BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Botani Tanaman Kedelai

Kedelai dikenal dengan beberapa nama lokal diantaranya adalah kedele, kacang jepung, kacang bulu, gadela, dan demokam, sedangkan nama umum di dunia disebut "*soybean*". Kedudukan tanaman kedelai dalam sistematik tumbuhan (taksonomi) diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Sub-divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledoneae
Ordo	: Polypetales
Familia	: Leguminosea (Papilionaceae)
Sub-famili	: Papilionoideae
Genus	: Glycine
Species	: *Glycine max* [L] *Merill.*

Spesies paling dekat dengan kedelai budidaya (*Glycine max*) adalah kedelai liar seperti *Glycine usuriensis* (Adisarwanto, 2007).

2.2 Morfologi Kedelai

Tanaman kedelai umumnya tumbuh tegak, berbentuk semak, dan merupakan tanaman semusim. Morfologi tanaman kedelai didukung oleh komponen utamanya, yaitu akar, daun, batang, polong, dan biji sehingga pertumbuhannya bisa optimal.

Akar kedelai mulai muncul dari belahan kulit biji yang muncul di sekitar misofil. Calon akar tersebut kemudian tumbuh dengan cepat ke dalam tanah, sedangkan kotiledon yang terdiri dari dua keping akan terangkat ke permukaan tanah akibat pertumbuhan yang cepat dari hipokotil (Islami dan Utomo, 1995). Perakaran tanaman kedelai mempunyai kemampuan membentuk bintil akar yang merupakan kolono dari bakteri *Rhizobium japonicum.* Bakteri rizhobium bersimbiosis dengan akar tanaman kedelai untuk menambah nitrogen bebas (N_2) dari udara. Keduanya memiliki hubungan *simbiosa mutualistis* (Rukmana dan Yuniarsih, 1996).

Daun kedelai berfungsi sebagai alat untuk proses asimilasi, respirasi dan transpirasi. Selain daun tanaman kedelai juga memiliki bunga yang pada tiap kuntum memiliki kelamin betina dan jantan. Kuntum bunga tersusun dalam rangkaian bunga, namun tidak semua bunga dapat menjadi polong (buah). Sekitar 60% bunga rontok sebelum membentuk polong. Polong kedelai biasanya berisi 1-4 biji. Jumlah polong per tanaman tergantung pada varietas kedelai, kesuburan tanah, dan jarak tanam yang digunakan (Rukmana dan Yuniarsih, 1996).

2.3 Syarat Tumbuh Kedelai

Menurut Direktorat Jenderal Tanaman Pangan (2013), tanaman kedelai merupakan tanaman daerah subtropis yang dapat beradaptasi baik di daerah tropis. Kedelai dapat tumbuh dengan baik dengan kelembaban rata-rata 65%. Untuk memperoleh pertumbuhan yang optimal, sebaiknya kedelai ditanam pada bulan-bulan yang agak kering, tetapi air tanah masih cukup tersedia. Air diperlukan sejak awal pertumbuhan sampai pada periode pengisian polong.

Menurut Andrianto dan Indarto (2004), untuk mengetahui keadaan iklim di suatu daerah cocok atau tidak bagi tanaman kedelai, sebagai barometer kita bisa membandingkan dengan tanaman jagung yang tumbuh. Apabila tanaman jagung dapat tumbuh baik dan hasilnya pun cukup baik, berarti iklim di daerah tersebut juga cocok untuk tanaman kedelai, bahkan kedelai dapat mempunyai daya tahan yang lebih baik dibandingkan jagung. Menurut Man dan Jawarshi (1970) dalam Yassi (2011), suhu yang terlalu tinggi berpengaruh buruk terhadap perkembangan polong dan biji. Kedelai yang tumbuh dengan suhu udara berkisar 40°C – 46°C akan banyak menggugurkan polong. Polong kedelai tumbuh optimal pada suhu antara 26.6^{o}C – 32.0^{o}C.

Kedelai dapat tumbuh baik pada berbagai jenis tanah, asalkan drainase dan aerasi tanah cukup baik. Kadar pH tanah yang cocok untuk kedelai adalah sekitar 5,8-7,0 tetapi pada pH 4,5 pun kedelai masih dapat menghasilkan produksi. Pemberian kapur 1-2,5 ton/ha pada tanah dengan pH dibawah 5,5 pada umumnya dapat meningkatkan produksi. Untuk memperbesar peluang keberhasilan, di daerah-daerah yang belum pernah ditanami kedelai perlu diinokulasi dengan bakteri *Rhizobium* (Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, 2013).

