

# RESPONS TANAMAN KEDELAI TERHADAP LINGKUNGAN TUMBUH

Abdullah Taufiq dan Titik Sundari<sup>1)</sup>

## ABSTRAK

Tanaman kedelai (*Glycine max* L.) dapat memberikan respons positif dan negatif terhadap perubahan lingkungan tumbuh di atas tanah maupun di dalam tanah. Respons tersebut dapat diketahui dari perubahan fenotipik dan fisiologis tanaman. Lingkungan di atas tanah yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman kedelai terutama adalah lama dan intensitas penyinaran, suhu udara, dan kandungan CO<sub>2</sub> di atmosfer. Lama penyinaran yang optimal adalah 10–12 jam. Berkurangnya intensitas cahaya matahari menyebabkan tanaman tumbuh lebih tinggi, ruas antarbuku lebih panjang, jumlah daun dan jumlah polong lebih sedikit, dan ukuran biji semakin kecil. Respons kedelai terhadap perubahan suhu tergantung pada fase pertumbuhan. Suhu yang sesuai pada fase perkecambahan adalah 15–22 °C, fase pembungaan 20–25 °C, dan pada fase pemasakan 15–22 °C. Peningkatan CO<sub>2</sub> atmosfer dari 349 µL menjadi 700 µL meningkatkan laju pertukaran karbon (C), menurunkan laju transpirasi, dan meningkatkan efisiensi penggunaan air. Kondisi lingkungan di dalam tanah yang berperan terhadap pertumbuhan kedelai terutama adalah tekstur tanah, kadar air tanah dan unsur hara, unsur-unsur toksik, kemasaman tanah, suhu tanah, dan salinitas. Kedelai tumbuh baik pada tanah bertekstur ringan hingga berat, namun tanah yang padat (BI >1,38 kg/m<sup>3</sup>) tidak sesuai untuk kedelai. Kebutuhan air tanaman kedelai pada fase generatif lebih tinggi dibandingkan pada fase vegetatif, sehingga pada fase generatif lebih peka terhadap kekeringan terutama pada fase pembungaan hingga pengisian polong. Kandungan air optimal adalah 70–85% dari kapasitas lapangan. Kandungan unsur hara tanah harus di atas batas kekahatan agar tanaman tumbuh optimal. Nilai kritis suatu unsur hara dalam tanah beragam tergantung jenis tanah dan metode analisis yang digunakan. Pengaruh suhu tanah terutama pada fase perkecambahan, dan suhu tanah optimal adalah 24,2–32,8°C. Kedelai agak sensitif terhadap kemasaman tanah, unsur-unsur toksik, dan salinitas. Nilai kritis pH, Al, Mn, dan salinitas berturut-turut adalah pH 5,5, Al-dd 1,33 me/100 g, Mn 3,3 ppm, dan 1,3 dS/m. Rhizobium berperan dalam memasok kebutuhan N tanaman kedelai, namun inokulasi

tidak efektif pada tanah yang sering ditanami kedelai.

Kata kunci: *Glycine max*, interaksi, lingkungan

## ABSTRACT

The response of soybean (*Glycine max* L.) to above and below ground environmental change can be positive and negative. The response can be identified from phenotypic as well as physiological change of the plant. The above ground environment affect soybean growth is mainly intensity and photoperiods, temperature and CO<sub>2</sub> concentration. Optimum photoperiods is 10–12 hours. Decreasing sun shine intensity reduced plant height, increase the internode, decrease number of leaf, pod set and seed size. Response of soybean to temperature depends on the growth phase. The optimum temperature during seedling, flowering, and maturing stage is 15–22°C, 20–25°C, and 15–22°C respectively. Increasing CO<sub>2</sub> atmosphere from 349 µL to 700 µL increase carbon exchange rate, reduce transpiration rate, and increase water use efficiency. The below ground condition affect soybean growth is mainly soil texture, soil moisture and nutrient content, soil acidity, toxic element, soil temperature, and salinity. Soybean is favourable on light to heavy texture soil. However, compacted soil (bulk density >1.38 kg/m<sup>3</sup>) is unfavourable for soybean. Soybean of generative stage need more water than that of vegetative stage, so that soybean more sensitive to water stress during generative stage, especially during flowering and pod filling stages. Optimum soil moisture content for soybean is 70–85% of field capacity. Nutrient concentration of soil must be above the critical deficiency level in order soybean grows normally. The critical deficiency level of a nutrient is various depends on soil type and the method of analysis. Soil temperature affect mainly during seedling stage, and optimum is 24.2 to 32.8°C. Soybean is moderately sensitive to salinity, and the critical level is 1.3 dS/m. Rhizobium has an important role for N supply for soybean, but inoculation mostly ineffective on soil where soybean is often cultivated.

Keywords: *Glycine max* L., interaction, environment

## LINGKUNGAN TUMBUH

Tanaman terdiri dari dua bagian utama yaitu, bagian di atas tanah berupa batang dan daun, serta bagian di bawah tanah yang berupa sistem perakaran. Faktor lingkungan bagian

<sup>1)</sup> Balai Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Jl. Raya Kendalpayak km 8 Kotak Pos 66 Malang 65101. email balitkabi@litbang.deptan.go.id.

Naskah diterima tanggal 10 November 2011, disetujui untuk diterbitkan tanggal 13 Februari 2012.

Diterbitkan di Buletin Palawija No. 23: 13–26 (2012).

tanaman di atas tanah terdiri atas sinar matahari, suhu udara, kelembaban udara, kandungan gas di udara, dan hujan. Faktor lingkungan bagian tanaman di dalam tanah terdiri atas suhu tanah, kandungan air tanah, salinitas, pH, kandungan unsur hara, kandungan unsur toksik, tekstur dan struktur tanah, dan aerasi tanah. Komponen-komponen faktor lingkungan tersebut secara individu maupun interaksinya berpengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap pertumbuhan tanaman.

Respons tanaman terhadap lingkungan berbeda-beda tergantung jenis dan kultivar tanaman. Tanaman dapat memberikan respons positif maupun negatif terhadap perubahan lingkungan tumbuh. Respons yang beragam tersebut menimbulkan terjadinya interaksi antara lingkungan dengan genotipe, dan fenomena tersebut sering ditemui dalam pengujian multilokasi. Respons tersebut dapat diketahui dari perubahan fisik tanaman berupa perubahan pertumbuhan, dan perubahan fenotipik tanaman. Respons tanaman juga dapat diketahui dari perubahan proses fisiologis misalnya kecepatan fotosintesis, dan translokasi fotosintat.

### RESPONS TERHADAP CAHAYA, SUHU, DAN CO<sub>2</sub>

Kedelai adalah tanaman berhari pendek, yaitu tidak mampu berbunga bila penyinaran melebihi 16 jam, dan cepat berbunga bila kurang dari 12 jam. Lama penyinaran matahari di Indonesia umumnya sekitar 12 jam. Di Indonesia kedelai berbunga pada umur 25–40 hari dan panen pada umur 75–95 hari, sedangkan di wilayah subtropika dengan panjang hari 14–16 jam kedelai berbunga umur 50–70 hari dan panen pada umur 150–160 hari. Lama penyinaran optimal adalah 10–12 jam, penyinaran kurang dari 10 jam atau lebih dari 12 jam menyebabkan pembungaan lambat, penurunan jumlah bunga, polong, dan hasil, tetapi ukuran biji tidak terpengaruh dan menjadi lebih kecil bila penyinaran <6 jam (Arifin 2008). Penyinaran terus menerus dengan sinar buatan menghasilkan total biomas dan total kapasitas *source* untuk fotosintesis yang lebih tinggi dibandingkan penyinaran selama 10 jam, akan tetapi laju fotosintesis/satuan luas daun dan produksi polong lebih rendah (Kasai 2008).

Kedelai sesuai pada lingkungan dengan intensitas cahaya dan suhu sedang, serta tanah cukup lembab. Pada daerah panas pertumbuhannya terhambat karena enzim RuBisCO (*Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase oxygenase*) mengikat banyak oksigen dengan meningkatnya suhu sehingga memacu fotorespirasi yang menyebabkan kehilangan karbon dan nitrogen sehingga menghambat pertumbuhan.

Kedelai memerlukan penyinaran penuh, tetapi dalam praktik budidaya di Indonesia, kedelai sering ditumpangсарikan dengan tanaman lain. Intensitas cahaya yang diterima kedelai pada tumpangсарi dengan jagung berkurang sekitar 33% (Asadi *et al.* 1997). Berkurangnya intensitas sinar matahari menyebabkan tanaman tumbuh lebih tinggi, ruas antar buku lebih panjang, jumlah daun lebih sedikit, jumlah polong makin sedikit, dan ukuran biji semakin kecil (Susanto dan Sundari 2010). Tanggapan tanaman kedelai terhadap cahaya berbeda antarvarietas. Varietas Pangrango lebih tanggap terhadap peningkatan kuantitas cahaya daripada varietas Wilis dan Brawijaya (Sitompul 2003).

