

PENGARUH GENOTIP CEKAMAN KEKERINGAN DAN TINGKAT NETRALISASI AI TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PERAKARAN KEDELAI

Elfi Yenny Yusuf¹

¹Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Indragiri

Email: elfiyenny_eltra@yahoo.com

Abstract

Cultivation of plants on dry acid land faces several obstacles, including drought and high Al³⁺ + solubility. The response of soybean to water deficit varies depending on the plant species, the size and duration of stress and the growth phase. The high solubility of Al³⁺ + in the soil is toxic to plants, thus inhibiting root function and growth. The purpose of this study was to study the growth response and tolerance mechanisms of soybeans under drought and aluminum stress conditions. This study used a completely randomized design (CRD) 3 factors with 3 replications, consisting of soybean genotypes (SP 30-4, PG 57-1, Anjasmoro and Tanggamus), drought periods (2, 6 and 10 days), and Al neutralization (0 x Al³⁺ and 1 x Al³⁺). The difference in growth response between genotypes to Al stress and drought was seen in the variables of plant height, number of leaves, and crown dry weight.

Keywords: Drought stress, aluminum stress, soybeans

ABSTRAK

Budidaya tanaman di lahan kering masam menghadapi beberapa kendala diantaranya kekeringan dan kelarutan Al³⁺ yang tinggi. Respon tanaman kedelai terhadap defisit air berbeda-beda tergantung pada spesies tanaman, besar dan lamanya cekaman serta fase pertumbuhan. Kelarutan Al³⁺ yang tinggi dalam tanah bersifat racun bagi tanaman sehingga menghambat fungsi dan pertumbuhan akar. Tujuan penelitian ini untuk mempelajari respon pertumbuhan dan mekanisme toleransi kedelai pada kondisi kekeringan dan cekaman aluminium. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) 3 faktor dengan 3 ulangan, terdiri atas genotipe kedelai (SP 30-4, PG 57-1, Anjasmoro dan Tanggamus), periode kekeringan (2, 6 dan 10 hari), dan netralisasi Al (0 x Al³⁺ dan 1 x Al³⁺). Perbedaan respon pertumbuhan antar genotipe terhadap cekaman Al dan kekeringan terlihat pada peubah tinggi tanaman, jumlah daun, bobot kering tajuk

Keywords : cekaman kekeringan, cekaman aluminium, kedelai

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 1995 hingga tahun 2011 telah terjadi penurunan luas panen kedelai sebesar 57.85% dari 1 476 284 ha (BPS 1995) menjadi 622 254 ha (BPS 2011) yang berdampak terhadap penurunan produksi kedelai. Sebaliknya perkembangan industri pangan menyebabkan permintaan kedelai terus meningkat dari tahun ke tahun melampaui produksi dalam negeri (Sudaryanto dan Swastika 2007). Sampai saat ini hanya 20 – 30% kebutuhan nasional yang dapat dipenuhi oleh produksi kedelai

nasional, sisanya dipenuhi dengan impor (Purna *et al.* 2009). Tahun 2011 Indonesia mengimpor sebanyak 2 087 986 ton kedelai untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri karena produksi nasional hanya mencapai 851 286 ton.

Pemerintah telah mencanangkan swasembada kedelai pada tahun 2014. Hal tersebut akan tercapai dengan peningkatan produktivitas, perluasan intensitas tanam dan perluasan areal tanam. Pengembangan budidaya kedelai pada lahan-lahan marginal seperti lahan kering masam merupakan

salah satu usaha untuk meningkatkan produksi kedelai nasional. Namun usaha perluasan pertanaman di lahan kering masam menghadapi beberapa kendala yang merupakan faktor pembatas ekologi yaitu pH tanah yang rendah (pH 4.0-5.0), kandungan hara dan bahan organik rendah, keterbatasan sumber air dan kelarutan Al^{3+} yang tinggi.

Kelarutan Al^{3+} yang tinggi dalam tanah bersifat racun bagi tanaman sehingga menghambat fungsi dan pertumbuhan akar (Kochian *et al.* 2005). Hal ini akan mempengaruhi perkembangan morfologi maupun proses fisiologi tanaman kedelai sehingga menyebabkan produksinya rendah. Gejala keracunan aluminium tidak mudah diidentifikasi. Pada beberapa tanaman gejala keracunan Al mirip dengan defisiensi fosfor, yaitu pertumbuhan terhambat, tanaman kerdil, urat-urat daun dan batang menjadi ungu, serta ujung daun menguning dan mati. Namun keracunan Al pada tanaman juga bisa mirip dengan defisiensi Ca, yaitu keriput atau menggulungnya daun muda.

Gejala keracunan Al yang paling mudah dilihat adalah penghambatan pertumbuhan akar. Kandungan Al yang tinggi dapat mengganggu pertumbuhan kedelai dan merusak perakaran sehingga mengganggu penyerapan hara (Hanum *et al.* 2007). Hal ini disebabkan karena penghambatan pertumbuhan ujung akar (*root apex*) tanaman yang terdiri atas tudung dan meristem, sehingga mengakibatkan tidak efisiennya akar menyerap unsur hara dan air (Ma *et al.* 2000). Tanggapan morfologi akar tanaman terhadap keracunan Al berbeda antara tanaman toleran dan tanaman peka. Pada tanaman yang peka akan mengalami pemendekan akar karena keracunan Al (Rangeli *et al.* 2007) sehingga parameter panjang akar biasanya digunakan untuk menilai ketenggangan tanaman terhadap keracunan Al (Bakhtiar *et al.* 2007).

Keterbatasan suplai air dapat mempengaruhi fisiologi, biokimia, dan morfologi tanaman sehingga akan menyebabkan penurunan kualitas dan kuantitas produksi. Respon tanaman terhadap defisit air berbeda-beda tergantung pada spesies tanaman, besar dan lamanya cekaman serta fase pertumbuhan. Peningkatan cekaman air sampai 40% dari kadar air kapasitas lapang menyebabkan penurunan tinggi tanaman, bobot biji 100 butir dan indeks panen pada tanaman padi (Zubaer *et al.* 2007). Semakin berat

cekaman kekeringan, semakin tertekan pertumbuhan dan hasil kedelai yang ditunjukkan oleh penurunan bobot kering tajuk, diameter batang, jumlah cabang produktif, jumlah polong berisi, jumlah biji per tanaman dan bobot kering biji (Hapsah *et al.* 2004). Pada fase generatif, kekeringan menyebabkan penurunan hasil kedelai karena jumlah biji per polong yang menurun akibat terjadinya gugur bunga dan polong pada saat fase pembungaan dan pembesaran polong (Liu *et al.* 2003), sedangkan kekeringan pada fase akhir pengisian polong akan mengurangi kepadatan biji (Liu *et al.* 2004). Totok dan Rahayu (2004) juga menambahkan bahwa karakter morfologi yang berhubungan dengan kekeringan adalah jumlah polong isi, bobot polong dan tinggi tanaman kedelai.