2.4 Tanah Ultisol

Tanah Ultisol merupakan tanah masam yang telah mengalami pencucian (*leaching*) basa-basa yang intensif dan umumnya dijumpai pada lingkungan dengan drainase baik. Jika ditinjau dari luasnya, tanah Ultisol mempunyai potensi yang tinggi untuk pengembangan pertanian lahan kering. Ultisol di Indonesia

mencangkup areal seluas 45,8 juta ha atau sekitar 24,3% dari total daratan Indonesia. Namun demikian, pemanfaatan tanah ini menghadapi kendala karakteristik tanah yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman terutama tanaman pangan bila tidak dikelola dengan baik. Beberapa kendala yang umum pada tanah Ultisol adalah kemasaman tanah tinggi, pH rata-rata < 4,50, kejenuhan Al tinggi, miskin kandungan hara makro terutama P, K, Ca, dan Mg, dan kandungan bahan organik rendah. Untuk mengatasi kendala tersebut dapat diterapkan teknologi pengapuran, pemupukan P dan K, dan pemberian bahan organik (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006).

Menurut Rosadi, *et al*. (2007), evapotranspirasi kedelai di tanah Ultisol dengan tekstur tanah lebih kasar sensitif terhadap cekaman air dibandingkan di Latosol dengan tekstur tanah halus. Pada tanah Ultisol kedelai mulai mengalami stres air pada defisit air tanah tersedia 20-40%, dan Latosol pada defisit 40-60%.

2.5 Varietas

Varietas unggul kedelai mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan varietas lokal. Kriteria varietas unggul yaitu, berproduksi tinggi, berumur genjah, tahan (resistensi) terhadap penyakit yang berbahaya misalnya karat daun atau virus, dan mempunyai daya adaptasi luas terhadap berbagai keadaan lingkungan tumbuh. misalnya varietas Wilis dan Dempo dapat tumbuh di tanah yang asam (Rukmana dan Yuniarsih, 1996). Sementara menurut Yessi (2011), Varietas Wilis dan Orba dapat beradaptasi baik dan berdaya hasil tinggi dibandingkan varietas lainnya.

Adapun deskripsi varietas unggul yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 3. Deskripsi varietas unggul yang digunakan dalam penelitian

Keterangan	Varietas Kaba	Varietas Tanggamus	Varietas Wilis
Tahun dilepas	22 Oktober 2001	22 Oktober 2001	21 Juli 1983
Hasil rata-rata	2,13 ton/ha	1,22 ton/ha	1,6 ton/ha
Asal	Silang ganda 16	Hibrida	Seleksi keturunan
Warna hipokitil	Ungu	Ungu	Ungu
Warna epikotil	Hijau	Hijau	Hijau
Warna Bunga	Ungu	Ungu	Ungu
Warna kulit	Kuning	Kuning	Kuning
Warna polong	Coklat	Coklat	Coklat tua
Warna hilum	Coklat	Coklat tua	Coklat tua
Bentuk biji	Lonjong	Oval	Oval pipih
Tipe tumbuh	Determinit	Determinit	Determinit
Umur berbunga	35 hari	35 hari	± 39 hari
Umur panen	85 hari	88 hari	85–90 hari
Tinggi tanaman	64 cm	67 cm	± 50 cm
Bobot 100 biji	10,37 g	11,0 g	± 10 g
Ukuran biji	Sedang	Sedang	
Kandungan protein	44,0%	44,5%	37,0%
Kandungan lemak	8,0%	12,9%	18,0%
Pengusul	Muchlish A, dkk	Muchlish Adie, dkk	Sumarno, dkk.

Sumber :Direktorat Jenderal Tanaman Pangan (2004).

Hasil penelitian Kriswantoro, dkk. (2012), mengenai uji adaptasi varietas kedelai di lahan kering membuktikan bahwa setiap varietas memiliki respon yang berbeda terhadap lingkungan sehingga pertumbuhan dan hasil yang diperoleh juga berbeda. Varietas Wilis, Slamet, dan Tanggamus memiliki daya adaptasi yang lebih baik dibandingkan varietas Anjasmoro. Varietas Wilis, Slamet, dan Tanggamus dapat dikembangkan dengan baik di lahan kering untuk diversisifikasi pangan khususnya kedelai mendampingi varietas Anjasmoro yang saat ini lebih

banyak dikembangkan. Produksi per hektar yang diperoleh oleh varietas Wilis (2.29 ton), Slamet (2.24 ton), Tanggamus (1.99 ton) dan Anjasmoro (1.66 ton). Hasil di atas menunjukkan bahwa varietas kedelai Wilis, Slamet dan Tanggamus berpotensi untuk dikembangkan karena mampu beradaptasi di lahan kering dengan produksi yang tinggi. Hasil penelitian Yassi (2011), bahwa kedelai varietas Orba dan Wilis memperlihatkan pertumbuhan vegetatif tertinggi, jumlah cabang terbanyak, umur panen cenderung sama dengan deskripsinya dan persentase polong berisi lebih banyak serta tingkat produktifitasnya lebih tinggi dibandingkan dengan varietas yang lainnya dan mampu beradaya hasil tinggi pada areal ketinggian.