Berdasarkan tipe fotosintesis, kedelai merupakan kelompok tanaman C3. Tingkat kejenuhan fotosintesis kelompok tanaman C3 dicapai pada intensitas cahaya lebih rendah dibandingkan tanaman C4. Tingkat kejenuhan cahaya bagi individu daun kelompok tanaman C3 dicapai pada kisaran 50% cahaya penuh, sedangkan tanaman C4 hampir linier hingga 100% cahaya penuh (Odum 1983). Laju fotosintesis lambat pada kondisi intensitas cahaya dan suhu tinggi. Fotosintesis pada kondisi suhu dingin, lembab, namun cahaya normal lebih efisien dibandingkan tanaman C4. Pada kondisi panas dan kering, stomata menutup untuk mengurangi kehilangan air, tetapi menghambat pertukaran CO<sub>2</sub> sehingga menurunkan laju fotosintesis. Pada tanaman C3, enzim yang menyatukan CO<sub>2</sub> dengan substrat untuk pembentukan karbohidrat (fotosintesis) pada saat bersamaan dapat mengikat O<sub>2</sub> untuk proses fotorespirasi (pembongkaran karbohidrat untuk menghasilkan energi yang terjadi pada siang hari).

Peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer mempengaruhi iklim global, rata-rata suhu tahunan, dan pola curah hujan. Peningkatan CO<sub>2</sub> atmosfer juga akan mempengaruhi laju pertumbuhan dan perilaku tanaman (Strain 1985).

Kedelai lebih adaptif pada kondisi CO<sub>2</sub> atmosfer tinggi. Peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> dari 349 µL menjadi 700 µL meningkatkan laju pertukaran karbon (C), menurunkan laju transpirasi, dan meningkatkan efisiensi penggunaan air, serta sebagian besar C terpartisi ke dalam bentuk pati (Huber *et al.* 1984). Kedelai yang ditumbuhkan pada CO<sub>2</sub> atmosfer yang tinggi menunjukkan laju pertumbuhan yang lebih tinggi (Jones *et al.* 1984), luas daun yang lebih besar (Peet 1984), dan hasil yang lebih tinggi (Kimball 1983, Teramura *et al.* 1990). Peningkatan CO<sub>2</sub> atmosfer pada suhu rendah menyebabkan pertumbuhan kedelai lebih baik (Sionit *et al.* 1987). Namun sebaliknya, setiap peningkatan suhu 1°C menurunkan hasil kedelai 17% (Lobell dan Asner 2003).

Kedelai banyak dibudidayakan di lingkungan tropis dan subtropis, dapat tumbuh hingga ketinggian tempat 1000 m dpl. Daya adaptasi yang luas tersebut karena kedelai relatif tahan pada kondisi suhu rendah dan tinggi. Suhu udara yang paling sesuai adalah 20–25 °C. Kecepatan pertumbuhan mengalami penurunan pada suhu >35 °C maupun pada suhu <18 °C. Kondisi iklim dengan suhu dan radiasi UV-B tinggi dapat menyebabkan kerusakan organ reproduktif seperti morfologi bunga dan serbuk sari pada kedelai (Koti *et al.* 2005).

Sensitifitas kedelai terhadap perubahan suhu tergantung pada fase pertumbuhan. Suhu udara minimum untuk pertumbuhan vegetatif adalah 10 °C, untuk pembentukan polong dan biji adalah 15 °C. Suhu yang sesuai untuk kedelai pada fase perkecambahan adalah 15–22 °C, fase pembungaan 20–25 °C, dan pada fase pemasakan 15–22 °C (Liu *et al.* 2008). Peningkatan suhu udara pada siang hari dari 30 °C menjadi 35 °C selama 10 jam dari fase pembungaan hingga pemasakan menyebabkan penurunan hasil 27%, akan tetapi peningkatan suhu pada malam hari dari 20 menjadi 30 °C tidak berpengaruh terhadap hasil dan komponen hasil (Gibson dan Mullen 1996).

Hasil biji kedelai meningkat seiring dengan peningkatan suhu antara 18/12 °C (siang/malam) dan 26/20 °C, tetapi hasil mengalami penurunan pada suhu lebih tinggi dari 26/20 °C karena ukuran biji menjadi lebih kecil (Sionit *et al.* 1987). Suhu tinggi (30/20°C) selama pembungaan dan pembentukan polong menghasilkan jumlah polong yang lebih banyak, tetapi

suhu di atas 40 °C menghambat pembentukan polong (Lawn dan Hume 1985). Peningkatan suhu dari 19/20 °C menjadi 34/20 °C selama pengisian biji menurunkan hasil biji kedelai (Dornbos dan Mullen 1991).

## RESPONS TERHADAP KONDISI FISIK TANAH

Karakter fisik tanah yang banyak berhubungan dengan pertumbuhan tanaman adalah tekstur, struktur, konsistensi, porositas, densitas, dan suhu tanah. Karakter fisik tanah berpengaruh terhadap perakaran dan proses fisiologi akar. Meskipun demikian hasil akhir dari pengaruh tersebut dapat terlihat pada bagian tanaman di atas tanah, misalnya terhambatnya pertumbuhan, dan menurunnya hasil biji. Karakter fisik tanah dapat berpengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap tanaman.

Kedelai dapat tumbuh pada tanah bertekstur ringan hingga berat. Akan tetapi Beutler *et al.* (2005) menunjukkan bahwa di Brazil pertumbuhan terhambat dan hasil kedelai turun mulai nilai ketahanan penetrasi tanah 0,85 Mpa dan berat isi tanah (BV) 1,48 kg/m<sup>3</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang padat kurang baik untuk kedelai. Rismaneswati (2006) melaporkan bahwa hasil kedelai sangat rendah (0,9–1,0 t/ha) pada Alfisol yang mempunyai BV 1,29–1,34 g/cm<sup>3</sup>. Botta *et al.* (2004) melaporkan bahwa peningkatan BV akibat pemadatan tanah dari 1,33 kg/m<sup>3</sup> menjadi 1,38 kg/m<sup>3</sup>, 1,40 kg/m<sup>3</sup>, dan 1,51 kg/m<sup>3</sup> menurunkan hasil kedelai dari 3,1 t/ha menjadi berturut-turut 2,8 t/ha, 2,4 t/ha, dan 1,9 t/ha atau terjadi penurunan hasil berturut-turut 9,7%, 22,6%, dan 38,7%. Pemadatan tanah juga berpengaruh terhadap pembentukan bintil akar. Pada kondisi tanpa mulsa, jumlah bintil akar meningkat dengan makin padatnya tanah, namun terjadi sebaliknya jika diberi mulsa (Siczek dan Lipiec 2011).

## RESPONS TERHADAP SUHU TANAH

Suhu tanah berpengaruh terhadap pertumbuhan kedelai, utamanya saat fase perkecambahan. Untuk mendapatkan perkecambahan biji yang baik, suhu tanah harus lebih tinggi dari 10 °C. Suhu tanah optimal untuk perkecambahan biji adalah 24,2–32,8 °C (Tyagi dan Tripathi 1983).

## RESPONS TERHADAP SALINITAS TANAH

Salinitas adalah tingkat kegaraman yang mengindikasikan jumlah garam terlarut dalam air. Ion yang dapat menyebabkan salinitas adalah ion-ion  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , dan  $\text{Cl}^-$ . Satuan yang digunakan beragam seperti ppt (*part per thousand*), PSU (*practical salinity unit* = g/kg). Konduktivitas elektrik (EC) umum digunakan untuk menunjukkan tingkat salinitas dan dinyatakan dengan satuan dS/m (desi siemens/m; 1 dS/m = 1 mmhos/cm = 640 ppm atau mg/kg = 1000  $\mu\text{S/cm}$ ).

Pada daerah semi-arid, meningkatnya penggunaan air irigasi akibat peningkatan intensifikasi pertanian menyebabkan peningkatan salinitas tanah (Yeo 1998). Dari laporan FAO/Unesco, di Afrika terdapat 69,5 juta ha lahan salin, di Asia, Amerika Latin, dan Australia masing-masing 19,5 juta ha, 59,4 juta ha, dan 84,7 juta ha (Brinkman 1980). Dengan semakin meningkatnya penggunaan air irigasi pompa, apalagi penggunaan pupuk yang cenderung meningkat maka di masa mendatang akan semakin banyak penumpukan garam di lahan pertanian.