Tanaman yang toleran memiliki kemampuan memulihkan dan menekan pengaruh buruk keracunan Al sehingga fungsi akar tidak terganggu. Akar yang panjang dapat meningkatkan pengambilan hara dan air sehingga tanaman lebih adaptif pada kondisi cekaman Al dan kekeringan. Kemampuan akar untuk mengabsorpsi air sangat tergantung pada struktur morfologinya, akar yang panjang akan memiliki bidang serap yang lebih tinggi (Cruz *et al.* 1992). Menurut Taiz dan Zeiger (2002) salah satu pertahanan tanaman dalam menghadapi kekeringan adalah perkembangan akar untuk mencapai daerah yang masih basah. Informasi ini menunjukkan bahwa analisis pertumbuhan akar melalui studi perkembangan akar menjadi penting, disamping dapat menentukan daya toleransi terhadap cekaman Al juga dapat menduga kemampuan perakaran dalam keadaan keterbatasan air tanah.

Tujuan

1. Memperoleh informasi tentang mekanisme adaptasi tanaman kedelai terhadap cekaman aluminium dan kekeringan
2. Memperoleh informasi tentang pertumbuhan akar dan hubungannya dengan pertumbuhan vegetatif dan generatif kedelai pada kondisi tercekam aluminium dan kekeringan.

Hipotesis

1. Terdapat mekanisme adaptasi genotipe tanaman kedelai sebagai tanggapan terhadap cekaman aluminium dan kekeringan

2. Terdapat pengaruh interaksi genotipe, cekaman aluminium dan cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan akar dan terdapat korelasi positif antara pertumbuhan akar dengan pertumbuhan vegetatif dan generatif kedelai

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Botani Tanaman Kedelai

Kedelai dengan nama Latin *Glycine max* (L.) Merrill termasuk famili *Leguminosae*, dengan klasifikasi sebagai berikut:

Ordo	:	<i>Polypetales</i>
Famili	:	<i>Leguminosae</i>
Sub famili	:	<i>Papilionoideae</i>
Genus	:	<i>Glycine</i>
Sub genus	:	<i>Soja</i>
Spesies	:	<i>max</i>

Tanaman kedelai yang dibudidayakan di Indonesia merupakan tanaman semusim, tanaman tegak dengan tinggi 40-90 cm bercabang, memiliki daun tunggal dan daun bertiga, dan kadang-kadang ditemukan daun berlima, bulu pada daun dan polong tidak terlalu banyak (Adie dan Krisnawati 2007). Ada dua tipe pertumbuhan batang, yaitu indeterminat dan determinat. Pertumbuhan batang tipe indeterminat dicirikan bila pucuk batang tanaman masih bisa tumbuh daun, walaupun tanaman sudah mulai berbunga. Pertumbuhan batang tipe determinat dicirikan dengan terhentinya pertumbuhan daun setelah tanaman mulai berbunga. Selain 2 tipe pertumbuhan tersebut terdapat pola pertumbuhan semi-determinate yaitu pola pertumbuhan diantara kedua tipe di atas. Varietas kedelai yang ada di Indonesia pada umumnya bertipe determinat (Adie dan Krisnawati 2007).

Sistem perakaran kedelai terdiri atas sebuah akar tunggang yang terbentuk dari calon akar, sejumlah akar sekunder yang tersusun dalam empat barisan sepanjang akar tunggang, cabang akar sekunder dan cabang akar adventif yang tumbuh dari bagian bawah hipokotil. Kedelai tergolong tanaman leguminosa yang dicirikan oleh kemampuannya untuk membentuk bintil akar, yang mengandung *Rhizobium japonicum*, yang mampu menambat nitrogen. Akar mengeluarkan beberapa substansi khususnya triptofan yang menyebabkan perkembangan bakteri dan mikroba lain di sekitar perakaran. Pembesaran bintil akar berhenti pada minggu keempat setelah terjadinya infeksi bakteri dan pada minggu keenam hingga ketujuh bintil akar telah melapuk.

Jumlah bunga yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh lingkungan tumbuh

tanaman. Bunga dapat mengalami kerontokan akibat kondisi lingkungan yang mengalami kekeringan. Suhu hangat dapat mempercepat pembungaan dan pemasakan polong, sedangkan suhu dingin akan menghambat pembungaan dan pemasakan polong (Adie dan Krisnawati 2007). Kedelai memiliki umur berbunga yang beragam dari 20 sampai 60 hari.

Pembentukan polong pertama sekitar 10-14 hari setelah muncul bunga pertama. Pembentukan polong dalam keadaan normal memerlukan waktu sekitar 21 hari. Jumlah maksimum polong tiap tanaman dan ukuran biji tergantung varietas. Tiap polong dapat berisi biji 1 sampai 5 biji, namun umumnya berkisar 2-3 biji per polong (Adie dan Krisnawati 2007). Polong masak berwarna kuning muda sampai kuning kelabu, coklat atau hitam. Warna polong tergantung pada keberadaan pigmen karoten dan xantofil, warna trikoma, dan ada atau tidaknya pigmen antosianin.

Biji merupakan komponen morfologi kedelai yang bernilai ekonomis. Bentuk biji beragam, dari lonjong hingga bulat, dan sebagian kedelai yang ada di Indonesia berbiji lonjong. Pengelompokan ukuran biji kedelai berbeda antar negara. Di Indonesia, kedelai dikelompokkan berukuran besar (berat > 14 g/100 biji), sedang (10-14 g/100 biji) dan kecil (< 10 g/100 biji) (Adie dan Krisnawati 2007).

Daya hasil merupakan karakter yang sangat dipengaruhi oleh karakter komponen hasil. Hasil ditentukan oleh ukuran, jumlah dan bobot biji serta jumlah buku produktif. Periode pengisian biji merupakan periode paling kritis dalam masa pertumbuhan kedelai. Cekaman lingkungan saat pengisian biji akan mengakibatkan berkurangnya daya hasil. Jumlah biji dalam tiap polong berpengaruh terhadap jumlah biji per tanaman. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa karakter yang berkorelasi positif terhadap daya hasil adalah jumlah polong, jumlah cabang produktif, bobot 100 biji, tinggi tanaman, dan bobot tanaman tanpa akar serta umur panen (Adie dan Krisnawati 2007).

