dibandingkan genotipe yang peka salinitas. Dolatabadian *et al.* (2011) menemukan hal yang sama pada tanaman mentimun yang tumbuh pada kondisi cekaman salinitas, peningkatan kadar garam akan memacu lebih banyak terbentuknya trikoma pada lapisan epidermal dibandingkan dengan tanaman kontrol.

Trikoma daun kemungkinan dapat memperkecil transpirasi tanaman, sehingga lebih mampu mengatur keseimbangan air dalam tubuhnya. Hal ini terlihat dari kadar air relatif daun yang cukup tinggi. Penelitian terhadap semanggi merah (*Trifolium pratense* L.) menunjukkan trikoma non glandular nyata meningkatkan retensi air daun pada cekaman kekeringan, karena daun

membatasi penguapan dan mendukung fungsi stomata daun (Naidenova and Georgiev 2013). Kecukupan air dalam jaringan tanaman akan memperkecil penyerapan air dari tanah, sehingga ion Na^+ dan Cl^- yang larut dalam air akan lebih sedikit terikut ke dalam akar hingga ke seluruh organ tanaman. Kerapatan trikoma pada daun juga berperan dalam mengekskresi garam. Dengan semakin banyaknya trikoma daun, kemungkinan tanaman lebih banyak mengeluarkan garam, hingga berada pada batas yang tidak meracuni.

Stomata

Stomata merupakan pori mikroskopis pada permukaan daun yang berfungsi sebagai organ transpirasi bagi tanaman. Dalam hubungannya dengan keseimbangan air tanaman, ion K^+ dan Cl^- berperan dalam pengaturan osmotik tanaman. Pada kadar ion K^+ yang lebih banyak, tanaman lebih mampu menjaga keseimbangan air dalam tubuhnya sehingga tidak terjadi dehidrasi. Ion K^+ adalah kation paling banyak dalam sitoplasma dan garam K mempunyai kontribusi utama dalam potensial osmotik sel dan jaringan pada spesies tanaman glikofita. Fungsi K yang berkaitan dengan konsentrasi K dalam vakuola adalah perluasan sel dan proses pengaturan turgor (Marschner 1985). Ion K berperan dalam pembukaan stomata daun. Komponen dari motor osmotik tanaman adalah K^+ dan Cl^- yang masuk dalam sitoplasma sel penjaga dan vakuola untuk mendorong pembentukan turgor. Selain penyerapan Cl^- dari media, sintesis malat²⁻ berperan dalam akumulasi anion. Setelah terjadi gradien osmotik, air akan masuk kemudian stomata membuka (Kaldehoff *et al.* 1995). Penutupan stomata merupakan upaya tanaman untuk menghindari transpirasi yang berlebihan. Seperti pada spesies *Crotalaria*, cekaman salinitas menyebabkan penurunan jumlah stomata dan pada genotipe yang peka salinitas stomatanya menutup (Kadam and Pravin 2010).

Cekaman salinitas menyebabkan cekaman osmotik dengan penurunan turgor tanaman. Pengaruh cekaman salinitas terhadap stomata daun menurunkan jumlah stomata pada tanaman peka salinitas dan menutup stomata untuk mengatur keseimbangan air dalam jaringan daun. Penutupan stomata merupakan upaya tanaman untuk menghindari transpirasi yang berlebihan.

Nodulasi Akar

Proses pembentukan bintil akar kedelai sangat peka terhadap kadar NaCl. Kadar NaCl rendah (26,6 mM NaCl) menyebabkan penurunan jumlah dan bobot bintil akar. Pada perkembangan bintil akar yang diindikasikan oleh bobot bintil dan fungsi bintil (aktivitas nitrogenase) akar

relatif kurang sensitif daripada saat inisiasi bintil akar. Kegagalan nodulasi terutama disebabkan oleh efek salinitas pada situs infeksi akar tanaman (Singleton and Bohlol 1984). Garam menunjukkan efek penghambatan yang lebih besar pada nodulasi dengan kadar 0,1% NaCl melalui penurunan jumlah bintil akar dan bobot bintil akar daripada pertumbuhan tanaman (Shereen *et al.* 1998). Pengukuran toleransi salinitas menggunakan bintil akar dapat digunakan sebagai data dukung pengamatan. Peubah yang dapat digunakan dalam hal ini adalah jumlah bintil akar, bobot bintil, dan aktivitas fungsi bintil seperti nitrogenase.

KARAKTER FISILOGI

Karakter fisiologi tanaman kedelai yang dipengaruhi oleh kadar salinitas tanah yang tinggi adalah sebagai berikut:

1. Kebocoran elektrolit daun

Cekaman garam pada tanaman menyebabkan kerusakan membran yang terlihat dari kebocoran elektrolit daun (Ghoulam *et al.* 2002). Peningkatan kebocoran elektrolit yang disebabkan oleh salinitas meningkatkan permeabilitas membran plasma. Menurut Mansour (2013), ion yang bocor dari potongan daun saat pengukuran kebocoran elektrolit daun terutama melalui protein transpor membran (channels/saluran dan carriers/pembawa) dan bagian lipid membran. Peningkatan permeabilitas membran plasma diinduksi oleh cekaman garam, yang mencerminkan perubahan pada kedua komponen membran (protein dan lipid). Selain itu, kebocoran elektrolit terjadi karena kerusakan pigmen fotosintesis (Cha-um *et al.* 2010). Hal ini mengindikasikan kebocoran elektrolit dapat digunakan sebagai pengukuran perubahan permeabilitas membran plasma yang dikendalikan oleh transpor protein membran (Serrano *et al.* 1999, Jacobs *et al.* 2011). Kebocoran elektrolit juga dapat digunakan sebagai indikator kerusakan plasma membran terhadap cekaman salinitas dan menjadi kriteria efektif dalam skrining genotipe terhadap cekaman salinitas.

Genotipe yang mempunyai tingkat kebocoran elektrolit daun yang rendah mengindikasikan toleransi terhadap cekaman salinitas lebih tinggi. Selain melalui daun, kebocoran elektrolit tanaman dapat pula diukur melalui akar maupun batang tanaman.