2.6 Stadia dan Tipe Pertumbuhan

Stadia pertumbuhan tanaman kedelai terdiri dari stadia vegetatif dan generatif, stadia vegetatif dihitung sejak tanaman mulai muncul ke permukaan tanah sampai saat mulai berbunga. Perkecambahan dicirikan dengan adanya kotiledon, sedangkan penandaan stadia pertumbuhan vegetatif dihitung dari jumlah buku yang berbentuk pada batang utama.

Stadia vegetatif umumnya dimulai pada buku ketiga (Tabel 4). Stadia pertumbuhan reproduktif (generatif) dihitung sejak tanaman kedelai mulai berbunga sampai pembentukan polong, perkembangan biji, dan pemasakan biji (Adisarwanto, 2007). Tipe pertumbuhan tanaman kedelai ada dua macam yaitu tipe ujung batang melilit (*indeterminate*) dimana ujung batang tidak berakhir dengan rangkaian bunga dan tipe batang tegak (*determinate*) dimana ujung batang berakhir dengan rangkaian bunga (Tabel 5) (Andrianto dan Indarto, 2004).

Tabel 4. Penandaan stadia pertumbuhan vegetatif kedelai

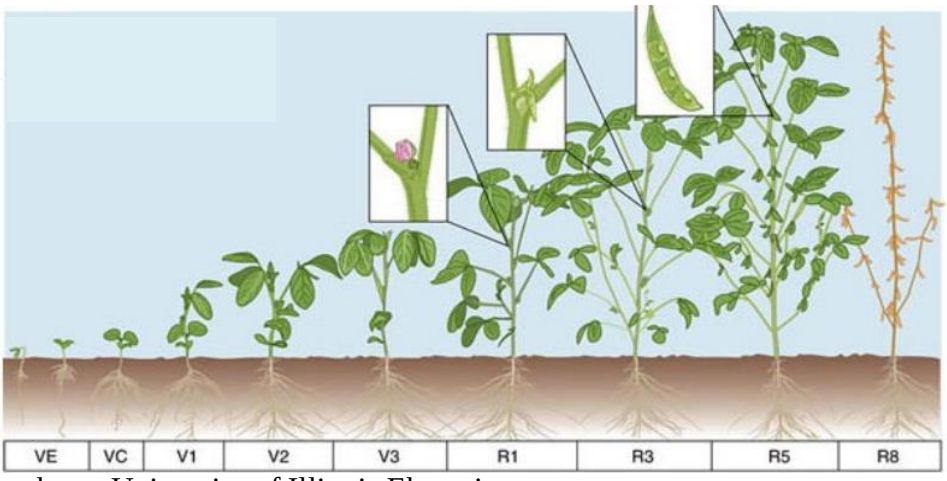
Singkatan Stadia	Tingkatan Stadia	Keterangan
VE	Stadia pemunculan	Kotiledon muncul ke permukaan tanah
VC	Stadia kotiledon	Daun *unfoliolat* berkembang, tepi daun tidak menyentuh tanah
V1	Stadia buku pertama	Daun terbuka penuh pada buku *unfoliolat*
V2	Stadia buku kedua	Daun *trifoliolat* terbuka penuh pada buku kedua di atas buku *unfoliolat*
V3	Stadia buku ketiga	Pada buku ketiga batang utama terdapat daun yang terbuka penuh
Vn	Stadia buku ke-n	Pada buku ke-n, batang utama telah terdapat daun yang terbuka.

Sumber : Adisarwanto (2007).

Tabel 5. Penandaan stadia pertumbuhan reproduktif kedelai

Singkatan Stadia	Tingkatan Stadia	Keterangan
R1	Mulai berbunga	Munculnya bunga pertama pada buku manapun pada batang utama
R2	Berbunga penuh	Bunga terbuka penuh pada satu atau dua buku paling atas pada batang utama dengan daun yang telah terbuka penuh
R3	Mulai berpolong	Polong telah terbentuk dengan panjang 0,5 cmpada salah satu buku batang utama
R4	Berpolong penuh	Polong telah mempunyai panjang 2cm pada salah satu buku teratas pada batang utama
R5	Mulai pembentukan biji	Ukuran biji dalam polong mencapai 3mm pada salah satu buku batang utama
R6	Biji penuh	Setiap polong pada batang utama telah berisi biji satu atau dua
R7	Mulai masak	Salah satu warna polong pada batang utama telah berubah menjadi cokelat kekuningan atau warna masak
R8	Masak penuh	95% jumlah polong telah mencapai warna polong masak

Sumber : Adisarwanto (2007).



Sumber : University of Illinois Ektension.

Keterangan :

VE	: Stadium kecambah awal	V3	: Stadium vegetatif 3
VC	: Stadium kecambah akhir	R1	: Stadium reproduktif awal
V1	: Stadium vegetatif 1	R2	: Stadium reproduktif
V2	: Stadium vegetatif 2	R5	: Stadium pembentukan polog
		R8	: Senensens.