2.2. Persyaratan TumbuhTanaman Kedelai

Faktor lingkungan yang menjadi penentu keberhasilan usaha produksi kedelai adalah faktor iklim yaitu panjang hari, suhu, kelembaban udara dan curah hujan. Selain itu faktor tanah juga mempengaruhi pertumbuhan tanaman kedelai yaitu tekstur, struktur, drainase, kedalaman lapisan olah,

pH, kandungan hara, bahan organik dan kemampuan tanah menyimpan kelembaban (Sumarno dan Manshuri 2007).

2.2.1. Iklim

Kedelai tergolong tanaman hari pendek, tidak mampu berbunga bila panjang hari lebih dari 16 jam, dan mempercepat pembungaan bila lama penyinaran kurang dari 12 jam. Pengurangan radiasi matahari pada awal pertumbuhan vegetatif akan menghambat pertumbuhan tanaman melalui penurunan laju fotosintesis seluruh organ tanaman. Sebaliknya radiasi matahari yang sangat tinggi juga mengakibatkan cekaman terhadap tanaman akibat terjadinya peningkatan suhu daun yang akan meningkatkan laju evapotranspirasi melebihi laju penyerapan air (Sumarno dan Manshuri 2007).

Suhu di dalam tanah dan suhu atmosfer mempengaruhi pertumbuhan *Rhizobium*, akar dan pertumbuhan tanaman kedelai. Suhu yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman kedelai berkisar antara 22-27°C. Akumulasi bahan kering menurun apabila suhu naik di atas 30°C karena adanya penurunan net fotosintesis melalui proses perombakan fotosintat antara organ tumbuhan. Suhu berinteraksi dengan lama penyinaran dalam menentukan waktu berbunga dan pembentukan polong. Sumarno dan Manshuri (2007) menjelaskan selang suhu optimum untuk pertumbuhan organ vegetatif dan generatif berada pada selang suhu 23-26°C, dan pada suhu yang lebih rendah dan lebih tinggi terjadi penghambatan pertumbuhan. Suhu yang tinggi menyebabkan aborsi polong, sedangkan suhu rendah di bawah 15°C menghambat pembentukan polong. Suhu >30°C berpengaruh negatif terhadap kualitas biji dan daya tumbuh benih.

Kelembaban udara tidak berpengaruh terlalu besar terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman kedelai, tetapi secara tidak langsung berpengaruh terhadap perkembangan hama dan penyakit tertentu. Kelembaban udara yang optimal untuk perkembangan tanaman kedelai antara 75-90% selama periode tumbuh dan pengisian polong, dan kelembaban udara rendah (RH 60-75%) pada fase pematangan polong hingga panen (Sumarno dan Manshuri 2007).

Tanaman kedelai sangat efektif dalam memanfaatkan air yang berasal dari kelembaban tanah. Kondisi air tanah 80% dinilai optimal untuk pertumbuhan kedelai pada tanah yang memiliki kapasitas penyimpanan air yang baik, solum dalam (>

40 cm) dan struktur gembur. Pada tanah yang demikian perakaran kedelai dapat tumbuh dan berkembang sedalam 200 cm, dan air lebih banyak diserap dari lapisan subsoil (Sumarno dan Manshuri 2007).

Menurut Sumarno dan Manshuri (2007) secara umum kebutuhan air untuk tanaman kedelai dengan umur panen 100-190 hari, berkisar antara 450-825 mm atau rata-rata 4.5 mm per hari. Dengan menggunakan data ini, kebutuhan air kedelai yang berumur panen 80-90 hari berkisar antara 360-405 mm, setara dengan curah hujan 120-135 mm per bulan. Jumlah air yang dibutuhkan sangat dipengaruhi oleh kemampuan tanah menyimpan air, besar penguapan, dan kedalaman lapisan olah tanah.

2.2.2. Tanah

Tanah yang ideal untuk budidaya tanaman kedelai adalah tanah yang bertekstur liat berpasir, liat berdebu-berpasir, debu berpasir, drainase sedang-baik, mampu menahan kelembaban tanah dan tidak mudah tergenang. Kandungan bahan organik sedang-tinggi (3-4%) sangat mendukung pertumbuhan tanaman apabila hara cukup. Kandungan bahan organik yang cukup terutama berguna untuk mendukung perkembangan *Rhizobium*, perbaikan drainase tanah, peningkatan kapasitas penyimpanan kelembaban, dan mempermudah pertumbuhan akar tanaman. Akar tanaman kedelai lebih mudah berkembang pada tanah gembur yang mengandung liat dengan struktur tidak terlalu ringan (Sumarno dan Manshuri 2007).

Kelembaban tanah yang tinggi (80-100%) diperlukan dalam fase perkecambahan benih, dan pada pertumbuhan selanjutnya tanaman kedelai memerlukan kelembaban tanah 75-85% kapasitas lapang. Penyerapan air semakin banyak sejalan dengan pertumbuhan perakaran dan tajuk tanaman. Penyerapan air mulai menanjak pada fase menjelang berbunga (R1) dan tetap tinggi pada fase pembentukan polong (R2), pengisian polong (R3-R4) dan mulai menurun pada fase biji mencapai ukuran maksimum (R6) dan sudah rendah-sangat rendah pada fase polong mulai matang dan polong matang penuh (R7-R8) (Sumarno dan Manshuri 2007).

Kedelai tumbuh baik pada tanah yang sedikit masam sampai mendekati netral (pH optimal 6.0-6.5) karena pada kondisi pH tersebut hara makro dan mikro tersedia bagi tanaman kedelai. Pada tanah yang bereaksi masam (pH < 5.5) hara fosfat (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), sulfur

(S) menjadi tidak mudah tersedia bagi tanaman kedelai. Pada tanah yang bereaksi basa (> 7.0) unsur hara makro P dan unsur hara mikro terutama besi (Fe), seng (Zn), mangan (Mn) menjadi tidak tersedia bagi tanaman (Sumarno dan Manshuri 2007).

Pada tanah masam yang mengandung aluminium (Al) lebih dari 20% dapat menyebabkan keracunan pada akar kedelai, sehingga akar tidak berkembang, tumbuh kerdil, daun berwarna kuning kecoklatan, dan tidak mampu membentuk polong. Perkembangan *Rhizobium* juga terhambat pada tanah masam, karena kurangnya fotosintat dari daun (Sumarno dan Manshuri 2007).