2. Pengaturan osmotik

Konsentrasi garam tinggi yang terkandung dalam media tanam/tanah dapat menurunkan ketersediaan dan penyerapan air bagi tanaman, sehingga tekanan akar

terhadap *xilem* yang akan mengangkut air dan larutan nutrisi menjadi rendah. Hal ini akan mengakibatkan laju suplai air dan nutrisi ke bagian tunas tanaman terhambat. Pengaturan osmotik akibat cekaman salinitas dilakukan tanaman dengan mengakumulasi ion anorganik atau senyawa organik (*compatible osmolytes*) tertentu. Pengaturan osmotik oleh sel bertujuan agar potensial air sel menurun tanpa diikuti oleh penurunan turgor sel. Pengaturan osmotik pada tanaman yang mengalami cekaman salinitas dapat terjadi dengan mengakumulasi ion anorganik dan atau asam organik (*organic solutes*) pada konsentrasi tinggi. Senyawa organik pada tanaman akibat cekaman salinitas ditemukan dalam bentuk senyawa gula, asam organik, *polyol* dan nitrogen, termasuk di dalamnya asam amino, amida, ektoin, protein, dan senyawa amonium (Ashraf and Harris 2004, Ashraf 2004).

Ada tanaman yang mampu melakukan pengeluaran garam (*salt exclusion*) sebagai mekanisme utama toleran salinitas. Garam akan dikeluarkan dari meristem, terutama ke tajuk dan daun yang telah membuka sempurna dan aktif melakukan fotosintesis. Akumulasi senyawa organik atau ion anorganik berguna untuk mencapai keseimbangan osmotik. Sebaliknya, terdapat tanaman yang melakukan pemasukan garam (*salt inclusion*), yang merupakan mekanisme pengaturan osmotik dengan mengakumulasi ion anorganik seperti ion Na^+ dan Cl^- pada organ, jaringan maupun sel (Greenway and Munns 1980, Ashraf 1994). Dua proses interseluler dapat menurunkan potensial air larutan, yaitu akumulasi ion dalam vakuola dan sintesis senyawa organik dalam sitosol. Senyawa organik termasuk *glycine betaine*, *proline*, *sorbitol*, *manitol*, *pinitol* dan *sucrose*. Sejumlah karbon yang digunakan untuk mensintesis asam organik tersebut lebih besar 10% dari bobot tanaman. Pada vegetasi alami, penggunaan karbon untuk mengatur potensial air tidak berpengaruh terhadap kelangsungan hidup tanaman tetapi dapat mereduksi biomasa dan hasil panen tanaman budi daya (Taiz dan Zeiger 2002). Selain senyawa organik, tanaman yang mengalami cekaman salinitas juga mempengaruhi aktivitas sejumlah enzim. Peningkatan kadar salinitas pada media menyebabkan kecambah kedelai mengalami penurunan aktivitas sejumlah enzim antioksidan superoksida dismutase, katalase, dan kegiatan peroksidase pada kadar 100 dan 200 mM NaCl (Amirjani 2010).

Tanaman yang tumbuh pada kondisi tercekam mengakumulasi asam amino, di antaranya prolin, demikian pula pada cekaman salinitas. Prolin mengatur penggunaan nitrogen termasuk jenis osmotik yang sangat aktif berperan dalam stabilitas membran dan menurunkan efek gangguan membran sel akibat keracunan NaCl (Ashraf and Harris 2004). Akumulasi prolin dan diamina

oksidase (DAO) meningkat pada kecambah kedelai yang terpapar garam 50-200mM NaCl (Amirjani 2010). Hal ini juga terjadi pada *Phaseolus aureus* genotipe T-44 (toleran salinitas), lima kali lipat lebih banyak dibandingkan dengan kadar prolin genotipe SML-32 (sensitive salinitas) (Misra dan Gupta 2005).

Peran prolin sebagai osmoprotektan pada tanaman kedelai yang terpapar salinitas tinggi belum jelas karena adanya beberapa penemuan yang berbeda. Pada kedelai varietas Maple arrow dengan penurunan hasil 55% di bawah kondisi cekaman garam, tidak ada perubahan kandungan prolin (Karckhard and Guerrier 1995). Sebaliknya, Mofthah dan Michel (1987) melaporkan kedelai varietas Bragg peka salinitas mengakumulasi prolin lebih banyak daripada varietas toleran salinitas Ranson. Hal yang sama terjadi pada kalus padi varietas peka salinitas yang menunjukkan akumulasi prolin lebih banyak. Pada varietas toleran salinitas, akumulasi Na dan Cl lebih sedikit. Disimpulkan prolin pada kondisi cekaman salinitas pada kalus padi merupakan gejala awal keracunan dibandingkan dengan indikator toleran salinitas, dan toksisitas ion spesifik menunjukkan komponen seluler toleransi salinitas (Lutts *et al.* 1996).

Akumulasi prolin sebagai indikator toleran salinitas terlihat dari peningkatan prolin akibat peningkatan salinitas. Kultivar kedelai toleran salinitas Clark dan Forrest mengakumulasi lebih banyak prolin, K^+ dan Ca^{2+} , dibandingkan dengan kultivar peka salinitas Kint (Abd El-Samad and Shaddad 1997). Peningkatan salinitas meningkatkan kadar prolin pada genotip toleran salinitas seperti pada padi aromatik (Summart *et al.* 2010), *Beta vulgaris* (Gzik 1996), Alfalfa (Petrusa and Winicov 1997) pada kacang hitam (blackgram) (Ashraf 1989). Hal yang sama terjadi pada kedelai toleran salinitas (Pusa-37), kadar prolin meningkat 1,8 kali lipat dengan peningkatan dosis NaCl (Hakeem *et al.* 2012). Peningkatan akumulasi prolin adalah respon nonspesifik terhadap potensial air yang rendah pada media tumbuh. Peranan prolin yang lain seperti dalam perlindungan enzim (Solomon *et al.* 1994) dan struktur selular (Van Rensburg *et al.* 1993), bertindak sebagai penampung radikal bebas (Alia *et al.* 1995) dan dalam stabilitas membran serta meringankan pengaruh gangguan membran sel akibat keracunan NaCl (Ashraf and Harris 2004).