2.7 Kebutuhan Air Tanaman

Kebutuhan air bagi tanaman sebagian besar adalah untuk evapotranspirasi (ET_c) (> 99%) dan 1% untuk kebutuhan metabolisme lainnya. Evapotranspirasi merupakan jumlah air yang dibutuhkan oleh tanaman yaitu antara evaporasi dan transpirasi, dimana proses keduanya sulit untuk dipisahkan satu dengan yang lainnya. Evaporasi merupakan proses kehilangan air dalam bentuk uap dari permukaan air, tetapi dalam bidang pertanian evaporasi lebih tepat diartikan sebagai kehilangan air dari permukaan tanah, sedangkan transpirasi merupakan penguapan air dari permukaan tanaman. Evaporasi dipengaruhi oleh kondisi iklim, terutama temperatur, kelembaban, radiasi dan kecepatan angin serta kandungan air tanah (KAT), dengan demikian akibat terjadinya evaporasi maka jumlah air dalam tanah akan berkurang sehingga kecepatan evaporasi juga akan berkurang, begitupun transpirasi juga akan berkurang. Oleh karena itu, kehilangan

air lewat kedua proses ini pada umumnya sering disebut evapotranspirasi (ET_c) (Islami dan Utomo, 1995).

Jumlah evapotransiprasi selama satu periode pertumbuhan tanaman dalam kondisi air tanah memenuhi permintaan evapotranspirasi sebagai kebutuhan air tanaman (*crop water requirement*) disebut sebagai evapotranspirasi maksimum (ET_m). Kebutuhan evapotranspirasi merupakan evapotranspirasi pada kondisi air tanah tidak menjadi faktor pembatas. Kecepatan evapotranspirasi yang ditentukan oleh kondisi iklim disebut evapotranspirasi potensial (ET_o) dan evapotransiprasi yang terjadi pada kondisi air tanah di lapangan atau penggunaan air tanaman (*crop water use*) disebut evapotranspirasi aktual (ET_a) (Islami dan Utomo, 1995).

Absorbsi air tanaman akan berubah sesuai dengan berkembangnya tanaman. Pada awal pertumbuhan karena permukaan transpirasi kecil, maka absorbsi air oleh tanaman rendah. Absorbsi air tanaman akan meningkat dengan berkembangnya tanaman dan akan mencapai maksimum pada saat indeks luas daun maksimum, kemudian dengan gugurnya daun tua, maka indeks luas daun akan turun dan diikuti dengan penurunan kebutuhan air. Untuk menghitung kebutuhan air tanaman (ET_m) harus diketahui nisbah evapotranspirasi maksimum terhadap evapotransiprasi potensial (ET_m/ET_o) (Islami dan Utomo, 1995).

Menurut Doorenboss dan Kassam (1988) dalam Rosadi (2012), hasil percobaan telah menentukan rasio perbandingan (ET_m/ET_o) yang disebut *crop coefficients* (K_c) dan digunakan untuk menghubungkan keduanya sebagai berikut :

$$ET_c = ET_o \ x \ K_c \qquad (1)$$

Dimana :	K_c	=	Faktor tanaman (*crop coefficients*)
	(ET_0)	=	Evapotranspirasi potensial
	$ET_m = ET_c$	=	Evapotranspirasi maksimum.

Evapotranspirasi (ET_c) merupakan kehilangan air melalui proses penguapan dari tumbuh-tumbuhan, yang banyaknya berbeda-beda tergantung dari kadar kelembaban tanah dan jenis tumbuhan. Jika air yang tersedia dalam tanah cukup banyak, maka evapotranspirasi disebut *evapotranspirasi potensial*. Selain itu, Evapotranspirasi juga merupakan faktor dasar untuk menentukan kebutuhan air dalam rencana pengairan bagi pertanian dan merupakan proses penting dalam siklus hidrologi (Kartasapoetra, dkk.,1994).

Pengairan tanaman kedelai perlu diusahakan kelembaban tanah setara dengan kapasitas lapang, terutama pada awal pertumbuhan vegetatif, saat pertumbuhan polong dan saat pengisian biji, sebab kekeringan pada saat-saat tersebut dapat mengakibatkan merosotnya produksi. Kebutuhan air paling tinggi terjadi pada saat masa berbunga dan pengisian polong. Kondisi kekeringan menjadi sangat kritis pada saat tanaman kedelai berada pada stadia perkecambahan dan pembentukan polong. Untuk mencegah terjadinya kekeringan pada tanaman kedelai, khususnya pada stadia berbunga dan stadia pembentukan polong, dilakukan dengan waktu tanam yang tepat, yaitu saat kelembaban tanah sudah memadai untuk perkecambahan. Selain itu harus didasarkan pada pola distribusi curah hujan yang terjadi di daerah tersebut (Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, 2013).