Penilaian toleransi kedelai terhadap salinitas beragam tergantung parameter dan pembanding yang digunakan. Berdasarkan penurunan bobot kering tanaman dan kandungan N tanaman pada tingkat salinitas 50 dan 100 mM NaCl, kedelai tergolong toleran dibandingkan kacang tunggak, kacang hijau, dan faba-bean (Delgado *et al.* 1994). Berdasarkan pengujian salinitas dari ECe 0,8 hingga 7,0 dS/m, kedelai termasuk mempunyai sensitivitas sedang dibandingkan dengan jagung, tomat, dan kentang (Katerji *et al.* 2000). Katerji *et al.* (2000) menggunakan istilah sensitivitas dan bukan toleransi. Biji kedelai tidak mampu berkecambah pada salinitas tanah (ECe) >7 dS/m (Mindari 2009). Hasil kedelai tidak mengalami penurunan pada salinitas 5 dS/m, tetapi pada salinitas 6,2, 7,5, dan 10 dS/m mengalami penurunan berturut-turut 25%, 50%, dan 100%. Berdasarkan penurunan hasil 10%, nilai kritis salinitas untuk kedelai adalah 1,3 dS/m (setara padi dan kacang tanah) (<http://www.dpi.nsw.gov.au>).

Pembentukan bintil akar dan fiksasi N turun pada salinitas 27 mM NaCl (Qifu dan Murray 1993). Peningkatan salinitas dari 0,8 dS/m menjadi 4,2 dS/m menurunkan total serapan

N sebesar 11% dan hasil sebesar 12%, pada peningkatan menjadi 7,0 dS/m menurunkan total serapan N sebesar 44,7% dan hasil sebesar 46% (van Horn *et al.* 2001). Peningkatan salinitas dari 5 dS/m menjadi 10 dS/m menurunkan indeks luas daun, total klorofil kanopi daun, efisiensi penggunaan sinar matahari, akan tetapi indeks kandungan klorofil meningkat yang ditunjukkan juga oleh warna daun hijau gelap (Wang *et al.* 2001).

Varietas unggul kedelai mempunyai tingkat toleransi yang berbeda terhadap salinitas. Varietas Wilis, Malabar, dan Sindoro toleran terhadap salinitas hingga konsentrasi NaCl 70 mM ( $\pm 6,4$  dS/m), sedangkan varietas Lokon, dan Tidar mempunyai toleransi sedang (Yuniati 2004). Berdasarkan vigor benih pada konsentrasi NaCl hingga 50 mM ( $\pm 4,6$  dS/m), varietas Orba tergolong toleran, Sinabung semi-toleran, dan Kawi tidak toleran (Muh. Farid 2006). Berdasarkan inisiasi tunas, varietas Wilis toleran hingga konsentrasi NaCl 8 g/L ( $\pm 12,5$  dS/m), varietas Kipas Putih, Jaya Wijaya, Tidar sudah terhambat pada konsentrasi NaCl 6 g/L ( $\pm 9,4$  dS/m), dan varietas Lokon pada konsentrasi NaCl 2 g/L ( $\pm 3,1$  dS/m) (Lubis, <http://www.researchgate.net>).

## RESPONS TERHADAP KONDISI AIR TANAH

Kelebihan atau kekurangan air mempengaruhi pertumbuhan kedelai. Kelebihan air menyebabkan genangan dan menimbulkan cekaman aerasi, sedangkan kekurangan air menyebabkan cekaman kekeringan. Beberapa istilah yang banyak digunakan dalam kaitan dengan air tanah adalah kapasitas lapangan (*field capacity*), titik layu (*wilting point*), dan air tersedia (*available water*).

Kapasitas lapangan adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kandungan air maksimum yang dapat ditahan oleh tanah setelah air pada kondisi jenuh turun ke bawah akibat gravitasi, umumnya 1 atau 2 hari setelah kondisi jenuh (Landon 1984). Besarnya nilai kapasitas lapangan tergantung pada tekstur tanah, tipe mineral liat (*clay*), kandungan bahan organik, dan struktur tanah. Kandungan air pada kapasitas lapangan setara dengan kandungan air pada potensial  $-0,33$  bar atau setara dengan 0,3 atm atau pF 2,53 (Hillel 1982; Jenny 1980; Landon 1984). Makin tinggi kandungan liat makin tinggi pula kandungan air pada

kapasitas lapangan. Makin tinggi kandungan oksida besi pada tanah-tanah yang berpelapukan lanjut juga meningkatkan air tersedia (Hidayat *et al.* 2002). Peningkatan kandungan C-organik sebesar 1% meningkatkan kandungan air tersedia sebesar 2% (Olness dan Archer 2005). Kandungan liat dan air tanah pada nilai pF 2,5 dari berbagai jenis tanah disajikan dalam Tabel 1.

Air tersedia adalah kandungan air tanah antara kondisi kapasitas lapangan dan titik layu permanen (*permanent wilting point*). Kondisi titik layu permanen adalah kondisi air tanah dimana daun tanaman menunjukkan kondisi layu yang tidak dapat pulih kembali pada kondisi kelembaban udara jenuh, atau setara dengan kandungan air pada potensial – 15 bar atau nilai pF 4,2 (Landon 1984). Tidak semua air tersedia dapat diserap tanaman. Landon (1984) memperkirakan sekitar 66% dari total air tersedia yang dapat diserap tanaman.

Air dalam fase cair merupakan bagian penting dalam siklus pertumbuhan tanaman. Sekitar 70–90% dari bobot tanaman merupakan zat cair, namun hanya sekitar 0,01% yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis. Kedelai membutuhkan air pada fase pertumbuhan cepat sebesar 2,54–5,08 mm/hari, pada fase pembungaan hingga polong isi penuh sebesar 5,08–7,62 mm/hari, dan fase pemasakan polong hingga panen sebesar 1,27–5,08 mm/hari (<http://www.aragriculture.org>). Secara umum, selama pertumbuhannya, (85–100 hari) kedelai membutuhkan air sebanyak 300–450 mm atau 2,5–3,3 mm/hari.

Kebutuhan air pada fase generatif lebih tinggi dibandingkan pada fase vegetatif. Oleh karena itu, fase generatif lebih peka terhadap

kekeringan, terutama pada fase pembungaan hingga pengisian polong. Cekaman kekeringan selama fase generatif menurunkan hasil kedelai sebesar 34%–46%. Pada tanah bertekstur berat (seperti Vertisol) dan ringan (seperti Entisol), hasil kedelai yang tinggi dicapai pada kandungan air tanah masing-masing 70–85% dan 62–75% dari kapasitas lapangan (Suyanto *et al.* 1998). Tetapi hasil penelitian Syahbudin *et al.* (1998) menunjukkan bahwa serapan nitrogen, fosfor, kalium dan hasil biji kedelai varietas Wilis pada Latosol tertinggi dicapai pada kandungan air tanah 125% dari air tersedia.

Kondisi air tanah saat tanam juga sangat penting diperhatikan karena menentukan perkecambahan biji. Rahmianna *et al.* (2000) melaporkan bahwa 81,3% benih kedelai berkecambah pada kisaran potensial air –0,56 bar (pF 2,7) sampai –1,12 bar (pF 3,0). Dari 18,7% benih yang gagal berkecambah, sebanyak 10,9% karena busuk dan sisanya masih dalam kondisi utuh.

Varietas kedelai mempunyai toleransi yang berbeda terhadap cekaman kekeringan. Pada kadar air tanah mendekati titik layu selama pertumbuhan generatif, hasil varietas Tidar, Pangrango, Krakatau, Burangrang, dan Panderman turun masing-masing sebesar 28,8%, 33,9%, 28,9%, 13,9%, dan 50,7% dibandingkan pada kadar air tanah kapasitas lapangan (Hamim *et al.* 2008). Varietas Willis dan Tidar terhambat pertumbuhannya pada kandungan air tanah masing-masing 60% dan 40% dari air tersedia (Mapegau 2006), yang berarti varietas Tidar lebih toleran dibandingkan varietas Wilis. Galur harapan kedelai Aochi-wil-60 dan 967/kawi-d9-185 menunjukkan tingkat toleransi yang lebih tinggi dibandingkan varietas Tidar dan Wilis (Tabel 2).