2.2.3. Pengaruh Aluminium pada Tanaman Kedelai

Aluminium bukan merupakan unsur esensial bagi pertumbuhan tanaman. Saat kelarutan Al meningkat seiring dengan turunnya pH hingga dibawah 5, unsur ini menjadi penting untuk diperhatikan karena menjadi toksik bagi tanaman. Bentuk-bentuk Al di dalam tanah dapat berupa ion trivalen yaitu $Al(H_2O)_6^{3+}$ atau Al^{3+} , bentuk hidroksida seperti $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)_3$, $Al(OH)_4^-$ atau berasosiasi dengan berbagai senyawa organik dan anorganik seperti PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , asam-asam organik, protein dan lipid (Delhaize dan Ryan 1995). Al^{3+} merupakan bentuk yang paling toksik dan mendominasi di lahan asam dengan pH dibawah 4.5 (Matsumoto 2000).

Gejala keracunan Al tidak mudah diidentifikasi. Pada beberapa tanaman gejala keracunan Al mirip dengan defisiensi fosfor, yaitu pertumbuhan terhambat, tanaman kerdil, kematangan terhambat, urat-urat daun dan batang menjadi ungu, serta ujung daun berwarna kuning dan mati. Namun terkadang keracunan Al mirip dengan defisiensi Ca, yaitu keriput atau menggulungnya daun muda. Gejala keracunan Al yang paling mudah dilihat adalah penghambatan pertumbuhan akar. Penghambatan pertumbuhan akar telah banyak dilaporkan seperti pada padi (Nasution dan Suhartini 1991), kedelai (Soepandi *et al.* 2000) dan gandum (Delhaize dan Ryan 1995).

Aluminium terlarut bereaksi dengan dinding dan membran sel akar serta membatasi perluasan dinding sel sehingga menghentikan pemanjangan akar. Terhentinya pemanjangan akar merupakan ciri utama dari toksisitas Al. Jaringan akar merupakan bagian pertama dari tanaman yang mengalami keracunan Al, terutama diujung akar sehingga mengalami

pemendekan dan penebalan. Akar menjadi berwarna kecoklatan terutama pada akar utama serta terjadi pertumbuhan akar lateral yang gemuk dan pendek dengan percabangan yang tidak baik (Ryan *et al.* 1993).

Terdapat perbedaan tanggapan genotipe kedelai terhadap cekaman Al. Pada galur atau varietas peka terjadi penurunan produksi mencapai 50 %, sedangkan pada galur toleran hanya terjadi penurunan sekitar 10 % (Board dan Cadwell 1991). Kedelai membutuhkan pengapuran jika ditanam pada tanah dengan kejenuhan Al lebih dari 35% (Saleh dan Sumarno 1993). Ismunadji dan Mahmud (1993) melaporkan bahwa kedelai masih dapat tumbuh sampai kejenuhan Al 40%. Ismunadji dan Mahmud (1993) juga menambahkan bahwa kejenuhan Al yang tinggi dapat mengurangi jumlah buku, tinggi tanaman, luas daun, pembentukan polong serta produksi kedelai.

Mekanisme toleransi tanaman terhadap keracunan Al sangat beragam. Taylor (1991) mengelompokkan mekanisme toleransi tersebut menjadi (1) mekanisme eksklusi, yaitu mekanisme yang berusaha menghambat Al masuk ke dalam sel tanaman dan (2) mekanisme inklusi yaitu suatu mekanisme yang memungkinkan tanaman melanjutkan proses tumbuhnya meskipun Al sudah masuk ke dalam sel tanaman.

Mekanisme eksklusi adalah imobilisasi Al di dinding sel dengan permeabilitas membran yang selektif, peningkatan pH rizosfer atau apoplas, eksudasi ligan pengkelat, eksudasi fosfat dan efluks Al (Taylor 1991). Plasma membran dapat dianggap sebagai penghalang penyerapan Al secara selektif. Duncan dan Baligar (1990) menyatakan bahwa perbedaan permeabilitas membran terhadap Al merupakan salah satu mekanisme toleran terhadap Al. Kemampuan apoplas sel akar menyerap Al juga dianggap sebagai salah satu mekanisme ketenggangan terhadap Al. Semakin kecil kemampuan akar untuk menyerap Al berarti tanaman semakin peka terhadap Al (Duncan dan Baligar 1990).

Marschner (1995) menyatakan bahwa tanaman yang toleran terhadap Al akan meningkatkan pH pada daerah perakaran sehingga menurunkan kelarutan dan keracunan aluminium. Tanaman toleran dapat menghambat Al masuk ke simplas jika ligan pengkelat (asam organik) dihasilkan, dengan membentuk kompleks Al yang kurang beracun. Ma *et al.* (2000) menyatakan toleransi kedelai terhadap Al

berkaitan dengan kemampuan tanaman untuk mengeksudasi asam organik.

Mekanisme toleransi AI inklusi meliputi pengkelatan di sitosol, kompartemensi di vakuola, dan adanya protein pengikat AI (Taylor 1991). Matsumoto (1991) menyimpulkan dari hasil penelitian pada membran mikrosomal akar barley bahwa aktivitas transpor H^+ tonoplas memegang peranan penting dalam pertukaran proton dengan AI yang dikompartemensi di vakuola.

2.2.4. Pengaruh Cekaman Kekeringan pada Tanaman Kedelai

Cekaman kekeringan merupakan istilah untuk menyatakan bahwa tanaman mengalami kekurangan air akibat keterbatasan air dari lingkungannya. Kekeringan disebabkan oleh dua hal yaitu : 1) kekurangan suplai air di daerah perakaran dan 2) permintaan air yang berlebihan oleh daun dimana laju evapotranspirasi melebihi laju absorpsi air oleh akar tanaman, walaupun keadaan air tanah cukup. Kekeringan adalah faktor pembatas penting pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fungsi air sangat penting yaitu sebagai pelarut dan media untuk reaksi kimia dan media untuk transpor, zat terlarut organik dan anorganik, media pemberi turgor pada sel tanaman, hidrasi dan netralisasi muatan pada molekul-molekul koloid, bahan baku fotosintesis, proses hidrolisis, dan reaksi-reaksi kimia lainnya dalam tumbuhan serta transpirasi untuk mendinginkan permukaan tanaman (Gardner *et al.* 1991).

Setiap tumbuhan memiliki mekanisme yang berbeda dalam menanggapi kondisi lingkungan yang tidak optimal. Menurut Sheriff dan Muchow (1992) terdapat tiga mekanisme yang digunakan oleh tanaman untuk bertahan selama periode ketersediaan air rendah : 1) menghindari kekurangan air lingkungan, biasanya terjadi pada tanaman semusim dengan siklus hidup pendek. Tanaman akan berkecambah dan tumbuh menjadi tanaman dewasa, kemudian menghasilkan biji sebelum potensial air menurun; 2) menghindari kekurangan air jaringan, tanaman akan menutup stomata untuk mengurangi kehilangan air ketika potensial air -1.0 sampai -2.5 Mpa; 3) toleran potensial air rendah, yaitu mampu mempertahankan stomata tetap terbuka sebagian dan melanjutkan fotosintesis meskipun potensial air menurun (-10 sampai -12 Mpa).