Kebutuhan air bagi satu rumpun tanaman kedelai sama dengan banyaknya air yang hilang karena transpirasi, sedangkan bagi komunitas tanaman kedelai ialah banyaknya air yang hilang akibat evapotranspirasi dalam satu satuan waktu (dinyatakan dalam mm/hari). Tanaman mengalami kekeringan bila laju transmisi air tanah ke lapisan perakaran tidak dapat menandingi laju evapotranspirasi. Pada tanaman kedelai gejala ini mulai tampak bila 60% air di lapisan perakaran telah terpakai, sebab akibat dari kekeringan yang berkepanjangan, turgiditas atau tekanan air dalam sel daun berkurang, evapotranspirasi terhambat, dan fotosintesis terganggu, pembentukan akar dan daun terhambat serta daun-daun di cabang baru berguguran. Oleh sebab itu, terdapat hubungan erat antara status kandungan air daun kedelai (*leaf water potention*) sebagai indikator kekeringan dengan kapasitas perakaran. Ditinjau dari segi tanaman, maka kedelai dianggap mengalami kekeringan jika pada waktu tertentu telah melebih 60% kapasitas perakaran dan disebut sebagai hari kering (*stress day*) (Fagi dan Tangkuman, 1985).

2.8 Waktu Pemberian Air Irigasi

kedelai merupakan tanaman yang tidak tahan terhadap kekeringan. Air yang memadai sangat diperlukaan tanaman mulai stadia awal pertumbuhan sampai periode pengisian polong. Secara umum stadium pertumbuhan kedelai yang memerlukan ketersediaan air dalam keadaan kapasitas lapang (air tanah sedalam 20-30cm) adalah saat perkecambahan (umur 0-5 HST), stadium awal vegetatif (umur 15-20 HST), stadium pembungaan (umur 35-60 HST), dan stadium pengisiaan polong, (umur 55-65 HST) selanjutnya pada stadium polong tanaman

harus dikeringkan. Waktu pengairan tanaman kedelai sebaiknya dilakukan pagi atau sore hari (Rukmana dan Yuniarsih, 1996).

Pada pemberian air irigasi untuk mengembalikan ke posisi kapasitas lapang tanaman disiram setiap hari sampai mencapai berat yang setara dengan berat ember/pot pada saat tanah berada pada kapasitas lapang dan tinggi air yang ditambahkan merupakan air yang hilang karena evapotranspirasi, tinggi penambahan air pada ember yang ditanami kedelai merupakan evapotranspirasi tanaman (ET_c), sedangkan tinggi penambahan air pada ember yang ditanam rumput merupakan laju evapotranspirasi baku (ET_o) atau evapotranspirasi acuan (Manik, dkk., 2010).

Waktu pemberian air pada tanaman atau penjadwalan irigasi berarti perencanaan waktu dan jumlah pemberian air irigasi sesuai dengan kebutuhan air tanaman. Suplai air yang terbatas dapat menurunkan produksi tanaman, sedangkan suplai air yang berlebih selain dapat menurunkan produksi tanaman juga dapat meningkatkan jumlah air irigasi yang hilang dalam bentuk perkolasi. Penentuan jadwal air irigasi dapat didasarkan atas kriteria waktu dan kriteria jumlah air irigasi (*Raes*, 1987).

Menurut *Raes* (1987), kriteria waktu terbagi atas beberapa macam, yaitu :

1. *Fixed Interval* : irigasi diaplikasikan pada selang waktu tetap tidak tergantung keadaan air di daerah perakaran.
2. *Allowable Depletion Amount* : irigasi dilakukan apabila jumlah kadar air di bawah kapasitas lapang yang telah ditentukan, telah habis/kosong.

3. *Allowable Daily Stress* : irigasi dilakukan apabila evapotranspirasi aktual menurun di bawah evapotranspirasi potensial.
4. *Allowable Daily Yield Reduction* : irigasi dilakukan apabila respon hasil aktual (Ya) menurun di bawah presentase yang telah ditentukan dari hasil maksimum.
5. *Allowable Fraction of Readily Available Water* (RAW) : irigasi dilakukan apabila pemakaian air di daerah perakaran melampaui batas RAW.

Sedangkan kriteria jumlah pemberian air irigasi terbagi atas :

1. *Fixed Depth* : jumlah air irigasi yang diberikan (setiap waktu) tetap.
2. *Back to field capacity* : air irigasi yang diberikan dalam usaha untuk menaikkan kadar air tanah pada kondisi kapasitas lapang.

Tahapan dalam pemberian air irigasi pada pertumbuhan semua tanaman menurut pelaksanaannya dibagi menjadi tiga, yaitu masa tumbuh, masa berbunga dan masa berbuah. Selama masa pertumbuhan pada tahap masa tumbuh kebutuhan air terus menerus meningkat. Masa berbunga terjadi dekat pada puncak kebutuhan air. Pada tahap masa berbuah diikuti dengan penurunan kebutuhan air sampai transpirasi pada dasarnya berhenti selama bagian akhir pembentukan buah yang masak.