**Tabel 1. Kandungan liat dan air tanah pada nilai pF 2,5 (kapasitas lapangan) dari beberapa jenis tanah.**

Jenis tanah	Asal	Kandungan liat (%)	Kandungan air pada pF 2,5 (%)	Pustaka
Ultisol	Banten	34	37,8	Subowo <i>et al.</i> (2002)
		53	39,2	
Ultisol	Subang	40	39,7	Pirngadi dan Pane (2004)
Entisol	Kendalpayak, Malang	36	41,9	Sunardi <i>et al.</i> (2002)
Alfisol	Muneng, Probolinggo	22	33,4	Sunardi <i>et al.</i> (2002)
Vertisol	Ngale, Ngawi	81	83,0	Sunardi <i>et al.</i> (2002)
Entisol	Pasuruan	42	37,2	Sunardi <i>et al.</i> (2002)

## RESPONS TERHADAP UNSUR HARA

### Nitrogen (N)

Nitrogen merupakan komponen utama penyusun protein, klorofil, enzim, hormon dan vitamin. Nitrogen diserap dalam bentuk ion  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{NH}_4^+$  dan merupakan unsur yang sangat mobil (mudah ditranslokasikan) dalam tanaman, dan oleh karena itu gejala kekahatan (kekurangan) N akan nampak pada daun tua. Gejala kekahatan N pada tanaman muda ditunjukkan oleh daun berwarna hijau pucat, dan pada kondisi kekahatan yang parah daun berwarna kuning pucat, batangnya lemah dan memanjang. Pada tanaman yang tua, daun-daun bagian bawah menunjukkan gejala kuning yang parah dan akhirnya gugur. Pertumbuhan tanaman kerdil, batang berwarna kemerahan, perkembangan polong terhambat, daun mengecil dan berdinding tebal sehingga daun menjadi kasar/keras dan berserat.

Kekahatan N umumnya terjadi pada tanah bertekstur pasir, tanah-tanah yang masam (pH rendah) dimana aktivitas mikroorganisme tanah terganggu. Tanaman kedelai mampu menfiksasi N setara dengan 46 kg N/ha. Serapan N pada kedelai dapat mencapai 280,9 kg N/ha di mana 141 kg N/ha berasal dari penambatan N. Salvagiotti *et al.* (2008) menganalisis data dari 480 penelitian dari daerah subtropis dan tropis (termasuk Indonesia) dan menunjukkan bahwa total serapan N pada kedelai sebesar 44–485 kg N/ha (rata-rata 219 kg N/ha) dimana 52% dari hasil fiksasi. Secara umum, sekitar 50% dari N yang dibutuhkan tanaman berasal dari penambatan oleh

rizobium. Lahan yang pernah ditanami kedelai pada umumnya mempunyai populasi *Rhizobium* alami yang tinggi.

Tanah dengan kandungan N-total <0,1% N perlu dilakukan pemupukan N dosis 23–35 kg N/ha, terutama saat tanaman masih muda. Kandungan N sebesar 4,01–5,30% pada daun muda yang terbuka sempurna saat pembentukan polong dianggap cukup.

### Fosfor (P)

Fosfor merupakan komponen utama penyusun nukleoprotein, asam nukleotida, fosfolipida, penyusun enzim yang berperan aktif dalam transportasi energi. Fosfor juga penting dalam proses fosforilasi, fotosintesis, respirasi, sintesis, dan dekomposisi karbohidrat, protein, dan lemak. Unsur P sangat diperlukan untuk pembentukan biji. Fosfor diserap dalam bentuk ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dan bersifat mobil dalam tanaman. Kekahatan P menurunkan nodulasi dan fiksasi N, meningkatkan karbohidrat, menurunkan kadar air tanaman. Kekahatan P biasanya mulai muncul pada minggu ke-4, tanaman terlihat kerdil, ukuran daun kecil. Daun tua berwarna hijau gelap kemudian dengan cepat berubah warna menjadi kuning dan gugur sebelum waktunya. Batang berubah warna menjadi ungu karena adanya akumulasi antosianin. Kekahatan P menghambat pembentukan bintil akar, perkembangan akar, polong dan biji.

Kekahatan P umumnya terjadi pada Oxisol, Ultisol dan Inceptisol atau pada tanah masam yang mempunyai kandungan Fe, Al tinggi akibat adanya fiksasi. Kandungan P tersedia dalam klas ketersediaan yang sama beragam tergantung jenis tanah dan metode pengekstrak yang digunakan (Tabel 3).

### KALIUM (K)

Kalium merupakan unsur penting dalam metabolisme protein, karbohidrat, lemak, dan transportasi karbohidrat dari daun ke akar. Kalium diserap dalam bentuk  $\text{K}^+$  dan bersifat mobil dalam tanaman. Gejala kekahatan K mulai nampak pada daun tua, yaitu timbulnya klorosis di antara tulang daun atau tepi daun. Pada kekahatan yang parah klorosis meluas hingga mendekati pangkal daun dan hanya meninggalkan warna hijau pada tulang daun, dan selanjutnya timbul gejala nekrosis. Tepi daun tua menguning, menggulung ke atas dan

**Tabel 2. Hasil beberapa varietas dan galur kedelai pada kondisi normal dan cekaman kekeringan.**

Varietas/galur	Hasil biji (t/ha)	
	Normal	Kekeringan selama fase reproduktif
Cikuray	1,71	0,64
Burangrang	1,42	0,67
Panderman	1,68	0,98
Tidar	1,89	0,68
Wilis	1,70	0,89
Aochi-wil-60	1,71	1,53
967/Kawi-d9-185	1,72	1,51

Sumber: Suhartina (2007).

pada akhirnya mengering. Batas kritis kandungan K-dd untuk kedelai adalah 0,2–0,3 me/100 g tanah (Franzen 2003).

Kekahatan K umum terjadi pada Oxisol, Ultisol dengan kejenuhan basa rendah atau pada tanah bertekstur pasir. Tanah yang mengandung K dapat ditukar (K-dd) 0,2–0,3 me/100 g perlu pemupukan K sebesar 22,5–45 kg K<sub>2</sub>O/ha. Kelas ketersediaan hara kalium pada Ultisol untuk kedelai berdasarkan pengekstrak HCl 25% adalah rendah (<340 ppm K<sub>2</sub>O), sedang (340–1150 ppm K<sub>2</sub>O) dan tinggi (>1150 ppm K<sub>2</sub>O). Kebutuhan pupuk untuk mencapai hasil maksimum adalah 210, 190, dan 150 kg KCl/ha, sedangkan untuk mencapai hasil optimum 85, 2, dan 0 kg KCl/ha masing-masing untuk K tanah rendah, sedang, dan tinggi (Nursyamsi 2006).

Kekahatan S, Ca, P menurunkan kandungan K tanaman, namun kekahatan N meningkatkan K dalam tanaman. Imbangan antara (Ca+Mg)/K yang optimum untuk kedelai adalah 23–28 (Mascarenhas *et al.* 2004).

Kandungan K sebesar 1,71–2,50% dalam daun muda yang terbuka sempurna (*young fully matured leaf*, YFML) saat pembentukan polong dianggap cukup. Batas kritis kandungan K pada YFML pada fase R1 (berbunga) adalah 2,4% dan 2,6% masing-masing pada tanah yang diolah dan tanpa diolah (Yin dan Vyn 2005), pada fase R3–R4 (pembentukan polong) dan R5–R6 (pengisian polong) masing-masing adalah 0,88% dan 0,39% (Bell *et al.* 1987).

## Kalsium (Ca)

Kalsium berperan penting dalam pengaturan air dalam tanaman. Kalsium diserap dalam bentuk ion Ca<sup>2+</sup> dan mempunyai mobilitas rendah dalam tanaman, sehingga gejala kekahatan muncul pada daun muda atau titik tumbuh baik pada batang maupun akar. Meskipun demikian pada kekahatan yang parah, Ca dapat ditranslokasikan dari daun tua ke daun muda (Fegeria 2009). Kekahatan Ca ditandai dengan adanya bintik-bintik coklat atau hitam pada permukaan bawah daun, bila berlanjut terjadi nekrosis pada permukaan bawah maupun atas daun sehingga daun menjadi berwarna coklat, dan kadang daun nampak keriting mirip gejala serangan virus. Pada kondisi kekahatan yang akut ujung akar dan pucuk tanaman mati.

Kekahatan Ca umum terjadi pada tanah bertekstur pasir, Oxisol, Ultisol dengan pH masam, kejenuhan basa rendah dan Aluminium dapat ditukar (Al-dd) tinggi. Kandungan Ca-dd optimum untuk kedelai adalah 2,8 me/100 g (Fegeria 2009). Kandungan Ca 0,36–2,00% dalam daun muda yang terbuka sempurna saat pembentukan polong dianggap cukup.