Peningkatan DHL tanah menyebabkan tanaman mengalami cekaman osmotik yang terlihat dari rendahnya kadar air relatif daun dibandingkan dengan kondisi optimal (DHL tanah < 2 dS/m). Kadar garam yang tinggi pada zona akar menyebabkan potensial osmotik larutan tanah menurun. Hal ini mengakibatkan tanaman kesulitan menyerap air karena air terikat kuat oleh partikel-partikel tanah yang akhirnya dapat menyebabkan kekeringan

fisiologis pada tanaman (Jahromi *et al.* 2008). Cekaman osmotik akibat peningkatan kadar salinitas juga terlihat dari kadar air relatif daun yang semakin menurun dengan meningkatkan salinitas tanah. Cekaman salinitas menyebabkan tanaman menderita kekeringan fisiologis, sehingga tidak dapat menyerap air secara optimal, akibatnya kadar air relatif tanaman (daun) akan menurun. Penurunan kadar air relatif daun menurunkan tekanan turgor yang mengganggu proses perluasan sel tanaman karena kehilangan banyak air (Katerji *et al.* 1997). Cekaman salinitas mengakibatkan cekaman osmotik yang dapat berakibat pada dehidrasi sel. Dehidrasi menurunkan tekanan osmotik dan potensial sel serta volume sel (Levitt 1980). Kandungan air relatif daun kedelai semakin menurun dengan meningkatnya salinitas dilaporkan oleh Weisany *et al.* (2011), Wu *et al.* (2014), juga pada beberapa varietas bit gula (Ghoulam *et al.* 2002). Hal yang sama terjadi pada tanaman strawberi (Turhan and Eris 2009), dan gandum (Marvi *et al.* 2011). Pada kondisi cekaman salinitas tinggi, kultivar kacang hitam (blackgram) toleran salinitas mampu mempertahankan potensial air daun dan potensial turgor daun (Ashraf 1989). Peningkatan kadar air relatif daun pada genotipe toleran salinitas berkaitan dengan kadar ion K tanaman, trikoma daun, dan mekanisme stomata daun.

3. Klorofil daun

Daun adalah organ fotosintetik yang mudah dikenali gejalanya apabila tanaman mengalami keracunan garam. Perubahan pigmen hijau daun dapat diukur menggunakan klorofilmeter misalnya SPAD-502 yang dikenal sebagai indeks kehijauan daun atau secara kuantitatif dengan mengukur kadar klorofil daun menggunakan metode spektrofotometer. Kadar klorofil daun nyata dipengaruhi oleh kadar salinitas tanah.

Peningkatan salinitas tanah nyata menurunkan kadar klorofil a, b dan ab daun kedelai (Weisany *et al.* 2011). Hal yang sama terjadi pada mentimun yang tumbuh pada kondisi salin. Penurunan kadar klorofil mungkin disebabkan oleh peningkatan degradasi klorofil dan hambatan sintesis pigmen (Stepien and Klobus 2006). *Phaseolus aureus* di bawah kondisi cekaman NaCl (Misra and Gupta 2005) menunjukkan gejala yang sama. Salinitas menurunkan ketersediaan nitrogen, yang menjadi salah satu alasan menurunnya kadar klorofil (Parashar and Verma 1993), di samping akibat kerusakan struktur kloroplas dan ketidakstabilan pigmen protein kompleks (Singh and Dubey 1995). Meskipun demikian, beberapa genotipe menunjukkan kemampuan aktivitas klorofil daun mendekati kemampuan menahan degradasi enzim klorofilase (Reddy and Vora 1986). Genotipe

kedelai yang terindikasi toleran salinitas mempunyai kadar klorofil daun lebih banyak dibanding varietas peka. Kondisi seperti ini terjadi pada kacang hitam dengan peningkatan NaCl, kultivar toleran salinitas (cv. Candhari Mash) mempunyai kadar klorofil a, b dan total klorofil lebih banyak dibandingkan dengan kultivar peka Mash 654 (Ashraf 1989).

4. Kadar K, Na dan Cl tanaman

Toleransi terhadap salinitas berkaitan dengan kadar ion K^+ , Na^+ dan Cl^- dalam jaringan tanaman. Ion K^+ dan Cl^- berperan dalam pengaturan osmotik tanaman. Dengan kadar ion K^+ yang lebih banyak, tanaman lebih mampu menjaga keseimbangan air di tubuhnya sehingga tidak terjadi dehidrasi. Ion K^+ adalah kation paling banyak dalam sitoplasma dan garam K mempunyai kontribusi utama dalam potensial osmotik sel dan jaringan pada spesies tanaman glikofita. Ion K yang berkaitan dengan konsentrasi K dalam vakuola berfungsi dalam perluasan sel dan proses pengaturan turgor (Marschner 1985). Ion K berperan dalam pembukaan stomata daun. Komponen dari motor osmotik tanaman adalah K^+ dan Cl^- yang masuk dalam sitoplasma sel penjaga dan vakuola untuk mendorong pembentukan turgor. Selain penyerapan Cl^- dari media, sintesis malat²⁻ berperan dalam akumulasi anion. Setelah terjadi gradien osmotik, air akan masuk kemudian stomata membuka (Kaldehoff *et al.* 1995). Penutupan stomata merupakan upaya tanaman untuk menghindari transpirasi yang berlebihan. Seperti pada spesies *Crotalaria*, cekaman salinitas menyebabkan penurunan jumlah stomata dan stomata genotipe peka salinitas menutup (Kadam dan Pravin 2010).

Toleransi tanaman terhadap cekaman salinitas banyak dikaitkan dengan imbalan K^+/Na^+ jaringan tanaman. Peningkatan kadar Na^+ dalam jaringan tanaman dan penurunan penyerapan K^+ mengganggu keseimbangan ion dalam tanaman akibat cekaman salinitas. Penurunan konsentrasi K^+ dalam jaringan tanaman mungkin karena kompetisi ion antara K^+ dan Na^+ pada membran plasma. Penghambatan Na^+ pada proses transportasi K^+ dalam xilem dan atau Na^+ yang diinduksi oleh K^+ keluar dari akar. K^+ dan Ca^{2+} berperan dalam pengaturan sel osmotik pada kondisi stres beberapa spesies tanaman (Santos-Diaz and Alejo-Ochoa 1994, Hirschi 2004).

Ion yang bersifat meracun dalam konsentrasi tinggi adalah Cl^- . Akumulasi Cl^- pada jaringan akar mengganggu mekanisme penyerapan ion, sehingga terjadi peningkatan translokasi Cl^- ke tajuk tanaman (Turan *et al.* 2009). Pada saat NaCl diberikan ke tanah, kadar K dalam tanaman akan menurun karena antagonisme antara Na^+ dan K^+ (Alberico and Cramer 1993, Azevedo and Tabosa 2000).

NaCl yang berlebihan akan memicu kehilangan K^+ melalui depolarisasi membran oleh ion Na^+ (Mansour 1997). Tingginya kadar Na^+ menghambat penyerapan K^+ sebagai akibat peningkatan rasio Na^+/K^+ (Weimberg 1987, Summart *et al.* 2010).