Menurut Pugnaire *et al.* (1999), berdasarkan responnya terhadap

kekeringan, tanaman dapat diklasifikasikan menjadi 1) tanaman yang menghindari kekeringan (*drought avoiders*) dan 2) tanaman yang mentoleransi kekeringan (*drought tolerator*). Tanaman yang menghindari kekeringan membatasi aktivitasnya pada periode air tersedia atau akuisisi air maksimum antara lain dengan meningkatkan jumlah akar dan memodifikasi struktur dan posisi daun. Tanaman yang mentoleransi kekeringan mencakup penundaan dehidrasi atau mentoleransi dehidrasi. Penundaan dehidrasi mencakup peningkatan sensitivitas stomata dan perbedaan jalur fotosintesis, sedangkan toleransi dehidrasi mencakup penyesuaian osmotik.

Potensial air (Ψ_w) merupakan sistem yang menggambarkan tingkah laku air dan pergerakan air dalam tanah dan tubuh tanaman yang didasarkan atas hubungan energi potensial dengan satuan ukur bar atau pascal (pa). Potensial air tanah berubungan langsung dengan kapasitas lapang dan titik layu permanen. Energi potensial air tanah (Ψ_{tanah}) pada kapasitas lapang yaitu -0.1 sampai -0.3 bar, dan Ψ_{tanah} pada titik layu permanen berkisar -15 sampai -50 bar. Kapasitas lapang adalah air yang tetap tersimpan dalam tanah yang tidak mengalir ke bawah karena gaya gravitasi, dan titik layu permanen layu permanen yaitu kondisi air tercekam sehingga tanaman akan layu dan tidak akan segar kembali (Gardner *et al.* 1991).

Cekaman kekeringan berpengaruh terhadap fisiologi, morfologi dan biokimia tanaman. Salisbury dan Ross (1995) melaporkan bahwa pada kondisi potensial air lebih negatif mengakibatkan pembentukan klorofil terhambat, terjadi penutupan stomata, penurunan aktivitas enzim seperti nitrat reduktase, fenilalanin amonialinase, dan beberapa enzim lainnya. Sebaliknya aktivitas enzim α -amilase dan ribonuklease meningkat dalam perombakan pati dan bahan lain untuk membuat potensial osmotik lebih negatif sehingga tanaman tahan kekeringan.

Kondisi tercekam kekeringan juga mempengaruhi biokimia sel tanaman, salah satu yang dipengaruhinya adalah konsentrasi ABA (Absisic Acid). Pada kondisi potensial air rendah, konsentrasi ABA pada jaringan daun dan dalam jaringan lain meningkat sehingga terjadi penutupan stomata sehingga transpirasi dapat dicegah. Selain itu ABA berperan dalam penghambatan pertumbuhan pucuk daun dan memicu pertumbuhan akar (Wattimena

1988). Dengan demikian, laju transpirasi dapat dicegah sebaliknya penyerapan air meningkat. Selama terjadi kekurangan air, ABA dibebaskan dari kloroplas ke dalam sel-sel epidermis, kemudian kinerja proton dihambat yang aktivitasnya tergantung dari ATP (Adenosin tripospat) yang berada di membran plasma sel penjaga. Kinerja dari pompa proton yaitu mengangkut proton keluar dari sel penjaga sehingga menyebabkan terjadinya aliran masuk yang sangat cepat dan penimbunan ion K^+ , kemudian terjadi penyerapan air secara osmotik dan terjadi pembukaan stomata.

Respon fisiologi dan biokimia yang ditimbulkan oleh cekaman kekeringan akan berdampak terhadap karakter atau respon morfologi suatu tanaman, tetapi dengan respon yang berbeda-beda. Syafi (2008) menemukan bahwa cekaman air berpengaruh terhadap respon morfologi dan fisiologi jarak pagar pada peubah tinggi tanaman, luas daun, ketebalan daun, jumlah stomata terbuka, bobot kering pucuk, bobot kering akar, panjang akar, volume akar, kadar air daun, kandungan klorofil dan karbon serta asimilasi.

Perkembangan luas daun selama pertumbuhan vegetatif merupakan waktu yang sangat sensitif terhadap kekurangan air. Peningkatan turgor dalam proses pembelahan sel membutuhkan air yang cukup. Oleh karena itu kekurangan air pada waktu ini dapat menyebabkan menurunnya luas daun (Granier dan Tardieu 1999). Kekeringan menyebabkan penurunan bobot kering tajuk, diameter batang, jumlah cabang produktif, jumlah polong berisi, jumlah biji per tanaman dan bobot kering biji (Hapsah *et al.* 2004), menurunkan laju fotosintesis dan indeks luas daun tanaman (Sloane *et al.* 1990), menyebabkan tanaman memendek, menekan perkembangan akar dan tajuk kedelai, mempercepat pembungaan dan umur panen (Jusuf *et al.* 1993). Soepandi *et al.* (1997) juga menyatakan bahwa cekaman kekeringan dapat mengurangi jumlah polong berisi sehingga menurunkan produksi kedelai dan dapat menyebabkan jumlah biji per polong menurun akibat terjadinya gugur bunga dan polong pada saat fase pembungaan dan pembesaran polong (Liu *et al.* 2003), sedangkan kekeringan pada fase akhir pengisian polong akan mengurangi kepadatan biji (Liu *et al.* 2004). De Souza *et al.* (1997) melaporkan bahwa cekaman kekeringan menurunkan jumlah biji per tanaman kedelai.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Percobaan

Penelitian ini terdiri atas percobaan 1 yaitu "Pengaruh genotipe, cekaman kekeringan dan tingkat netralisasi Al terhadap pertumbuhan dan perakaran tanaman kedelai" dan percobaan 2 yaitu "Pengaruh genotipe, cekaman kekeringan dan tingkat netralisasi Al terhadap komponen hasil tanaman kedelai". Kedua percobaan dilaksanakan di Rumah Kaca, Kebun Percobaan Cikabayan, *University Farm*, IPB Darmaga Bogor, dari bulan Januari sampai Mei 2011 (Percobaan I) dan dari bulan Juli sampai November 2011 (Percobaan II). Analisis fisik dan kimia tanah dilakukan di Balai Besar Penelitian Tanah, Bogor.