## Magnesium (Mg)

Magnesium adalah komponen penyusun klorofil daun dan karenanya sangat penting dalam proses fotosintesis. Dalam tanaman, Mg termasuk unsur yang agak mudah ditranslokasikan dari daun tua dan oleh karenanya

**Tabel 3. Klas ketersediaan P tanah untuk kedelai pada berbagai jenis tanah dan metode ekstraksi.**

Jenis tanah	Kandungan P pada kelas ketersediaan (ppm P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )			Metode ekstraksi	Pustaka
	Rendah	Sedang	Tinggi		
Tidak ada informasi	13,7–22,9			Tidak ada informasi	Tandon dan Kimno (1993); Franzen (2003)
Andisol	<250 <80		>250 >80	Truog Olsen	Nursyamsi dan Nurul Fajri (2005)
Typic Kandiodoxs Lampung	<8 <12	8–20 12–36	>20 >36	Bray I Bray II	Nursyamsi <i>et al.</i> (2004)
Ultisol Banjarnegara	<5 <11	5–23 11–38	>23 >38	Bray I Bray II	Wijanarko dan Taufiq (2008)
Vertisol	60 38			Truog Olsen	Nursyamsi dan Nurul Fajri (2004)
Ultisol Lampung	<12,8			Bray-1	Wijanarko dan Sudaryono (2007)

gejala awal kekahatan akan nampak pada daun-daun tua. Daun mengalami klorosis yang berawal dari tepi daun, kemudian menjalar ke bagian tengah di antara tulang daun. Kekahatan yang meningkat menyebabkan terjadinya perubahan warna tepi daun menjadi merah kekuningan daun gugur, pertumbuhan terhambat dan hasil rendah.

Kekahatan Mg umum terjadi pada tanah bertekstur pasir, Oxisol, Ultisol dengan pH masam, kejenuhan basa rendah. Batas kritis kekahatan Mg-dd adalah 50 ppm Mg. Kandungan Mg-dd optimum untuk kedelai adalah 1,4 me/100 g (Fegeria 2009). Kisaran nilai cukup untuk kedelai pada daun muda adalah 0,26–1,0%.

### RESPONS TERHADAP LINGKUNGAN MASAM

Lahan kering masam umumnya berada pada daerah beriklim basah (curah hujan tahunan >2000 mm). Jenis tanah pada lahan kering beriklim basah didominasi oleh Ultisol dan Oxisol terutama tersebar di Kalimantan, Sumatera, Irian Jaya, sebagian Jawa dan Sulawesi.

Ciri utama lahan masam adalah pH tanah rendah (pH<6), dan umumnya kandungan Al tinggi. Kondisi pH tanah yang rendah dan Al tinggi tidak saja berpengaruh langsung terhadap tanaman, tetapi juga berpengaruh terhadap ketersediaan hara bagi tanaman (Tabel 4). Ultisol dan Oxisol di Lampung mempunyai pH 4,3 dan kemasaman tertukar 57,2 cmol+/kg (Setiawan 1997; Prasetyo dan Ritung 1998), mengandung Al monomerik 1,89 mM pada lapisan 0–15 cm dan 2,29 mM pada lapisan 15–45 cm (Van der Heide *et al.* 1992), pH tanah 4,5–5 dengan kejenuhan Al 24,5–30,2% (Taufiq *et al.* 2004).

**Tabel 4. Unsur hara tanaman yang mungkin kahat dalam hubungannya dengan pH tanah.**

Kisaran pH tanah	Unsur hara yang mungkin kahat
4–5	Mo, Cu, Mg, B, Mn, S, N, P, K
5–6	Mo, Mg, S, N, P, K, Ca
6–7	Mg
8–9	Cu, B, Fe, Mn, N, Zn
9–10	Cu, Fe, Mn, Mg, Ca, Zn

Sumber: ICAR (1987).

Adanya Al yang berlebihan dalam tanah masam menyebabkan pertumbuhan tanaman kedelai terganggu dan mengakibatkan rendahnya hasil. Gejala awal keracunan nampak pada sistem parakaran, akar tumbuh tidak normal, percabangan akar tidak normal. Gejala pada daun adalah adanya bercak-bercak klorosis di antara tulang daun muda, tetapi tulang daun tetap hijau. Pada gejala yang parah tanaman kerdil dan daun berbentuk seperti mangkuk. Keracunan Al sering terjadi pada tanah masam dengan kejenuhan basa rendah. Aluminium menjadi tidak larut pada pH  $\geq 5,5$  (Lindsay 1979).

Kondisi pH tanah optimal adalah 5,5–7,5. Beberapa varietas kedelai seperti Wilis, Seulawah, dan Tanggamus toleran terhadap kondisi masam hingga pH 4,4 (Tabel 5).

Batas toleransi kedelai terhadap kejenuhan Al adalah 20%. Kandungan Al-dd dalam tanah sebesar 22 ppm atau sekitar 0,24 me Al/100 g termasuk tinggi. Beberapa varietas kedelai di Indonesia yang ada saat ini mempunyai batas kritis keracunan Al sekitar 1,33 me Al/100 g dalam larutan tanah. Varietas Wilis tergolong toleran terhadap kejenuhan Al tinggi. Berdasarkan bobot kering akar, varietas Wilis tidak terpengaruh pada peningkatan kejenuhan Al dari 25% hingga 75%, sedangkan varietas Slamet, Sindoro, dan Dieng mengalami penurunan 68% hingga 80% (Hanum *et al.* 2007).

Lahan masam juga dapat berupa lahan pasang surut dengan jenis tanah Histosol, Entisol, dan Inceptisol (Subagyo dan Widjaja-Adhi 1998). Masalah agro-fisik lahan rawa pasang surut terutama adalah lingkungan

**Tabel 5. Hasil beberapa varietas kedelai pada Ultisol Sumatera Selatan.**

Varietas	Hasil biji (t/ha)	
	pH 4,4 dan Al-dd 1,2 me/100 g	pH 5,5 dan Al-dd 1,6 me/100 g
Burangrang	1,25	2,06
Panderman	0,51	2,57
Tanggamus	1,61	1,47
Sibayak	1,65	2,61
Seulawah	1,65	1,54
Wilis	1,88	1,69

Sumber: Purwantoro *et al.* (2007).

perakaran yang jenuh air dan anaerobik (lumpur, reduksi, kahat oksigen dan gas  $H_2S$ ), adanya pirit atau bahan sulfidik, keracunan Al, Fe dan Mn, pH sangat masam dan kesuburan alami rendah (kahat P, N dan K serta miskin basa-basa) (Sudarsono 1999). Pada lahan-lahan yang piritnya sudah teroksidasi, masalah utama adalah keracunan Al, Mn, dan Fe karena pH tanah yang rendah, serta kahat unsur P.

Batas kritis Mn dengan pengekstrak DTPA untuk kedelai pada *Ustochrepts* adalah 3,3 mg/kg tanah atau 3,3 ppm (Bansal dan Nayyar 1990). Batas kritis kekahatan Mn adalah 10  $\mu\text{g/g}$  dan keracunan adalah 160  $\mu\text{g/g}$  pada daun muda yang terbuka sempurna pada fase pertumbuhan R2 (Ohki 1981).

### RESPONS TERHADAP INOKULASI RHIZOBIUM

Kedelai adalah tanaman Legume yang membentuk bintil akar. Bintil akar terbentuk akibat adanya asosiasi antara akar tanaman dengan mikroba penambat N dari jenis *Rhizobium*. Bintil akar sesungguhnya berasal dari rambut akar tanaman yang terinfeksi oleh bakteri rhizobium dan kemudian mengalami perubahan bentuk. Jadi dalam satu bintil akar mengandung banyak bakteri rhizobium. Bakteri ini dapat hidup pada lingkungan oksigen ( $O_2$ ) terbatas (anaerobik) maupun pada kondisi kaya oksigen (aerobik), namun lebih menyukai kondisi yang aerobik. Waktu yang dibutuhkan dari terjadinya infeksi hingga terbentuknya bintil akar kecil sekitar 7 hari. Fiksasi N dimulai pada saat tanaman umur sekitar 25–30 hari.

Ciri bintil akar yang sehat dan tidak sehat:

1. Jika bintil akar dibelah, di dalamnya berwarna merah atau pink menunjukkan tingginya kandungan leghaemoglobin dan berarti aktif memfiksasi N. Semakin merah warnanya berarti semakin aktif.
2. Bintil akar yang dalamnya berwarna putih atau abu-abu menunjukkan masih muda dan belum ada kegiatan memfiksasi N.
3. Bintil akar yang berwarna hijau menunjukkan tidak aktif memfiksasi N yang bisa disebabkan oleh rhizobium yang tidak efisien atau karena tanaman yang kurus.