Tanaman menggunakan tiga cara untuk mengatasi cekaman salinitas, yaitu melalui pengeluaran Na^+ jaringan, pengasingan Cl^- , dan ekskresi Cl^- (Zhang *et al.* 2001). Kebanyakan tanaman pada saat mengalami cekaman salinitas akan mengakumulasi sejumlah besar Na^+ dan Cl^- pada akar dan mengeluarkannya melalui tajuk (Wyn Jones 1981, Ashraf 1994). Rendahnya laju Na^+ dan Cl^- ke jaringan tanaman adalah salah satu komponen adaptasi penting tanaman terhadap cekaman salinitas (Munns 2002). Hal yang sama terjadi pada *Sesbania aculeata* yang lebih toleran terhadap salinitas dibandingkan dengan *Phaseolus vulgaris* dengan cara mengakumulasi lebih sedikit Na^+ dan Cl^- pada bintil akar dan Cl^- pada daun (Ashraf and Bashir 2003). Penelitian menunjukkan kadar klorida daun yang rendah dapat digunakan sebagai indikator toleransi cekaman salinitas pada genotipe jeruk. Genotipe jeruk toleran garam mengakumulasi sedikit Na^+ dan Cl^- serta menurunkan pertumbuhan (Hussain *et al.* 2012). Pada kacang arab (*chick pea*), kadar K^+ dan Na^+ pada akar dan tajuk menurun pada semua kultivar. Kultivar toleran salinitas mempunyai K^+/Na^+ yang lebih tinggi pada tajuk dibanding akar, sedangkan kultivar peka salinitas mengakumulasi sedikit Na^+ pada akar dibanding tajuk. Tingginya toleransi salinitas kultivar kacang arab berhubungan dengan meningkatnya osmoregulasi melalui penurunan transport ion Na^+ dari akar ke tajuk (Tejera *et al.* 2006).

Tingginya konsentrasi Cl^- dapat menyebabkan kerusakan membran atau menghambat enzim yang berpengaruh negatif pada proses fotosintesis (Seeman and Critchley 1985). Berkaitan dengan adanya substitusi ion K^+ oleh Na^+ pada kondisi cekaman salinitas kedelai diklasifikasikan sebagai kelompok natrofobik atau tidak dapat disubstitusi dengan Na^+ . Pada kacang buncis, potensi substitusi K^+ oleh Na^+ sangat terbatas (Marshner 1985). Plasma nutfah kedelai toleran salinitas juga mengakumulasi lebih sedikit Na dalam daunnya (Li *et al.* 2006). Pada kultivar kedelai Lee yang toleran salinitas mengakumulasi lebih sedikit Na dan Cl pada akar dan daun dibandingkan dengan kultivar Coquit dan Clark 63 pada kondisi cekaman salinitas (Essa 2002). Pada genotipe kacang tunggak (*Vigna unguiculata* L. Walp.), konsentrasi Cl lebih tinggi pada tajuk daripada akar dan semakin meningkat dengan meningkatnya salinitas. Konsentrasi Na^+ meningkat dengan meningkatnya salinitas. Namun, pada genotipe toleran dan moderat salinitas, konsentrasi Na^+ pada akar lebih banyak daripada tajuk. Pada genotipe cukup peka dan peka

salinitas, Na^+ lebih tinggi pada tajuk daripada akar (Amador *et al.* 2006).

Konsentrasi K dan Na pada daun kedelai lebih tinggi daripada jaringan akar. Kandungan K dan Na di daun dan akar meningkat pada semua genotipe kedelai apabila salinitas tanah meningkat 1,52-8,58 dS/m, kecuali pada genotipe Argopuro//IAC 100 (Aini *et al.* 2014). Menurut Greenway dan Munns (1980), toleransi salinitas pada tanaman glikofit dikaitkan dengan kemampuan tanaman membatasi penyerapan dan atau transportasi ion garam (terutama Na^+ dan Cl^-) dari akar ke tajuk tanaman. Hal yang sama ditemukan pada padi (Flowers and Yeo 1981, 1986), pada padi, kedelai, kacang azuki, labu, dan mentimun (Lo'pez *et al.* 1999), selada (Shannon *et al.* 1983), kacang hijau (Salim and Pitman 1988), halofit dikotil (Glenn and O'Leary 1984), turfgrasses (rumpun rumput) (Marcum and Murdoch 1990), gula bit (Marschner *et al.* 1981), mentimun (Jones *et al.* 1989), lada (Chartzoulakis and Klapaki 2000), dan jagung (Schubert and La'uchli 1990).

KARAKTER AGRONOMIS

Kelangsungan hidup tanaman adalah kriteria utama dalam mengklasifikasikan genotipe tanaman toleran cekaman lingkungan, termasuk cekaman salinitas (Amador *et al.* 2006). Masa perkecambahan biji termasuk fase kritis tanaman dalam memulai tahapan pertumbuhannya. Fase selanjutnya adalah pertumbuhan vegetatif dan generatif yang sangat dipengaruhi oleh cekaman salinitas. Peningkatan cekaman salinitas menyebabkan penurunan pertumbuhan kedelai, yang tercermin dari penurunan bobot kering akar dan tajuk. Kondisi ini seperti terjadi pada penambahan NaCl 100mM pada kedelai cv.L17 (Dolatabadian *et al.* 2011), juga pada spesies kedelai (*G. soja*, *G. Tomentella*, dan *G. tabacina*) (Kao *et al.* 2006). Penurunan bobot tajuk dan akar juga terjadi pada tanaman kacang-kacangan lain akibat cekaman salinitas, seperti kacang faba (Cordovilla *et al.* 1999), pada kacang hijau (Elahi *et al.* 2004), pada chick pea/kacang arab (Katerji *et al.* 2001).

Salinitas umumnya menekan pertumbuhan kedelai pada berbagai fase pertumbuhan. Seperti yang dilaporkan oleh Valencia *et al.* (2008), bobot kering relatif tajuk dan akar enam genotipe kedelai menurun secara linear dengan peningkatan kadar Cl^- akar. Pertumbuhan akar tanaman nonhalofit pada media garam lebih rendah daripada pertumbuhan tajuk (Munns and Termaat 1986). Total bobot kering relatif yang diikuti oleh bobot kering tajuk relatif, bobot kering tangkai daun relatif, bobot kering daun relatif merupakan variabel diskriminan/pembeda untuk mengklasifikasikan toleransi genotipe kedelai

terhadap cekaman salinitas. Bobot kering akar relatif termasuk variabel penting sekunder dalam pengelompokan toleransi salinitas (Mannan *et al.* 2010).