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan antara lain adalah rhizotrone, cangkul, ayakan, timbangan, mistar, gembor, plastik transparansi, pinboard, thermometer. Bahan yang digunakan antara lain adalah tanah Ultisol Tenjo (Kabupaten Bogor Barat) yang memiliki pH 4.6 dan Aldd 5.88 me/100g, polybag ukuran 35 cm x 45 cm, kedelai galur SP 30-4 (Slamet//Pangrango), galur PG 57-1 (Pangrango//Godek), varietas Anjasmoro dan varietas Tanggamus, pupuk SP18, KCl, kapur ($CaCO_3$), *Rhizobium* serta Marshall.

3.3. Metode Penelitian

Percobaan I menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 3 faktor. Faktor I adalah genotipe kedelai yang terdiri atas 4 genotipe yaitu SP 30-4 (G1), Anjasmoro (G2), PG 57-1 (G3) dan Tanggamus (G4). Faktor II adalah interval penyiraman yang terdiri atas : 2 hari (K1), 6 hari (K2), dan 10 hari (K3). Faktor III adalah netralisasi Al dengan pengapuran yang terdiri atas : 0% Aldd (N1) dan 100% Aldd (N2). Dengan demikian ada 24 perlakuan dengan 3 ulangan, sehingga ada 72 unit Rhizotrone (Percobaan I)

Percobaan 1 : Pengaruh Genotipe, Cekaman Kekeringan dan Tingkat Netralisasi Al terhadap Pertumbuhan dan Perakaran kedelai

Percobaan ini bertujuan untuk memperoleh informasi tentang pertumbuhan akar dan hubungannya dengan pertumbuhan vegetatif dan generatif kedelai pada kondisi tercekam aluminium dan kekeringan.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

3.4.1. Persiapan Media Tanam

Tanah dijemur selama seminggu dan dihaluskan dengan menghancurkan bongkahan tanah untuk memudahkan pengayakan. Setelah diayak dan diaduk rata diambil sampel untuk kebutuhan analisa tanah awal. Rhizotrone diisi dengan 7 kg tanah dan disusun berdasarkan denah percobaan pada Lampiran 7.

Kebutuhan kapur dihitung berdasarkan Aldd yang diketahui berdasarkan analisa tanah awal (Lampiran 3). Pengapuran dilakukan 2 minggu sebelum penanaman benih, dengan dosis 29.4 g CaCO₃/polybag untuk perlakuan 100% Aldd. Selama masa inkubasi (2 minggu), media tanah yang telah dicampur rata dengan kapur disiram setiap hari dengan 1 liter air.

3.4.2. Penanaman

Benih kedelai ditanam dalam rhizotrone sebanyak 2 biji dan pada umur 1 minggu setelah tanam (MST) dijarangkan menjadi 1tanaman/rhizotrone. Pupuk dasar yang diberikan setara 400 kg SP18/ha dan 100 kg KCl/ha pada saat tanam. Sebelum ditanam benih diberi inokulant *Rhizobium* 5 g/kg benih dan Marshall 15 g/kg benih untuk mengendalikan alat bibit.

3.4.3. Penyiraman

Pada awal penanaman sampai umur 2 MST, penyiraman dilakukan dengan menggunakan 1 liter air/hari. Perlakuan interval penyiraman dimulai 2 MST sampai panen dengan menambahkan 1 liter air untuk interval penyiraman 2 hari, 1.5 liter untuk interval penyiraman 6 hari dan 2 liter untuk interval penyiraman 10 hari. Jumlah air yang diberikan melebihi kapasitas lapang, dengan maksud agar air yang diberikan dapat secara merata membasahi media tanah di dalam rhizotrone sehingga mencapai kapasitas lapang setiap kali penyiraman. Perhitungan air kapasitas lapang disajikan pada Lampiran 4.

3.5. Pengamatan

Pengamatan pada percobaan ini meliputi :

1. Tinggi tanaman, diukur dari permukaan tanah sampai titik tumbuh setiap 2 minggu mulai 2 MST
2. Jumlah daun trifoliolate, dihitung setiap 2 minggu mulai 2 MST
3. Umur berbunga dan fruitset
4. Panjang akar vertikal saat panen
5. Bobot kering bintil akar saat panen
6. Bobot kering tajuk saat panen
7. Jumlah polong saat panen

8. Suhu rumah kaca, diukur setiap hari.
9. Analisis tanah diawal percobaan

3.6. Prosedur Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan anova, bila terdapat pengaruh perlakuan dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 5%. Peubah tinggi tanaman dan jumlah daun dianalisis dengan metode faktorial in time. Korelasi antar peubah dilakukan dengan menggunakan metode korelasi Pearson.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Perlakuan Genotipe, Cekaman Kekeringan dan Cekaman Aluminium terhadap Pertumbuhan, Perakaran dan Komponen Hasil Tanaman Kedelai Hasil pengamatan pada Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa perlakuan genotipe berpengaruh nyata terhadap peubah tinggi tanaman, jumlah daun, bobot kering bintil akar, panjang akar, umur berbunga, jumlah bunga, fruitset, jumlah polong total dan bobot biji 100 butir.

Tabel 1 Rekapitulasi sidik ragam respon pertumbuhan dan perakaran genotipekedelai pada berbagai taraf cekaman kekeringan dan cekaman aluminium

Peubah penganmatan	Sumber ragam						GxK xN	KK
	G	K	N	G x K	G x N	K x N		
Bobot kering tajuk	t	*	*	tn	tn	*	tn	31 .3
Bobot kering akar	t	*	*	tn	tn	*	tn	27 .0
Bobot bintil akar	*	*	*	tn	*	*	tn	42 .2
Panjang akar	*	t	t	tn	tn	*	*	20 .4
Umur berbunga	*	t	*	tn	*	tn	tn	5. 1
Jumlah bunga	*	*	*	tn	tn	tn	tn	33 .4
Fruitset	*	*	*	tn	tn	*	tn	31 .7
Jumlah polong total	*	*	*	tn	tn	*	tn	9. 2t
Jumlah polong isi	t	*	t	tn	tn	tn	tn	8. 9t
Bobot	t	*	t	tn	tn	tn	tn	7.

kering polong	n	n						9t
Jumlah biji	t	*	t	tn	tn	tn	tn	31
Bobot biji 100 butir	n	n						.0t
EPA	*	*	t	tn	tn	tn	tn	3.
			n					3t
	t	*	t	tn	*	tn	*	10
	n	n						.1t

Keterangan: G = genotipe, K = interval penyiraman, N = netralisasi Al, * = berbeda nyata pada α 0.05, tn = tidak berbeda nyata, t = hasil transformasi

Perlakuan cekaman kekeringan berpengaruh nyata terhadap terhadap semua peubah kecuali tinggi tanaman, panjang akar dan umur berbunga. Perlakuan netralisasi Al berpengaruh nyata terhadap peubah tinggi tanaman, jumlah daun, bobot kering tajuk, bobot kering akar, bobot bintil akar, umur berbunga, jumlah bunga, fruitset dan jumlah polong per tanaman. Perlakuan genotipe berinteraksi dengan netralisasi Al pada peubah tinggi tanaman, bobot bintil akar, umur berbunga dan efisiensi penggunaan air (EPA). Interaksi antara perlakuan cekaman kekeringan dan netralisasi Al berpengaruh nyata terhadap peubah jumlah daun, bobot kering tajuk, bobot kering akar, bobot kering bintil akar, panjang akar, *fruitset* dan jumlah polong per tanaman. Interaksi antara perlakuan genotipe, periode kekeringan dan cekaman Al hanya terlihat pada peubah panjang akar dan EPA.