Rhizobium dalam bintil akar dapat mengikat nitrogen ( $N_2$ ) dari udara dan kemudian mengubahnya kedalam bentuk amonium ( $NH_4^+$ ) dengan bantuan enzim nitrogenase. Amonium

yang dihasilkan oleh rhizobium tersebut dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Sebaliknya bakteri rhizobium mengambil karbohidrat, protein, dan oksigen yang dihasilkan tanaman untuk hidup dan berkembang biak. Kebutuhan rhizobium akan oksigen dikontrol oleh protein yang mengandung unsur besi (Fe) yang disebut leghaemoglobin. Jumlah N yang difiksasi kedelai yang tumbuh normal dapat mencapai rata-rata 219 kg N/ha, dan jumlah tersebut dapat memenuhi sekitar 50% dari kebutuhan tanaman kedelai.

Terbentuknya bintil akar dan efektivitas rhizobium dipengaruhi oleh beberapa faktor:

1. Kekeringan: terbentuknya bintil akar dan fiksasi N sangat terhambat oleh kondisi kekeringan. Oleh karena itu kelembaban tanah harus dijaga optimal.
2. Kondisi tergenang: perkembangan rhizobium terhambat oleh adanya genangan sehingga fiksasi N juga terhambat.
3. Kondisi pH tanah yang rendah atau terlalu tinggi juga menghambat perkembangan rhizobium.
4. Pupuk N yang berlebihan akan menurunkan fiksasi N.
5. Aplikasi insektisida (yang diuji berbahan aktif carbofuran, thimet, dasanite, dan heptachlor) tidak berpengaruh terhadap kandungan leghaemoglobin, bintil akar.
6. Dipengaruhi oleh faktor tanah yang mempengaruhi perakaran, misalnya kandungan Aluminium (Al) dan mangan (Mn).
7. Dipengaruhi oleh bakteri dan jamur antagonis terhadap rhizobium.

Secara alamiah, populasi *Rhizobium* dalam tanah yang pernah ditanami tanaman jenis legume cukup tinggi. Dari beberapa contoh tanah di lahan kering Alfisol di Jawa menunjukkan populasi *Rhizobium* yang cukup tinggi (Tabel 6). Populasi sel *Rhizobium* alami bervariasi tergantung jenis tanaman yang diusahakan, pola tanam, dan iklim. Lahan yang pernah ditanami kedelai pada umumnya mempunyai populasi *Rhizobium* alami lebih tinggi, namun ada pula yang populasinya tinggi meskipun belum pernah ditanami kedelai.

Infektivitas dan efektivitas *Rhizobium* alami pada tanaman kedelai varietas Kawi di lahan kering Alfisol sebanding dengan Rhizo-Plus. Rhizo-Plus tidak infektif pada Ultisol di Jasinga. Infeksi semua strain *Rhizobium* di lahan masam

**Tabel 6. Populasi *Rhizobium* endogen (alami) lahan kering Alfisol dari beberapa daerah di Jawa Timur.**

Asal tanah	Populasi <i>Rhizobium</i> per gram tanah	Asal tanah	Populasi <i>Rhizobium</i> per gram tanah
Kalipare-Malang	$2 \times 10^3$	Lamongan	$8 \times 10^1$
Kademangan-Blitar	$1,5 \times 10^2$	Gondosuli-Probolinggo	$1,5 \times 10^2$
Besole-Tulungagung	$6,5 \times 10^1$	Banyuglugur-Besuki	$5,5 \times 10^1$
Watulimu-Trenggalek	$3,75 \times 10^2$	Nguling-Pasuruan	$2,3 \times 10^3$
Grujugan-Bondowoso	$9 \times 10^1$	Panuran-Tuban	$2,3 \times 10^3$
Kotakan-Situbondo	$9 \times 10^1$	Ranuyoso-Lumajang	$8 \times 10^1$
W.rejo-Banyuangi	$4 \times 10^3$	Sumberjambe-Jember	$8 \times 10^1$
Maron-Probolinggo	$9 \times 10^4$	Kdungdung-Sampang	$9 \times 10^1$
Galis -Bangkalan	$2 \times 10^3$	Ketapang-Sampang	$9 \times 10^1$
Burneh - Bangkalan	$5,5 \times 10^1$		

Sumber: data primer (Soedarjo 2001).

sangat lambat, terutama pada pH 4,5 atau lebih rendah.

Respons kedelai terhadap inokulasi *Rhizobium* beragam. Pemberian *Rhizobium* pada Ultisol Lampung dengan pH <4,5 meningkatkan bintil akar hingga 100% tetapi tidak meningkatkan hasil kedelai, dan pemberian pupuk 25 kg N/ha tidak meningkatkan hasil dan bahkan menekan pertumbuhan *Rhizobium* yang ditunjukkan oleh menurunnya berat bintil akar (Sumadi 1985). Adisarwanto (1990) melaporkan bahwa inokulasi kedelai dengan Rhizogen dosis 2,5–5 g/kg benih meningkatkan hasil kedelai di lahan kering Alfisol Pasuruan, dan peningkatan dosis rhizogen menjadi >5 g/kg benih tidak meningkatkan hasil. Penggunaan Rhizoplus dan Ginon di lahan kering Alfisol Probolinggo dan Blitar pada beberapa varietas kedelai tidak meningkatkan hasil (Adie *et al.* 2000). Pemberian Rhizoplus dan pemupukan 25 kg N/ha pada Ultisol Kalimantan Tengah tidak meningkatkan hasil kedelai (Asmarhansyah *et al.* 2001).

Sumadi (1987) melaporkan bahwa serapan N pada kedelai mencapai 280,9 kg N/ha dimana 141 kg N/ha atau 99% berasal dari fiksasi N. Salvagiotti *et al.* (2008) menganalisis data dari 480 penelitian dari daerah subtropis dan tropis (termasuk Indonesia) dan menunjukkan bahwa total serapan N pada kedelai sebesar 44–485 kg N/ha (rata-rata 219 kg N/ha) di mana 52% berasal dari hasil fiksasi oleh bakteri *Rhizobium*.

Hasil-hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan inokulan sangat tergantung dari pola tanam. Pada lahan yang sering dita-

nami kedelai, tidak diperlukan inokulasi untuk merangsang terbentuknya bintil akar.

## KESIMPULAN

Lama penyinaran yang optimal adalah 10–12 jam. Berkurangnya intensitas cahaya matahari menyebabkan tanaman tumbuh lebih tinggi, ruas antar buku lebih panjang, jumlah daun dan jumlah polong lebih sedikit, dan ukuran biji semakin kecil. Respons kedelai terhadap perubahan suhu tergantung pada fase pertumbuhan. Suhu yang sesuai pada fase perkecambahan adalah 15–22 °C, fase pembungaan 20–25 °C, dan pada fase pemasakan 15–22 °C. Peningkatan CO<sub>2</sub> atmosfer dari 349 µL menjadi 700 µL meningkatkan laju pertukaran karbon (C), menurunkan laju transpirasi, dan meningkatkan efisiensi penggunaan air.

Faktor lingkungan di atas tanah dan di dalam tanah secara individu maupun interaksinya berpengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap pertumbuhan tanaman. Respons tersebut dapat diketahui dari perubahan pertumbuhan, fenotipik tanaman, dan proses fisiologis. Lingkungan di atas tanah yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman kedelai terutama adalah lama dan intensitas penyinaran, suhu udara dan kandungan CO<sub>2</sub> di atmosfer.

Kondisi lingkungan di dalam tanah yang berperan terhadap pertumbuhan kedelai terutama adalah tekstur tanah, kadar air tanah dan unsur hara, kemasaman tanah, unsur-unsur toksik, suhu tanah, dan salinitas. Kedelai tumbuh baik pada tanah bertekstur ringan

hingga berat, namun tanah yang padat ( $BI > 1,38 \text{ kg/m}^3$ ) tidak sesuai untuk kedelai. Kebutuhan air tanaman kedelai pada fase generatif lebih tinggi dibandingkan pada fase vegetatif, sehingga pada fase generatif lebih peka terhadap kekeringan terutama pada fase pembungaan hingga pengisian polong. Kandungan air optimal adalah 70–85% dari kapasitas lapangan.

Kandungan unsur hara tanah harus di atas batas kekahatan agar tanaman tumbuh optimal. Nilai kritis suatu unsur hara dalam tanah beragam tergantung jenis tanah dan metode analisis yang digunakan. Pengaruh suhu tanah terutama pada fase perkecambahan, dan suhu tanah optimal adalah  $24,2\text{--}32,8^\circ\text{C}$ . Kedelai agak sensitif terhadap kemasaman tanah, unsur-unsur toksik, dan salinitas. Nilai kritis pH, Al, Mn, dan salinitas berturut-turut adalah pH 5,5, Al-dd 1,33 me/100 g, Mn 3,3 ppm, dan 1,3 dS/m.