Pengelompokan genotipe pada tingkat toleransi cekaman salinitas tertentu berdasarkan bobot biomassa, seperti pada kacang tunggak (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Biomassa dipengaruhi oleh tingkat salinitas. Genotipe toleran dan moderat toleran salinitas mempunyai biomassa lebih tinggi daripada genotipe yang tergolong cukup sensitif salinitas (Amador *et al.* 2006). Pada kadar salinitas 10 tanah dS/m, semua genotipe kedelai tidak mampu bertahan hingga umur 43 hari setelah tanam. Pada kadar salinitas 4 dS/m, bobot kering semua genotipe kedelai mengalami penurunan 48,1%, sedangkan pada kadar salinitas 7 dS/m terjadi penurunan bobot kering tanaman 64,9% (Aini *et al.* 2014). Biomasa tajuk tanaman kedelai 25% lebih rendah dibanding kontrol pada saat tanaman diairi dengan air salin 4 dS/m. Salinitas masuk melalui daun yang berpengaruh terhadap fase pengisian biji dan menurunkan produksi biji kedelai (80%) ketika kadar salinitas pada air irigasi melampaui 2 dS/m (Bustingorri and Lavado 2013).

Pada tanaman yang peka salinitas, kadar garam yang tinggi menghambat pertumbuhan dan perluasan daun, selanjutnya berpengaruh terhadap penurunan hasil biji. Selain itu cekaman salinitas menyebabkan terjadinya penuaan daun yang lebih cepat sehingga menurunkan hasil biji (Cabot *et al.* 2014). Hal ini terlihat dari komponen hasil dan hasil biji kedelai yang menurun dengan peningkatan salinitas. Pada genotipe toleran, penurunan hasil dan komponen hasil relatif lebih kecil dibanding genotipe peka salinitas. Komponen hasil dan hasil biji penting untuk mengetahui tingkat toleransi tanaman terhadap salinitas sehingga dapat digunakan untuk penapisan genotipe kedelai toleran salinitas. Hal yang sama dilaporkan pada kacang tanah (Singh *et al.* 2008) dan kacang hijau (Ahmed 2009).

Kedelai termasuk tanaman yang peka terhadap cekaman salinitas dan terdapat interaksi antara lingkungan dan genotipe yang berpengaruh terhadap keragaman hasil. Laju pengisian polong dan durasinya menurun dengan peningkatan salinitas. Laju pengisian polong bervariasi di antara genotipe dan berhubungan erat dengan bobot biji maksimum. Meskipun demikian, lama pengisian biji mempunyai efek yang kecil terhadap bobot biji akhir genotipe kedelai. Rata-rata jumlah polong, biji per tanaman, bobot biji, kadar minyak dan protein per tanaman di bawah kondisi nonsalin lebih tinggi daripada kondisi salin. Namun, genotipe kedelai Williams menghasilkan biji paling banyak, terutama di bawah cekaman salinitas. Penurunan kadar minyak dan protein per tanaman dengan meningkatnya salinitas terutama

dikaitkan dengan pengurangan hasil biji per tanaman dalam kondisi salin (Ghassemi-Golezani *et al.* 2009).

Cekaman salinitas membatasi produksi polong dan biji tanaman kedelai. Penurunan jumlah biji dan bobot biji di bawah kondisi salin menurunkan bobot biji per tanaman. Shanon (1998) melaporkan bahwa salinitas dapat membatasi produksi tanaman akibat tingginya salinitas, menurunnya potensial air dan induksi stress ion serta cekaman oksidatif sekunder. Pada salinitas 8 dS/m, tanaman kedelai tidak pernah mencapai fase reproduksi, sedangkan pada DHL 4 dS/m terjadi penurunan hasil 80% (Bustingorri and Lavado 2011). Respon varietas kedelai berbeda terhadap tingkat salinitas.

KESIMPULAN

Cekaman salinitas menyebabkan banyak efek buruk pada pertumbuhan tanaman, termasuk kedelai. Bentuk gangguan akibat cekaman salinitas pada tanaman meliputi cekaman osmotik, ketidakseimbangan ion, dan keracunan ion pada tanaman peka. Tanggapan tanaman terhadap cekaman salinitas dapat dipelajari melalui perubahan karakter morfologi, mekanisme fisiologi, dan agronomis tanaman. Perubahan karakter morfofisiologi dan agronomis kedelai akibat paparan salinitas dapat digunakan untuk menilai tingkat toleransi genotipe kedelai, yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat toleransinya terhadap cekaman salinitas. Karakter morfologi penciri toleransi cekaman salinitas adalah keragaan fisik tanaman secara visual pada keracunan garam, dan struktur tanaman (trikoma daun, stomata daun dan bintil akar). Kriteria fisiologi meliputi kebocoran elektrolit tanaman, pengaturan osmotik, kadar klorofil daun, Kadar ion (K^+ , Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}) jaringan tanaman. Karakter agronomis meliputi kelangsungan hidup tanaman, penurunan pertumbuhan dan hasil tanaman (biomasa tanaman, komponen hasil dan hasil biji kedelai).

DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Samad, H.M. and M.A.K. Shaddad. 1997. Salt tolerance of soybean cultivars. *Biologia Plantarum* 39: 263-269.
- Abel, G.H. and A.J. Mackenzie. 1964. Salt tolerance of soybean varieties (*Glycine max* (L.) Merrill) during germination and later growth. *Crop Sci.* 4: 157-161.
- Ahmed, S. 2009. Effect of salinity on the yield and yield component of mungbean. *Pak. J. Bot.* 41(1): 263-268.
- Aini, N., Syekhfani, W.S.D. Yamika, R. Dyah P., and A. Setiawan. 2014. Growth and physiological characteristics of soybean genotypes (*Glycine max* L.) toward salinity stress *Agrivita* 36(3): 201-209.
- Alia, K.V., S.K. Prasad, and P. Pardha-Saradhi. 1995. Effect of zinc on free radicals and proline in Brassica and Cajanus. *Phytochemistry* 39:45-47.
- Alberico, J and G.R. Cramer. 1993. Is the salt tolerance of maize related to sodium exclusion? Preliminary screening of seven cultivars. *J. Plant. Nutr.* 16(11): 2289-2303.
- Amador, B.M, E.T. Die'guez, J.L.G. Herna'ndez, R.L. Aguilar, N.Y.A. Serrano, S.Z. Salgado, E.O.R. Puente, and C. Kaya. 2006. Effect of NaCl salinity in the genotypic variation of cowpea (*Vigna unguiculata*) during early vegetative growth. *Scientia Horticulturae* 108:423-431.
- Amirjani, M.R. 2010. Effect of salinity stress on growth, mineral composition, proline content, antioxidant enzymes of soybean. *American Journal of Plant Physiology* 5:350-360.
- Ashraf, M. and A. Bashir. 2003. Salt stress induced changes in some organic metabolites and ionic relations in nodules and other plant parts of two crop legumes differing in salt tolerance. *Flora* 198:468-498.
- Ashraf, M. and P.J.C. Harris. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* 166:3-16.
- Ashraf, M. 1989. The effect of NaCl on water relations, chlorophyll, and protein and proline content of two cultivars of blackgram (*Vigna mungo* L.). *Plant and soil* 119(2):205-210.
- Ashraf, M. 1994. Breeding for salinity tolerance in plants. *Plant Sci.* 13:17-42.
- Ashraf, M. 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora* 199:361-376.
- Azevedo, N.A.D and J.N. Tabosa. 2000. Salt stress in maize seedlings:II.Distribution of cationic macronutrients and it's relation with sodium. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.* 4:165-171.
- Bustingorri, C. and R.S. Lavado. 2011. Soybean growth under stable versus peak salinity. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 68(1): 102-108.
- Bustingorri, C. and R.S. Lavado. 2013. Soybean response and ion accumulation under sprinkler irrigation with sodium-rich saline water. *Journal of Plant Nutrition* 36(11): 1743-1753.
- Cabot, C., J.V. Sibole, J. Barcelo, and C. Poschenrieder. 2014. Lessons from crop plants struggling with salinity. *Plant Science* 226: 2-13.
- Chartzoulakis, K. and G. Klapaki. 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hortic.* 86:247-260.
- Cha-um, S., T. Takabe, and C. Kirdmanee. 2010. Ion content, relative electrolyte leakage, proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of oil palm seedlings in response to salt stress. *Pakistan Journal of Botany* 42(3): 2191-2200.
- Cordovilla, M.P., F. Ligerio, and C. Lluch. 1999. Effect of salinity on growth, nodulation and nitrogen assimilation in