Jumlah air yang digunakan dan frekuensi pemberian air irigasi harus diatur menurut kebutuhan tanaman, kapasitas tanah menahan air, dan kedalaman akar. Secara alami kebutuhan air untuk tanah berpasir akan membutuhkan waktu pengaturan pemberin air irigasi yang sangat berbeda dari pada tanah berlempung. Selama masa pertumbuhan tanaman aktif, hal yang paling penting mempengaruhi

pemberian air irigasi adalah kebutuhan mempertahankan air yang memadai untuk tanaman di dalam tanah. Produksi maksimum dapat dicapai pada sebagian besar tanaman apabila tidak > 50% air yang tersedia diambil selama masa tumbuh, masa berbunga dan masa berbuah basah. Frekuensi pemberian air dapat dihitung dengan membagi jumlah air yang akan dihabiskan dari tanah oleh kebutuhan air per hari atau dengan memperhatikan jumlah air yang dibutuhkan sama dengan jumlah yang akan dihabiskan dari tanah (Hansen, dkk., 1979).

2.9 Air Tanah Tersedia

Air tanah tersedia adalah air yang berada diantara kapasitas lapang (*Field Capacity*,F_c) dan titik layu permanen (*Permanent Wilting Point*, P_{wp}). Dimana keduanya merupakan ciri dan bersifat tetap untuk suatu tanah tertentu. Fungsi tanaman tidak terpengaruh oleh suatu penurunan pada kadar air tanah sampai dicapai titik layu permanen. Bila laju transpirasi pada waktu tertentu relatif bebas terhadap perubahan kandungan air tanah pada zona perakaran, maka aktivitas lain dari tanaman tidak bebas terhadap perubahan kandungan air tanah. Fotosintesis, pertumbuhan vegetatif, pembungaan, pembuahan, dan produksi biji atau serat, akan mempunyai hubungan yang berbeda terhadap kandungan atau kondisi air tanah, tetapi air tanah bukan merupakan suatu kriteria yang memuaskan pada konsep ketersediaan air. Oleh sebab itu, ada usaha untuk mengkorelasikan status air tanaman dengan kondisi air tanaman dengan energi dari air tanah, yaitu tekanan air tanah seperti tegangan dan hisapan (Hillel, 1982).

Jumlah dan laju pengambilan air oleh tanaman tergantung pada kemampuan akar untuk menyerap air dari tanah dimana keduanya saling berhubungan, serta pada kemampuan tanah untuk memberikan dan mengalirkan air ke akar pada laju yang mencukupi untuk memenuhi kebutuhan transpirasi. Hal ini tergantung pada sifat tanaman, (kerapatan perakaran, kedalaman perakaran, dan laju perluasan akar, serta kemampuan fisiologi tanaman untuk terus mengambil air dari tanah dengan kecepatan yang diperlukan untuk menghindari kelayuan serta mempertahankan fungsi tanaman bahkan pada saat tekanan air yang dimiliki oleh tanaman tersebut berkurang), sifat tanah dan juga dalam taraf tertentu adalah kondisi meteorologi yang dapat menentukan laju tanaman untuk melakukan transpirasi juga laju pengambilan air tanah. Selama laju pengambilan air oleh akar masih seimbang dengan laju kehilangan air lewat tajuk tanaman melalui transpirasi, aliran ini terus tidak berkurang dan tanaman tetap terpenuhi kebutuhan airnya. Saat laju pengambilan air lebih kecil dari transpirasi, tanaman mulai kehilangan kadar kelembabanya. Keseimbangan ini tidak dapat berlangsung lama tanpa menyebabkan kehilangan “turgiditas” dan kelayuan tanaman (Hillel, 1982).

Volume air tanah antara *field capacity* (F_c) dan titik kritis (θ_c) disebut sebagai air segera tersedia (*Readily available water*, RAW) sedangkan antara *field capacity* (F_c) dan titik layu permanen (P_{wp}) disebut air tanah tersedia (AW). Air segera tersedia (RAW) adalah air yang bisa dimanfaatkan oleh tanaman untuk memenuhi kebutuhan airnya dan pertumbuhannya tidak terhambat. Artinya seberapa besar kebutuhan air atau evapotranspirasi semuanya bisa disuplai dari air segera tersedia (RAW) tersebut (Rosadi, 2012). Menurut Hansen (1979), air segera tersedia merupakan bagian dari air tanah tersedia yang siap dipakai untuk menghubungkan

kepada bagian air yang tersedia yang sangat mudah untuk diambil, kira-kira 75% dari air tanah tersedia.

Menurut Islami dan Utomo (1995), jika proses kehilangan air dibiarkan berlangsung terus, pada suatu saat akhirnya kandungan air tanah sedemikian rendahnya sehingga energi potensialnya sangat tinggi dan mengakibatkan tanaman tidak mampu menggunakan air tanah tersebut. Hal ini ditandai dengan layunya tanaman terus menerus, keadaan ini disebut Titik Layu Permanen (*Permanent Wilting Point* (P_{wp}), sedangkan jumlah air maksimum yang disimpan oleh suatu tanah disebut dengan kapasitas penyimpan air (KPA).