Tabel 2 Rekapitulasi sidik ragam respon tinggi tanaman dan jumlah daun genotipe kedelai pada berbagai taraf cekaman kekeringan dan cekaman aluminium (Faktorial In Time)

Peubah	Perlakuan							
	G	K	N	G	G	K	GK	K
	x	x	x	Kx	Nx	Nx	Nx	K
Tinggi tanaman	*	tn	*	tn	*	tn	tn	14.59
Jumlah daun	*	*	*	tn	tn	*	tn	20.10

Keterangan: G = genotipe, K = interval penyiraman, N = netralisasi Al, W = waktu, * = berbeda nyata pada α 0.05, tn = tidak berbeda nyata

4.1. Tinggi Tanaman

Pengamatan tinggi tanaman dilakukan setiap dua minggu, dimulai 2 minggu setelah

tanaman (MST) sampai dengan 8 MST (Tabel 3). Cekaman Al menekan tinggi tanaman kedelai genotipe SP 30-4 pada umur 2, 6 dan 8 MST, dan menekan tinggi varietas Tanggamus pada umur 6 dan 8 MST. Hal ini disebabkan oleh keracunan Al yang dapat menyebabkan kerusakan dan terhambatnya pertumbuhan akar tanaman. Kerusakan akar yang disebabkan oleh keracunan Al mengakibatkan rendahnya kemampuan tanaman menyerap hara dan air, sehingga tanaman akan kekurangan hara dan mudah kekeringan yang pada akhirnya mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Marshner 1995).

Tinggi varietas Anjasmoro dan genotipe P 57-1 tidak dipengaruhi oleh adanya cekaman Al. Hal ini menunjukkan bahwa untuk peubah tinggi tanaman, Anjasmoro dan PG 57-1 menunjukkan respon yang toleran terhadap cekaman Al. Diduga kedua genotipe ini memiliki sifat lebih efisien dalam memanfaatkan hara N (Syakhril 1997), Ca, P, Mg, K, Fe, Mn (Sunarto 1993). Sifat yang lebih efisien dalam memanfaatkan hara ini menyebabkan pertumbuhan tajuk yang lebih baik. Perbedaan tinggi tanaman yang tercekam Al dan tidak tercekam Al

Tabel 3 Respon tinggi tanaman terhadap interaksi genotipe dan cekaman Al

Genotipe	Tinggi tanaman (cm)	
	Netralisasi Al (100% Aldd)	Netralisasi Al (0% Aldd)
2 MST.....	
SP 30-4	24.6abc	18.6d
Anjasmoro	29.1a	28.1a
PG 57-1	26.4ab	27.1ab
Tanggamus	22.8bc	20.4cd
4 MST.....	
SP 30-4	35.1bc	27.2c
Anjasmoro	45.0a	45.6a
PG 57-1	38.1ab	39.6ab
Tanggamus	35.4bc	31.2bc
6 MST.....	
SP 30-4	114.1a	76.0c
Anjasmoro	115.2a	101.1ab
PG 57-1	97.6ab	98.1ab
Tanggamus	108.1a	86.9bc
8 MST.....	
SP 30-4	170.7a	116.3c
Anjasmoro	134.1bc	121.0c
PG 57-1	144.4b	128.1bc
Tanggamus	150.2ab	118.6c

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%

Decoteau (2005) menyatakan bahwa kadar air defisit atau kekeringan dapat menurunkan pembelahan sel dan fotosintesis, karena air mempunyai peranan yang penting sebagai pelarut, media transport, memberikan turgor sel dan bahan baku untuk fotosintesis (Parker 2004). Ismunadji dan Mahmud (1993) dan Yutono (1993) juga melaporkan bahwa kejenuhan Al yang tinggi dapat mengurangi jumlah buku, tinggi tanaman, luas daun serta produksi kedelai.

4.2. Jumlah Daun

Hasil pengujian menunjukkan bahwa respon jumlah daun dipengaruhi oleh interaksi cekaman kekeringan dan cekaman Al. Pada umur 2 MST, cekaman Al menurunkan jumlah daun tanaman kedelai yang mengalami kekeringan 2 hari, dan pada umur 6 MST cekaman Al menurunkan jumlah daun tanaman kedelai yang mengalami kekeringan 2 dan 6 hari. Nilai rata-rata jumlah daun disajikan pada Tabel 4 Respon jumlah daun terhadap interaksi cekaman kekeringan dan cekaman aluminium

Umur	Jumlah daun (helai)					
	Netralisasi Al (100% Al ₂ O ₃)			Netralisasi Al (0% Al ₂ O ₃)		
	Interval penyiraman					
	2 hari	6 hari	10 hari	2 hari	6 hari	10 hari
2 MST	3.3a	2.9b	2.9b	2.8b	2.8b	2.9b
4 MST	5.0a	4.9a	4.8a	4.8a	4.8a	4.8a
6 MST	16.2a	13.3b	12.8bc	10.5d	9.5d	10.7cd

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%

Penurunan jumlah daun disebabkan oleh terganggunya pertumbuhan akar. Kerusakan struktur dan fungsi akar oleh Al menyebabkan berkurangnya kemampuan akar menyerap hara dan air yang tersedia sehingga translokasi air dan hara ke bagian tajuk berkurang (Misnen 2010). Sel tanaman akan mengalami siklus pembelahan atau siklus sel untuk dapat tumbuh dan berkembang. Pada saat berlangsungnya siklus sel, terdapat material tertentu yang mengontrol sehingga proses siklus sel berjalan normal yaitu enzim, protein dan

hormon. Pada kondisi kekeringan aktivitas hormon sitokinin yang berfungsi dalam pembelahan sel dan menjaga turgor sel menjadi terhambat sehingga tunas tidak dapat terinisiasi dan daun menjadi mudah rontok. Selain menghambat hormon sitokinin, kondisi kekeringan dapat menghambat aktivitas hormon auksin yang berperan dalam mendorong pembelahan sel batang, daun dan akar yang diproduksi pada meristem apikal. Menurut Horgan (1990), hormon yang berperan dalam pembelahan, pembesaran dan diferensiasi sel serta menunda penuaan adalah sitokinin. Sebaliknya kondisi kekeringan akan meningkatkan produksi hormon etilen. Lakitan (1996) menyatakan bahwa etilen merupakan hormon yang berperan dalam penuaan daun sehingga daun menjadi gugur.