- nodules of faba bean (*Vicia faba* L.). *Applied Soil Ecology* 11:1-7.
- Dajic, Z. 2006. Salt stres. In: K.V. M. Rao, A.S. Raghavendra, dan K. J. Reddy (Eds.). *Physiology and Molekuler Biology Stress Tolerance in Plants*. Springer. pp. 41-99.
- Dolatabadian, A., S.A.M. Modaresanavi, and F. Ghanati. 2011. Effect of salinity on growth, xylem structure and anatomical characteristics of soybean. *Notulae Scientia Biologicae* 3(1): 41-45.
- Dong Lee, J., S.L. Smothers, D. Dunn, M. Villagarcia, C.R. Shumway, T.E. Carter, Jr., and J.G. Shannon. 2008. Evaluation of simple method to screen soybean genotypes for salt tolerance. *Crop Sci.* 48:2194-2200.
- Elahi, N.N., S. Mustafa, and J.I. Mirza. 2004. Growth and nodulation of mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) as Affected by Sodium Chloride. *J. Res. Sci. Bahauddin Zakaria Univ. Multan. Pakistan.* 15(2):139-143.
- Essa, T.A. 2002. Effect of salinity stress on growth and nutrient component of three soybean (*Glycine max* L. Merr) cultivars. *J. Agron. Crop Sci.* 188:86-93.
- FAO, 2014. FAO land and plant nutrition management service. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/management-of-some-problem-soils/salt-affected-soils/more-information-on-salt-affected-soils/en/>. Akses 20 Desember, 2014.
- Flowers, T.J. and Yeo, A.R., 1986. Ion relations of plants under drought and salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 75-91.
- Flowers, T.J. and A.R. Yeo. 1981. Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice varieties. *New Phytol.* 88:363-373.
- Ghassemi-Golezani, K.G., M. Taifeh-Noori, Sh. Oustan, and M. Moghaddam. 2009. Response of soybean cultivars to salinity stress. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 7(2):401-404.
- Ghoulam, C., A. Foursy, and K. Fares. 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 47(1):39-50.
- Glenn, E.P. and J.W. Leary. 1984. Relationship between salt accumulation and water content of dicotyledonous halophytes. *Plant, Cell Environ.* 7: 253-261.
- Gorham, J. 2007. Sodium. In: Barker, A.V dan D.J Pilbeam (Eds.). *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis. pp.569-575.
- Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 31: 149-190.
- Gucci, R., G. Aronne, L. Lambordini, and M. Tattini. 1997. Salinity tolerance in phyllyrea spesies. *New Phytol.* 135:227-234.
- Gzik, A. 1996. Accumulation of proline and pattern of amino acids in sugar beet plants in response to osmotic, water and salt stress. *Environmental and Experimental Botany* 36: 29-38.
- Hakeem, K.R., F. Khan, R. Chandna, T.O. Siddiqui, and M. Iqbal. 2012. Genotypic variability among soybean genotypes under NaCl stress and proteome analysis of salt-tolerant genotype. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 168:2309-2329.
- Hirschi, D. 2004. The calcium canudrum, both versatile nutrient and spesific signal. *Plant Physiol.* 136: 2438-2442.
- Hussain, S., F. Luro, G. Costantino, P. Ollitrault, and R. Morillon. 2012. Physiological analysis of salt stress behaviour of citrus species and genera: Low chloride accumulation as an indicator of salt tolerance. *South African Journal of Botany* 81:103-112.
- Jacobs, A., K. Ford, K.J. Kretschmer, and M. Tester. 2011. Rice plants expressing the moss sodium pumping ATPase PpENA1 maintain greater biomass production under salt stress. *Plant Biotechnol. J.* 9:838-847.
- Jahromi, F., R. Aroca, R. Porcel, and J.M. Ruiz-Lozano. 2008. Influence of salinity on the in vitro development of *Glomus intra radices* and on the in vivo physiological and molecular responses of mycorrhizal lettuce plants. *Microb. Ecol.* 55(1):45-53.
- Jones, R.W., L.M. Pike, and L.F. Yourman. 1989. Salinity influences cucumber growth and yield. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 114:547-551.
- Kadam, P. and C. Pravin. 2010. Effect of NaCl salinity on stomatal density and stomatal behaviour of *Crotalaria Spesies*. *Bianano Frontier* 3(2):300-303.
- Kalderhoff, R., A. Kolling, J. Meyers, U. Karmann, G. Roppel, and G. Richter. 1995. The blue light responsive *AthH2* gene of *Arabidosis thaliana* is primarily expresses in expanding as well as in diffrentiating cells and encodes a putative channel protein of the plasmalemma. *The Plant Journal* 7:87-95.
- Kao, W.Y., T.T. Tsai, H.C. Tsai, and C.N. Shih. 2006. Response of three Glycine spesies to salt stress. *Enviromental and Experimental Botany* 56:120-126.
- Karckhard, M. and G. Guerrier. 1995. Effects osmotic and ionic stresses on proline and organic acid content during inhibition and germination of soybean seeds. *J. Plant Physiol.* 1146: 725-730.
- Katerji, N., J.W. van Hoorn, A. Hamdy, and M. Mastrorilli. 2001. Salt tolerance of crops according to three classification methods and examination of some hypothesis about salt tolerance. *Agricultural Water Management* 47:1-8.
- Katerji, N., J.W. van Hoorn, A. Hamdy, and M. Mastrorilli. 2003. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural Water Management* 63:37-66.
- Katerji, N., J.W. van Hoorn, A. Hamdy, M. Mastrorilli, T. Oweis, and W. Erskine. 2000. Salt tolerance classification of drops to soil salinity and to water stress index. *Agricultural Water Management* 43:99-109.