2.10 Cekaman Air

Cekaman air adalah keadaan dimana ketersediaan air dalam media tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan tanaman dan transpirasi yang berlebihan atau kombinasi kedua faktor tersebut. Di lapangan walaupun di dalam tanah air cukup tersedia, tanaman dapat mengalami cekaman air. Hal ini terjadi jika kecepatan absorbsi tidak dapat mengimbangi kehilangan air melalui proses transpirasi. Absorbsi air dipengaruhi oleh kecepatan kehilangan air, penyebaran dan efisiensi sistem perakaran, dan potensi air tanah serta daya hantar air tanah. Cekaman air ini dapat lebih mempengaruhi pertumbuhan tanaman (Islami dan Utomo, 1995).

Hasil penelitian Nurhayati (2009), menyatakan bahwa cekaman air berpengaruh sangat nyata terhadap semua komponen pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai serta jumlah kebutuhan air kumulatif tanaman kedelai umur 8 – 95 hari.

Sementara menurut Mapegau (2006), hasil penelitian mengenai pengaruh cekaman air terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai tergantung pada varietas yang digunakan. Pada varietas Wilis pertumbuhan dan hasil menunjukkan penurunan pada tingkat cekaman air 60% KATT, sedangkan varietas Tidar penurunan terjadi pada tingkat cekaman air 40% KATT. Artinya varietas Wilis lebih toleran dibandingkan Tidar.

Menurut Adisarwanto (2007), tanaman kedelai cukup toleran terhadap cekaman kekeringan karena dapat bertahan dan berproduksi bila kondisi cekaman air, kekeringan maksimal 50% dari kapasitas lapang atau kondisi tanah yang optimal. Selama pemasakan biji, tanaman kedelai memerlukan kondisi lingkungan yang kering agar diperoleh kualitas biji yang baik. Kondisi lingkungan yang kering akan mendorong proses pemasakan biji lebih cepat dan bentuk biji yang seragam.

2.11 Fraksi Penipisan Air

Fraksi penipisan air tanah tersedia (p) adalah bagian dari tanah tersedia pada saat evapotranspirasi tanaman aktual (ET_a) sama dengan evapotranspirasi maksimum (ET_m) atau pada saat tanaman belum mengalami cekaman air (*water stress*). Evapotranspirasi aktual akan sama dengan evapotranspirasi maksimum bila air tanah tersedia bagi tanaman cukup atau $ET_a = ET_m$, namun $ET_a < ET_m$ bila air tanah tersedia terbatas (Rosadi, 2012).

Menurut Dorenboos dan Kassam (1979) dalam Rosadi (2012), proporsi dari total air tanah tersedia yang dapat menipis tanpa menyebabkan evapotranspirasi aktual (ET_a) menjadi lebih kecil dari evapotranspirasi maksimum (ET_m) disebut fraksi

dari total air tanah tersedia (*Total Available Water*). Nilai fraksi penipisan (p) tersebut tergantung pada faktor tanaman, besarnya ET_m dan Tanah. Beberapa tanaman memerlukan tanah yang basah secara terus menerus untuk menjaga agar $ET_a = ET_m$. Tanaman dapat dikelompokkan berdasarkan fraksi penipisan (p) dari total air tanah tersedia yang dapat menipis sambil memelihara agar $ET_a = ET_m$.. Nilai fraksi bervariasi sesuai dengan periode pertumbuhan dan umumnya lebih besar pada masa pemasakan karena rendahnya ET_m akibat dari rendahnya nilai koefisien tanaman (K_c).

Pada saat ET_m tinggi, nilai fraksi penipisan (p) lebih kecil dan tanah lebih basah dibandingkan saat $ET_a < ET_m$, dibandingkan dengan saat ET_m rendah. Akibatnya fraksi penipisan (p) dari air tanah tersedia pada saat $ET_a = ET_m$ bervariasi sesuai dengan besarnya ET_m. Kemudian air pada tanah bertekstur ringan lebih mudah diambil oleh tanaman dari pada tanah bertekstur berat.

James (1988) dalam Rosadi (2012), mengemukakan konsep defisiensi maksimum yang dibolehkan (*Maximum allowable deficiency*, MAD) untuk menduga jumlah air yang dapat digunakan tanpa pengaruh yang merugikan tanaman. MAD ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$MAD = \frac{RAW}{AW} \qquad atau \qquad RAW = p \; x \; TAW$$

Dimana,

MAD = *Maximum allowable deficiency*
AW = *Available water* (%) dan
RAW = *Readily Available water* (%).