Rhizobium mempunyai peran penting dalam mendukung kebutuhan N tanaman kedelai, namun demikian inokulasi rizobium tidak diperlukan pada tanah yang sering ditanami kedelai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adisarwanto, T. 1990. Kajian inokulum Rhizogen dan PPC terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai di lahan kering. *Pen. Palawija* 5(1):24–30.
- Ariffin. 2008. Respons tanaman kedelai terhadap lama penyinaran. *Agrivita* 30(1): 61–66.
- Asadi, B., D.M. Arsyad, H. Zahara, Darmijati. 1997. Pemuliaan kedelai untuk toleran naungan. *Bul. Agrobio.* 1:15–20.
- Asmarhansyah, M.A. Firmansyah, dan D.A. Suria-dikarta, 2001. Aplikasi pupuk Urea, SP-36, dan Rhizoplus pada kedelai di lahan kering masam Parenggean, Kalimantan Tengah. hlm. 89–93. *Dalam* D.M. Arsyad *et al.* (eds). *Kinerja Teknologi untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian*. Puslitbangtan.
- Bansal, R.L. and V.K. Nayyar. 1990. Critical manganese deficiency level for soybean grown in Ustochrepts. *Fertilizer Res.* 25:153–157.
- Bell, R.W., D. Brady, D. Plaskett, and J. F. Lone-ragan. 1987. Diagnosis of potassium deficiency in soybean. *J. of Plant Nut* 10(9–16):1947–1953.
- Beutler, A.N., J.F. Centurion1 and A.P. da Silva. 2005. Soil Resistance to Penetration and Least Limiting Water Range for Soybean Yield in a Haplustox from Brazil. *Brazilian Archives of Biol and Tech* 48(6): 863–871.
- Botta, G.F., D. Jorajuria, R. Balbuena, and H. Rosatto. 2004. Mechanical and cropping behavior of direct drilled soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max* L.) yields. *Soil & Tillage Res.* 78: 53–58.
- Brinkman, R. 1980. Saline and sodic soils. *In* Land reclamation and water management, p. 62–68. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
- Delgado, M.J., F. Ligerio and C. Lluch. 1994. Effects of salt stress on growth and nitrogen fixation by pea, faba-bean, common bean and soybean plants. *Soil Biol and Biochem* 26(3):371–376.
- Dornbos, D.L.Jr., and R.E.Mullen. 1991. Influence of stress during soybean seed fill on seed weight, germination, and seedling growth rate. *J. of Plant Sci.* 71: 373–383.
- Fegeria, N.K. 2009. *The Use of Nutrients in Crops Plants*. CRC Press, Brazil. 430 P.
- Franzen, D.W. Soybean Soil Fertility. <http://www.ext.nodak.edu/extpubs/plantsci/soilfert/sf1164w.htm>. 24 Maret 2003.
- Gibson, L.R. and R.E. Mullen. 1996. Influence of Day and Night Temperature on Soybean Seed Yield. *Crop Sci* 36: 98–104.
- Hamim, Khairul Ashri, Miftahudin, dan Triadiati. 2008. Analisis status air, rolin dan aktivitas enzim antioksidan beberapa kedelai toleran dan peka kekeringan serta kedelai liar. *Agrivita* 30(3):201–210.
- Hanum, C, W.Q. Mugnisjah, S. Yahya, D. Sopandy, K. Idris, dan A. Sahar. 2007. Pertumbuhan Akar Kedelai pada Cekaman Aluminium, Kekeringan dan Cekaman Ganda Aluminium dan Keke- ringan. *Agritrop* 26(1):13–18.
- Hidayat, A., S. Hardjowigeno, M. Soekardi dan S. Sabihan, 2002. Peranan oksida besi terhadap sifat tanah berpelapukan lanjut. *J. Tanah dan Iklim* 20:47–55.
- Hillel, D. 1982. *Introduction to Soil Physics*. Academic Press, Inc., New York. 364 pages.
- <http://www.dpi.nsw.gov.au>. Salinity tolerance in ir- rigated crops.
- Huber, S.C., H.H. Rogers, dan F.L. Mowry. 1984. Ef- fects of Water Stress on Photosynthesis and Car- bon Partitioning in Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Plants Grown in the Field at Different CO<sub>2</sub> Levels. *Plant Physiol* 76:244–249.
- ICAR, 1987. *Fertilizer Use in Groundnut*. Pub. and Information Dev. ICAR, New Delhi-India.
- Jenny, H. 1980. *The Soil Resource: Origin and Be- havior*. Springer-Verlag, New York. 377 pages.
- Jones, P., L.H. Ellen, J.W.Jr. Jones, K.J. Boote, and W.J. Campbell. 1984. Soybean canopy growth photosynthesis, and transpiration response to whole season carbon dioxide enrichment. *Agron.J.* 76: 633–637.

- Kasai, M. 2008. Effect of growing soybean plants under continuous light on leaf photosynthetic rate and other characteristics concerning biomass production. *J of Agron* 7(2):156–162.
- Katerji, N., J.W. van Hoorn, A. Hamdy, and M. Mastrorilli. 2000. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agric Water Manag* 43(1): 99–109.
- Kimball, B.A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield; An assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agron J* 75:779–788.
- Koti, S., K.R. Reddy, V.G. Kakani, D. Zhao, V.R. Reddy. 2005. Interactive effects of carbon dioxide, temperature and ultraviolet-B radiation on flower and pollen morphology, quantity and quality of pollen in soybean (*Glycine max* L.) genotypes. *J. Exp. Bot* 56:725–736.
- 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. 450 p.
- Lawn, R.J. and D.J.Hume. 1985. Response of tropical and temperature soybean genotypes to temperature during early reproductive growth. *Crop Sci.* 25:137–142.
- Lindsay, W.L. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. A Wiley-Interscience Publ. Toronto. 449 p.
- Liu, X.J. Jian, W. Guanghua, and S.J. Herbert. 2008. Soybean yield physiology and development of high-yielding practices in Northeast China. *Field Crops Res.* 105:157–171.
- Lobell, D.B. and G.P. Asner 2003. Climate and management contributions to recent trends in US Agric. Yields. *Sci* 299, 1032.
- Lubis, K. Respon Morfogenesis Embrio Beberapa Varietas Kedelai (*Glycine max* L. Merr) pada Berbagai Konsentrasi NaCl Secara *in vitro*. <http://www.researchgate.net>.
- Mapegau. 2006. Pengaruh cekaman air terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merr). *USU e-Journals Jurnal Kultura* 41(1).
- Mascarenhas, H.A.A., R.T. Tanaka, E.B. Wutke, N.R. Braga, and M.A.C. de Miranda. 2004. Potassium for soybeans. *Better Crops* 88(3):26–27.
- Mindari, W., Maroeto, dan Syekhfani. 2009. Ameliorasi Air salin menggunakan pupuk organik untuk meningkatkan produksi tanaman kedelai dan jagung dalam rotasi. *Penelitian Hibah Bersaing DP2M Dikti TA.* 2009.
- Muchlis Adie, M. *et al* (eds). 2000. *Laporan Tahunan Balitkabi Tahun 1999/2000*.
- Muh. Farid Bdr. 2009. Seleksi kedelai tahan kekeringan dan salinitas secara *in vitro* dengan NaCl. *Agrivigor* 6(1).
- Nursyamsi, D dan Nurul Fajri. 2005. Penelitian korelasi uji tanah hara phosphorus di tanah Andisol untuk kedelai (*Glycine max*, L.). *J Ilmu Tanah dan Lingkungan* 5(2):27–37.
- Nursyamsi, D. 2006. Kebutuhan hara kalium tanaman kedelai di tanah Ultisol. *J Ilmu Tanah dan Lingkungan* 6(2): 71–81.
- Nursyamsi, D. dan Nurul Fajri. 2004. Metode ekstraksi dan batas kritis hara fosfor tanah Vertisol untuk kedelai (*Glycine max*, L.). *Agric J Ilmu Pertanian* No. 18.
- Nursyamsi, D., M.T. Sutriadi, dan U. Kurnia. 2004. Metode ekstraksi dan kebutuhan pupuk P tanaman kedelai (*Glycine max* L.) pada tanah masam Typic Kandiodox di Papanrejo, Lampung. *J Tanah dan Iklim* No. 22.
- Odum, E.P. 1983. *Basic ecology*. pp.368–443. Holt Saunders Inter. Eds. Japan.
- Ohki, K. 1981. Manganese critical levels for soybean growth and physiological processes. *J of Plant Nut* 3(1–4):271–284.
- Olness, A.E., and Archer, D.W. 2005. Effect of organic carbon on available water in soil. *Soil Sci* 170(2):90–101. Morris, Minnesota </main/site\_main.htm? modecode=36–45-00-00>.
- Peet, M. M. 1984. CO<sub>2</sub> enrichment of soybean, effect of leaf/pod ration. *Physiol. Plant.* 60:38–42.
- Pirngadi, K dan H. Pane, 2004. Pemberian bahan organik, kalium dan teknik persiapan lahan untuk padi gogorancah. *Penel. Pert. Tan. Pangan.* 23(3): 177–184.
- Prasetyo, B.H. dan S. Ritung, 1998. Beberapa kendala pengembangan lahan kering di Indonesia. hlm. 267–275. *Dalam* Sudaryono dkk. (eds). *Prosiding Seminar Nasional dan Pertemuan Tahunan Komisariat Daerah Himpunan Ilmu Tanah Indonesia Tahun 1998 (Buku 2)*.
- Purwantoro, H. Kuswantoro, dan D.M. Arsyad. 2007. Keragaan beberapa galur kedelai di tanah Ultisol. Hlm 23–32. *Dalam* D. Harnowo *et al.* (peny.). *Prosiding Seminar Peningkatan Produksi Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Mendukung Kemandirian Pangan*. Puslitbangtan, Bogor. 628 hlm.
- Qifu, Ma and F. Murray. 1993. Effects of SO<sub>2</sub> and salinity on nitrogenase activity, nitrogen concentration and growth of young soybean plants. *Environ and Exp Bot* 33(4):529–537.
- Rahmianna, A.A., T. Adisarwanto, G. Kirchhof and H.B. So. 2000. Crop establishment of legumes in rainfed lowland rice-based cropping systems. *Soil and Tillage Res* 56(1–2): 67–82.
- Rismaneswati. 2006. Pengaruh terracottem, kompos, dan mulsa jerami terhadap sifat fisik tanah, pertumbuhan dan hasil kedelai pada tanah Alfisol. *J. Agrivigor* 6(1):49–56.
- Salvagiotti, F., K.G. Cassman, J.E. Specht, D.T. Walters, A. Weiss and A. Dobermann. 2008. Ni-

- trogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Res* 108 (1):1–13.
- Setiawan, D. 1997. Keragaman susunan mineral liat beberapa tanah Sumatra Selatan (Buku II). Pros Kongres Nasional VI HITI. hlm. 33–40.
- Siczek, A and J. Lipiec. 2011. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil surface straw mulching. *Soil & Tillage Res* 114:50–56.
- Sionit, N., B.R. Strain, and E.P. Flint. 1987. Interaction of temperature and CO<sub>2</sub> enrichment on soybean growth and dry matter partitioning. *Can. J. Plant Sci.* 67:59–67.
- Sitompul, S.M. 2003. Potensi produksi dan pengembangan teknologi kedelai dan jagung dalam sistem agroforestri. Laporan Penelitian Hibah Bersaing. Univ Brawijaya.
- Soedarjo, M., T. Adisarwanto, dan Sudaryono. 2001. Nodulasi dan pertumbuhan tanaman kedelai pada beberapa jenis tanah di lahan kering di Jawa Timur. Laporan Teknis Balitkabi. 9 hlm.
- Strain, B.R. 1985. Physiological and ecological controls on carbon sequestering in ecosystems. *Biogeochem* 1:219–232.
- Subagyo, H dan IPG. Widjaja-Adhi. 1998. Peluang dan kendala pembangunan lahan rawa untuk pengembangan pertanian di Indonesia. Hlm. 13–50. *Dalam* Kurnia, U. *et al* (eds). Pros Pertemuan pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian.
- Subowo, I. Anas, G. Djajakirana, A. Abdurahman dan S. Hardjowigeno, 2002. Pemanfaatan cacing tanah untuk meningkatkan produktivitas Ultisol lahan kering. *J. Tanah dan Iklim* 20:35–46.
- Sudarsono. 1999. Pemanfaatan dan pengembangan lahan rawa/pasang surut untuk pengembangan pangan. hlm. 81–94. *Dalam* Irsal Las, *et al* (eds). Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan. Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian.
- Suhartina. 2007. Evaluasi galur harapan kedelai hitam toleran kekeringan dan berdaya hasil tinggi. hlm 153–161. *Dalam* D. Harnowo *et al.* (peny.). Prosiding Seminar Peningkatan Produksi Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Mendukung Kemandirian Pangan. Puslitbangtan, Bogor. 628 hlm.
- Sumadi, S. 1985. Tanggapan kedelai terhadap inokulasi *Rhizobium* dan pemupukan N. *Pen. Pertanian* 5(3):137–140.
- Sumadi, S. 1987. Estimation of fixed nitrogen by soybean root nodules of T 201 and Enrei cultivars. *Pen. Pertanian* 7(1):29–32.
- Sunardi, A. Taufiq, Sutrisno, dan A. Winarto, 2002. Laporan Tahunan Balitkabi Tahun 2001. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Malang. 104 hlm.
- Susanto, G.W.A., and T. Sundari, 2010. Pengujian 15 genotipe kedelai pada kondisi intensitas cahaya 50% dan penilaian karakter tanaman berdasarkan fenotipnya *J. Biologi Indonesia* 6(3):459–471.
- Suyamto, A.A. Rahmianna dan L. Sunaryo. 1998. Peningkatan efisiensi air pengairan. Hlm. 85–95. *Dalam*. Sudaryono, M. Soedarjo, Y. Widodo, Suyamto, A.A. Rahmianna dan A. Taufiq. Pros Seminar Nasional dan Pertemuan Tahunan Komisariat Daerah Himpunan Ilmu Tanah Indonesia Tahun 1998. Himpunan Ilmu Tanah Indonesia. Komisariat Daerah Jawa Timur.
- Syahbudin, H., Y. Apriana, N. Heryani, Darmijati S, dan I. Las, 1998. Serapan hara nitrogen, fosfor, kalium tanaman kedelai (*Glycine max* L.) di rumah kaca pada tiga taraf intensitas radiasi surya dan kadar air tanah Latosol. *J. Tanah dan Iklim* 16:20–28
- Tandon, H.L.S., and I.J. Kimmo, 1993. Balance fertilizer use, Its practical importance and guidelines for agricultural in the Asia-Pacific Region. ESCAP/FAO/UNIDO, New York. 49 p.
- Taufiq, A., H. Kuntastyuti dan A.G. Manshuri, 2004. Pemupukan dan ameliorasi lahan kering masam untuk peningkatan produktivitas kedelai. Hlm. 21–40. *Dalam* Prosiding Lokakarya Pengembangan Kedelai Melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu di Lahan Masam. Balitkabi–BPTP Lampung. 72 hlm.
- Teramura, A. H., J. H. Sullivan, and J. Lydon. 1990. Effect of UV-B radiation on soybean yield and seed quality. A six yeares field study. *Physiol. Plant.* 80:5–11.
- Tyagi, S.K and R. P. Tripathi. 1983. Effect of temperature on soybean germination. *Plant and Soil* 74(2):273–280
- Van der Heide, J., S. Setijono, M.S.Syekhfani, E.N. Flach, K. Hairiah, S.M. Sitompul, and M. van Moordwijk. 1992. Can low external input cropping system on acid upland soils in the humid tropics be sustainable? *Agrivita* 15:1–10.
- van Hoorn, J.W., N. Katerji, A. Hamdy and M. Mastroilli. 2001. Effect of salinity on yield and nitrogen uptake of four grain legumes and on biological nitrogen contribution from the soil. *Agric. Water Manag.* 51(2): 87–98.
- Wang, D., M.C. Shannon, and C.M. Grieve. 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean. *Field Crops Res* 69:267–277.
- Wijanarko, A dan A. Taufiq, 2008. Penentuan kebutuhan pupuk p untuk tanaman kedelai, kacang tanah dan kacang hijau berdasarkan uji tanah di lahan kering masam Ultisol. *Bul Palawija*, Balitkabi no. 15:1–8.

- Wijanarko, A. dan Sudaryono, 2007. Uji kalibrasi P pada tanaman kedelai di tanah Ultisol Seputih Banyak Lampung Tengah. hlm. 233–242. *Dalam* D. Harnowo, *et al.* (Peny.). Pros. Sem. Peningkatan Produksi Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Mendukung Kemandirian Pangan. Puslitbangtan, Bogor. 628 hlm.
- Yeo, A. 1998. Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants. *Scientia Horticulturae* 78(1–4):159–174.
- Yin, Xinhua and T.J. Vyn. 2005. Critical leaf potassium is higher in no-till soybeans. *Better Crops* 89(2):3–5.
- Yuniati, R. 2004. Penapisan galur kedelai *Glycine max* (L.) Merrill toleran terhadap NaCl untuk penanaman di lahan salin. *Makara, Sains* 8(1): 21–24.
-