4.3. Bobot Kering Tajuk

Hasil pengujian menunjukkan bahwa interaksi cekaman kekeringan dan cekaman Al menurunkan bobot kering tajuk tanaman kedelai. Pada kondisi netralisasi 100% Al₂O₃, peningkatan interval penyiraman menurunkan bobot kering tajuk tanaman kedelai. Cekaman Al menekan jumlah daun pada setiap tingkat interval penyiraman. Nilai rata-rata bobot kering tajuk tanaman kedelai disajikan pada Tabel 5.

Kerusakan struktur dan fungsi akar menyebabkan berkurangnya kemampuan akar menyerap hara dan air yang tersedia dalam tanah sehingga translokasi hara dan air ke bagian tajuk berkurang. Menurut Lakitan (2007) air dapat mengalir dengan mudah dalam jaringan apabila adanya perbedaan potensi air antara udara dan tanah, adanya tenaga hidrasi dinding pembuluh xilem yang mampu mempertahankan molekul air terhadap gaya gravitasi, dan adanya gaya kohesi antara molekul air yang menjaga keutuhan kolom air di dalam pembuluh xilem. Berdasarkan penjelasan diatas, diduga potensi air tanah pada kondisi kekeringan 6 hari dan 10 hari sangat rendah sehingga akar tidak memiliki kemampuan dalam menyerap air, akibatnya sel pada jaringan tajuk kehilangan turgor yang berdampak pada rendahnya nilai bobot tajuk tanaman kedelai.

Selain penghambatan absorpsi hara terjadi juga penurunan aktivitas enzim nitrat reduktase (Fitter dan Hay 1994). Defisiensi hara dan penurunan aktivitas enzim ini menghambat beberapa metabolisme penting dalam tanaman sehingga pertumbuhan bagian atas tanaman turut terhambat (Rengel 1997).

Tabel 5 Respon bobot kering tajuk terhadap interaksi cekaman kekeringan dan cekaman aluminium

Interval penyiraman	Netralisasi 100% Al ₂ O ₃	Netralisasi 0% Al ₂ O ₃
2 hari	9.52a	3.89d
6 hari	7.08b	2.96d
10 hari	4.76c	2.54d

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Mekanisme adaptasi *avoidance* tanaman kedelai hanya terlihat pada genotipe PG 57-1 pada peubah panjang akar saat tercekam kekeringan. Mekanisme ini terlihat dari pemanjangan akarnya disaat tercekam kekeringan.

Semakin tinggi nilai peubah yang diamati, semakin tinggi tinggi tanaman, jumlah daun, bobot kering tajuk yang dihasilkan.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjut untuk melihat hubungan antara daya pulih akar dengan pertumbuhan vegetatif dan pertumbuhan generatif dengan perlakuan yang lebih rinci.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adie MM, Krisnawati A. 2007. Biologi tanaman kedelai. Di dalam : Sumarno, Suyatno, Widjojo A, Hermanto, dan Kasim H, editor. *Kedelai : Teknik Produksi dan Pengembangan*. Bogor : BPPTP. hlm 45-73.
- [2] Bakhtiar, Purwoko BS, Trikoesoemaningtyas, Chozin MA, Dewi, Amir M. 2007. Penapisan galur haploid ganda padi gogo hasil kultur antena untuk toleransi terhadap cekaman aluminium. *Bul. Agron.* 35:8-14.
- [3] Board JE and Cadwell AG. 1991. Response of determinate soybean cultivars to low pH soil. *Plant and Soil.* 132:289-292
- [4] [BPS] Badan Pusat Statistik.1995. <http://www.bps.go.id/tnmnpgn.php?kat=3>. [16 Mei 2012].
- [5] [BPS] Badan Pusat Statistik. 2011. <http://www.bps.go.id/tnmnpgn.php?kat=3>. [16 Mei 2012].
- [6] Cruz RT, Jordan WR and Dew MC. 1992. Structural changes and associated reduction of hydraulic conductance in roots of *Shorgum bicolor* L following exposure to water deficit. *Plant Physiol.* 99:203-212.
- [7] Delhaize and Ryan PR. 1995. Aluminium toxicity and tolerance in plant. *Plant Physiol.* 107: 215-23.
- [8] Decoteau, DR. 2005. Principles of Plant Science. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- [9] De Souza PI, Dennis B, Egli, Bruening WP. 1997. Water stress during seed filling and leaf senescence in soybean. *Agron J.* 89:807-812.
- [10] Doorenbos J, Pruitt WO. 1977. Guidelines for predicting crop water requirement. *FAO irrigation and drainage paper* No. 224.
- [11] Duncan RR and Baligar VC. 1990. Genetics, breeding and physiological mechanism of nutrient uptake and use efficiency: An overview. Di dalam : Baligar VC and Duncan RR (Eds.). *Crop as Enhancer of Nutrient Use*. San Diego:Academic Press. Inc.
- [12] Fitter AH, Hay RKM. 1991. Fisiologi Lingkungan Tanaman. Sri Andani dan ED Purbayanti, Penerjemah. Yogyakarta: Gajahmada University Press. Terjemahan dari: *Enviromental Physiology of Plant*).
- [13] Gardner FP, Pearce BR, Mitchell RL.1991. Fisiologi Tanaman Budidaya. Herawati Susilo, Penerjemah. Jakarta: Universitas Indonesia. Terjemahan dari: *Physiology of Crop Plants*.
- [14] Granier CH and Tardieu. 1999. Water deficit and spatial pattern of leaf development variability in responses can be stimulated using simple.
- [15] Ghulamahdi, M, Sandra AA, Maya M, Nurwita D, Sri AR. 2006. Aktivitas nitrogenase, serapan hara dan pertumbuhan dua varietas kedelai pada kondisi jenuh air dan kering. *Bul. Agron.* 34:32-38.
- [16] Hamayun M, Khan SA, Shinwari ZK, Khan AL, Ahmad N, Lee IJ. 2010. Effect of polyethylene glycol induced drought stress on physio-hormonal attributes of soybean. *Pak. J. Bot.* 42:977-986.