Tabel 6. Pengelompokan tanaman menurut penipisan (p) air tanah tersedia

Kelompok	Tanaman
1	Bawang, lada dan kentang
2	Pisang, kubis, anggur, "pea" dan tomat
3	Kacang-kacangan, alfafa, jeruk, gandum, kacang tanah, nenas, melon dan kwaci
4	Kapas, jagung, sorgum, kedelai, sugarbeet, tebu dan tembakau

Sumber : Dorenboos dan Kassam (1979) dalam Rosadi (2012).

Tabel 7. Besarnya fraksi penipisan (p) air tanah tersedia untuk berbagai kelompok tanaman dan ET_m

Kelompok	ET_m (mm/hari)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,50	0,425	0,35	0,30	0,25	0,225	0,20	0,20	0,175
2	0,675	0,575	0,475	0,40	0,35	0,325	0,275	0,25	0,225
3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,475	0,375	0,35	0,30
4	0,875	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,425	0,40

Sumber : Dorenboos dan Kassam (1979) dalam Rosadi (2012).

2.12 Tanggapan Pertumbuhan dan Hasil Tanaman

Tanggapan hasil terhadap air (*yield response to water*) adalah hubungan antara hasil dan pasokan air bagi tanaman. Hubungan keduanya menunjukkan hasil yang berbeda pada pasokan air yang berbeda. Hasil tanaman dikenal dengan hasil tanaman maksimum (Y_m) dan hasil tanaman aktual (Y_a), sedangkan pasokan air bagi tanaman merupakan air yang diberikan kepada tanaman sebagai kebutuhan air tanaman. Hasil tanaman maximum (*maximum yield*, Y_m) adalah hasil yang diperoleh maksimum karena pasokan air sepenuhnya memenuhi kebutuhan air tanaman, dengan asumsi faktor pertumbuhan lainnya terpenuhi, sedangkan hasil aktual (Y_a) adalah hasil tanaman aktual sesuai dengan pasokan yang tidak

memenuhi kebutuhan air tanaman sepenuhnya, dengan asumsi faktor-faktor pertumbuhan lainnya terpenuhi. Ketika pasokan air tidak memenuhi, ET_a akan jatuh di bawah ET_m atau $ET_a < ET_m$. Dalam kondisi ini cekaman air akan berkembang pada tanaman yang akan berpengaruh buruk pada pertumbuhan dan akhirnya hasil panen. Pengaruh cekaman terhadap pertumbuhan dan hasil tergantung pada varietas tanaman dan waktu terjadinya defisit air (Rosadi, 2012). Secara empirik hubungan antara hasil terhadap evapotranspirasi tanaman dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\left[1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right] = K_y \; x \left[1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Dimana, $1\text{-}Y_a/Y_m$ adalah penurunan hasil relatif, $1 - ET_a/ET_m$ adalah defisit evapotranspirasi relatif, Ky adalah respon tanggapan hasil (*yield response factor*), ET_a adalah evapotranspirasi aktual, dan ET_m adalah evapotranspirasi maksimum (Doorenboss dan Kassam, 1979).

Hasil tanaman adalah fungsi dari pertumbuhan. Oleh karena itu, sebagai akibat lebih lanjut cekaman air akan menurunkan hasil tanaman dan bahkan tanaman gagal membentuk hasil. Jika cekaman air terjadi pada intensitas yang tinggi dan dalam waktu yang lama akan mengakibatkan tanaman mati. Tanggapan pertumbuhan dan hasil tanaman terhadap cekaman air tergantung stadia pertumbuhan saat cekaman air tersebut terjadi. Jika cekaman air terjadi pada stadia pertumbuhan vegetatif yang cepat, pengaruhnya akan lebih merugikan jika dibandingkan dengan cekaman air terjadi pada stadia pertumbuhan lainnya. Jika ketersediaan air di dalam tanah cukup untuk memenuhi kebutuhan air tanaman, maka tingkat hasil tanaman akan ditentukan oleh ketersediaan hara dan adanya serangan hama/penyakit (Islami dan Utomo, 1995).

Hasil penelitian Sinaga (2008), tentang kepekaan tanaman kedelai terhadap kadar air tanah pada jenis tanah Ultisol, menunjukkan bahwa penurunan kadar air sebesar 50 dan 75% dari kapasitas lapang sudah mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Hal ini dikarenakan menurut Hardjowigeno (2003) dalam Sinaga (2007), tanah Ultisol (tanah bertekstur halus atau liat) mempunyai luas permukaan yang besar dan ukuran pori-pori yang halus akibatnya kapasitas menahan dan menyerap air lebih besar dan akar memperoleh air dengan baik sehingga dapat dengan mudah terjadi penurunan air tanah dan menurunnya potensial matriks. Selain itu, pada tanah ultisol semakin rendah kandungan air tanah tersedia dan kesuburan tanah akan mempengaruhi pertumbuhan akar tanaman. Oleh karena itu, bobot akar yang paling tinggi menggambarkan bahwa akar tanaman memperoleh air dan hara yang paling baik.