- Katerji, N., J.W. van Hoorn, A. Hamdy, M. Mastrorilli, E. Mou, and Karzel. 1997. Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. *Agricultural Water Management* 34(1):57-69.
- Khajeh, H.M., A.A. Poweell, and I.J. Bingham. 2002. Comparison of the seed germination and early seedling growth of soybean in saline conditions. *Seed Science Research* 12:165-172.
- Landon, J.R. 1984. *Booker tropical soil manual. A handbook for Soil Survey and Agricultural Land Evaluation in the Tropics and Subtropics*. Longman Inc. New York. USA.
- Ledesma, F., C. Lopez, D. Ortiz, P. Chen, K.L. Korth, T. Ishibashi, A. Zeng, M. Orazaly, and L. Florez-Palacios. 2016. A simple greenhouse method for screening salt tolerance in soybean. *Crop Science* 56:585-594.
- Levitt, L. 1980. Response of plants to environment stresses. Dep. of Plant Biology Carnegie Ins. Of Washington Stanford, California.
- Li, F., G.Y. Zhang, J.Z. Son, H. Gao, and J.M. Lu. 2003. Salt resistant structures of leaves from *Glycine max* cultivar Fendou 16. *J. Northeast Normal Univ.* 4:109-111.
- Li, F., L. Zhang, G. Wang, Y. Cao, J. Wang, and K. Tang. 2006. Cloning and characterization of salt tolerance related gene from *Glycine max*. *Mol. Plant Breeding* 4:464- 468.
- Lo'pez, A.R., S. Yamada, and M. Yamanouchi. 1999. Comparison of sodium uptake by and transport in detached plant parts among several crops. *Soil Sci. Plant Nutr.* 45:659-668.
- Lu, J.M., Y.L. Liu, B. Hu, and B.C Zhuang. 1998. The discovery of salt gland-like structure in *Glycine soja*. *Chin. Sci. Bull.* 43:2074-2078.
- Lubis, K. 2005. Morfologi ultrastruktur akar kultur embrio beberapa varietas kedelai (*Glycine max* L. Merr.) pada berbagai konsentrasi NaCl. *J. Ilmiah Pert. Kultura* 40(2):84-88.
- Lutts, S, J.M. Kinet, and J. Bouharmont. 1996. Effects of various salt and of mannitol on ion and proline accumulation in relation to osmotik adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) callus culture. *Plant Physiol. VtJl.* 149:186-195.
- Maas, E.V. and G.J. Hofman. 1977. Crops salt tolerance current assesment. *J. Irrg. Drain. Div. Amer. Soc. Civil Eng.* 103:115-134.
- Manabe, S. and R.J. Stouffer. 1994. Multiple century response of a coupled ocean atmosphere model to an increase pf atmosheric carbon dioxide. *J. Climate.* 7:5-23.
- Mannan, M.A., M.A. Karim, Q.A. Khaliq, M.M. Haque, M.A.K. Mian, and J.U. Ahmed. 2010. Assessment of genetic divergence in salt tolerance of soybean (*Glycine max* L.) genotypes. *J. Crop Sci. Biotech.* 13(1):33-38.
- Mansour, M.M.F. 2013. Plasma membrane permeability as an indicator of salt tolerance in plants. *Biologia Plantarum* 57(1):1-10.
- Mansour, M.M.F. 1997. Cell permeability under salt stress. In Jaiwi P.K, R.P Singh, A. Gulati (Eds.). *Strategies for Improving Salt Tolerance in Hingher Plants*. Science Publ. Enfield. pp.87-110.
- Marcum, K.B. and C.L. Murdoch. 1990. Growth responses, ion relations, and osmotic adaptations of eleven C4 turfgrasses to salinity. *Agron. J.* 82:892-896.
- Marschner, H. 1985. *Mineral nutrition of higher plants*. Acad. Press. London.
- Marschner, H., A. Kylin, and P.J.C. Kuiper. 1981. Differences in salt tolerance of three sugar beet genotypes. *Physiol. Plant* 51:234-238.
- Marvi, H., M. Heidari, and M. Armin. 2011. Physiological and biochemical responses of wheat cultivars under salinity stress. *ARNP J. Agric. Biol. Sci.* 6(5):35-40.
- Misra, N. and A.K. Gupta. 2005. Effect of salt stress on proline metabolism in two high yielding genotypes of green gram. *Plant Science* 169(2):331-339.
- Moftah, A.E. and B.E. Michel. 1987. The effest of sodium chloride on solute potential and proline accumulation in soybean leaves. *Plant Physiol.* 83:238-240.
- Munns, R., S. Hussain, A.R. Rivelli, R.A. James, A.G. Condon, M.P. Lindsay, E.S. Lagudah, D.P. Schachtman, and R.A. Hare. 2002. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. *Plant Soil* 247:93-105.
- Munns, R. and A. Termaat. 1986. Whole plant responses to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 143-160.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25:239-250.
- Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanism of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.
- Naidenova, G.K. and G.I. Georgiev. 2013. Physiological function of non glandular trichomes in red clover (*Trifolium pratense* L.). *Journal of Agric. Sciences* 58(3):217-222.
- Pantalone, V.R., W.J. Kenworthy, L.H. Slaughter, and B.R. James. 1997. Chloride tolerance in soybean and perennial *Glycine* accessions. *Euphytica* 97:235-239.
- Parashar, A. and S.K. Verma. 1993. Effect of gibberellic acid on chemical composition of wheat grown under different salinity levels. Paper presented at international conference on the Plant Physiology. Narendra Deva university og Agriculture and Technology (NDUAT) Kumarganj. Faizabad, India, 22-25.
- Petrusa, L. and I. Winicov. 1997. Proline status in salt tolerant and salt sensitive alfalfa cell lines and plants in response to NaCl. *Plant Physiology and Biochemistry* 35:303-310.
- Purwaningrahayu, R.D., H.T. Sebayang, Syekhfani, and N. Aini. 2015. Resistance level of some soybean (*Glycine max* L. Merr) genotypes toward salinity stress. *Journal of Biological Researches* 20 : 7-14.
- Rachman, A., IGM. Subiksa, dan Wahyunto. 2007. Perluasan areal tanaman kedelai ke lahan suboptimal. *Dalam:*

- Sumarno, Suyamto, A. Widjono, Hermanto, dan H. Kasim (Eds.). Kedelai: Teknik Produksi dan Pengembangan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Pusat Penelitian Tanaman Pangan. pp. 185-204.
- Reddy, M.P. and A.B. Vora. 1986. Changes in pigment composition, hill reaction activity and saccharides metabolism in bajra (*Pennisetum typhoides* S. & H.) leaves under NaCl salinity. *Photosynthetica* 20:50-55.
- Salim, M. and M.G. Pitman. 1988. Salinity tolerance of mungbean (*Vigna radiata* L.) seed production. *Biol. Plant.* 30:53-57.
- Santos-Diaz, M.S. and N. Alejo-Ochoa. 1994. PEG tolerant cells clones of chili pepper (*Capsicum annum* L.): growth, osmotic potentials and solute accumulation. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 37:1-8.
- Schubert, S. and Lauchli, A., 1990. Sodium exclusion mechanisms at the root surface of two maize cultivars. *Plant Soil.* 123:205-209.
- Seemann, J.R. and C. Critchley. 1985. Effects of salt stress on the growth ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of salt –sensitive species *Phaseolus vulgaris* L. *Planta* 164:151-162.
- Serrano, R., J.M. Mulet, R. Gabino, J.A. Maquez, I.F. De Larrinoa, M.P. Leube, I. Mendizabal, A. Pascual-Ahuir, M. Proft, R. Ros, and C. Montesinos. 1999. A glimpse of the mechanisms of ion homeostasis during salt stress. *J. Exp. Bot.* 50:1023-1036.
- Shannon, M.C., J.D. McVreight, and J.H. Draper. 1983. Screening tests for salt tolerance in lettuce. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 108: 225-230.
- Shanon, M.C. 1998. Adaptation of plants to salinity. *Adv. Agron.* 60:75-119.
- Sheeren, A., R. Ansari, S.S.M. Naqvi, and A.Q. Soomro. 1998. Effect of salinity on rhizobium species nodulation and growth of soybean (*Glycine max* L.). *Pak. J. Bot.* 30(1):75-81.
- Singh, A.K. and R.S. Dubey. 1995. Changes in chlorophyll a and b contents and activities of photosystem 1 and 2 in rice seedlings induced by NaCl. *Photosynthetica* 31:489-499.
- Singh, A.L, K. Hariprassana and R.M. Solanki. 2008. Screening and selection of groundnut genotypes for tolerance of soil salinity. *Australian Journal of Crop Science* 1(3): 69-77.
- Singleton, P.W. and B.B. Bohlool. 1984. Effect of salinity on nodule formation by soybean. *Plant Physiol.* 74: 72-76.
- Solomon, A., S. Beer, Y. Waisel, G.P. Jones, and L.G. Paleg. 1994. Effects of NaCl on the carboxylating activity of Rubisco from *Tamarix jordanis* in the presence and absence of proline-related compatible solutes. *Physiologia Plantarum.* 90:198-204.
- Sposito, G. 2008. The chemistry ofs. Oxford University Press.321p.
- Stepien, P. and G. Klobus. 2006. Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. *Biologia Plantarum* 50(4):610-616.
- Summart, J., P. Thanonkeo, S. Pannichajakul, P. Prapthepha, and MT. McManus. 2010. Effect of salt stress on growth, inorganic ion and proline accumulation in thai aromatic rice Khao Dawk Mali 105. *Callus Cultura Afr. J. Biotechnol.* 9(2):145-152.
- Sunarto. 2001. Toleransi kedelai terhadap tanah salin. *Buletin Agronomi* 29(1):27-30.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. Plant physiology, third edition. Sunderland. Sinauer Associates.
- Tejera, N.A., M. Soussi, and C. Lluch. 2006. Physiological and nutritional indicators of tolerance to salinity in chickpea plants growing under symbiotic conditions. *BIOS.* 58: 17-24.
- Turan, M.A, H.A.E. Abdelkarim, N. Taban, and S. Taban. 2009. Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentration on maize plant. *Afr. J. Agric. Res.* 4(9):893-897.
- Turhan, E. and A. Eris. 2009. Changes of growth, amino acids, and ionic composition in strawberry plants under salt stress condition. *Comm. in Soil Sci. and Plant Analysis* 40: 3280-3294.
- Valencia, R., P. Chen, T. Ishibashi, and M. Conatser. 2008. A rapid and effective method for screening salt tolerance in soybean. *Crop Science* 48(5):1773-1779.
- Van Rensburg, L., G.H.J. Kruger, and H. Kruger. 1993. Proline accumulation as drought-tolerance selection criterion: its relationship to membrane integrity and chloroplast ultrastructure in *Nicotiana tabacum* L. *Journal of Plant Physiology* 141:188-194.
- Weimberg, R. 1987. Solute adjustments in leaves of two species of wheat at two different stages of growth in response to salinity. *Physiol. Plant.* 70:381-388.
- Weisany, W., Y. Sohrabi, Y. Heidari, A. Siosemardeh, and K. Ghassemi. 2011. Physiological responses of soybean (*Glycine max* L.) to zinc application under salinity stress. *Australian Journal of Crop Science* 5:1441-1447.
- Werker, E. 2000. Trichome diversity and development. *In: Hallahan, D.I. and J.C. Gray (Eds.). Advances in Botanical Research. Plant Trichomes.* Academic Press. New York. pp.1-35.
- Wu, G., Z. Zhou, P. Cheng, X. Tang, H. Shao, and H. Wang. 2014. Comparative ecophysiological study of salt stress for wild and cultivated soybean species from the yellow river delta, China. *Scientific World Journal.* Article ID 651745, 13 pages Doi; 10.1155/2014/651745.
- Wyn, J.R.G. 1981. Salt tolerance. *In Johson, C.B. (Eds.). Physiologyl Processes Limiting Plant Productivity.* Butterworth Press. London. pp.271-292.
- Yang, J. and R.W. Blanchar. 1993. Differentiation chloride susceptibility in soybean cultivars. *Agron. J.* 85:880-885.

- Yeo, A. 1999. Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants. *Scientia Horticulturae* 78:159-174.
- Yuniati, R. 2004. Penapisan galur kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.) toleran terhadap NaCl untuk penanaman lahan salin. *Makara Sains* 8(1): 21-24.
- Zhang, H.X., J.N. Hodson, J.P. Williams, and E. Blumwald. 2001. Engineering salt-tolerant Brassica plants: Characterization of yield and seed oil quality in transgenic plants with increased vacuolar sodium accumulation. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 98:12832-12836.