

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman Padi

Pertumbuhan ialah proses penambahan biomassa tanaman yang tidak akan kembali. Pertambahan ukuran tanaman secara keseluruhan ialah hasil dari pertambahan ukuran badan (organ) tanaman akibat dari pertambahan jaringan sel yang dihasilkan oleh pertambahan ukuran sel. Jumlah sel yang semakin banyak atau ruang (volume) sel yang semakin besar membutuhkan semakin banyak bahan sel yang disintesis menggunakan substrat yang sesuai. Sedangkan perkembangan diartikan sebagai proses hidup yang terjadi di dalam tanaman yang menghasilkan organ tanaman. Organ tanaman tersebut merupakan hasil dari interaksi antara pertumbuhan dan diferensiasi sel dan morfogenesis pada tanaman (Sitompul, 1995).

Tanaman padi berbeda dengan tanaman lain. Tanaman padi memiliki beberapa ciri, misalnya termasuk dalam suku padi-padian atau *Poaceae*. Sejumlah ciri suku ini juga menjadi ciri padi, misalnya berakar serabut, daun berbentuk lanset (sempit memanjang), urat daun sejajar, memiliki pelepah daun, bunga tersusun sebagai bunga majemuk dengan satuan bunga berupa floret, floret tersusun dalam spikelet, khusus untuk padi satu spikelet hanya memiliki satu floret, buah dan biji sulit dibedakan karena merupakan bulir atau kariopsis. Menurut Sendhy (2010) tanaman padi dapat hidup baik di daerah yang berhawa panas dan banyak mengandung uap air. Curah hujan yang baik rata-rata 200 mm/bulan atau lebih, dengan distribusi selama 4 bulan. Curah hujan yang dikehendaki per tahun sekitar 1500 - 2000 mm. Suhu yang baik untuk pertumbuhan tanaman padi adalah 23<sup>0</sup> C. Tinggi tempat yang cocok untuk tanaman padi berkisar antara 0 - 1500 m dpl. Tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman padi ialah tanah sawah yang kandungan fraksi pasir, debu dan lempung dalam perbandingan tertentu dengan diperlukan air dalam jumlah yang cukup.

Padi dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang ketebalan lapisan olah antara 18 - 22 cm dengan pH antara 4 - 7.

Pertumbuhan tanaman padi terdiri dari 3 fase. Fase yang pertama ialah fase vegetatif. Fase vegetatif diawali saat berkecambah sampai inisiasi primordia malai. Fase ini ditandai dengan terbentuk anakan yang cepat sampai tercapai anakan yang maksimal, penambahan tinggi tanaman dan daun tumbuh secara teratur. Varietas padi yang berumur pendek (120 hari) lama stadia ini sekitar 55 hari, sedangkan pada varietas padi berumur panjang (150 hari) lamanya sekitar 85 hari fase yang kedua ialah fase reproduktif. Fase reproduktif dimulai dari inisiasi primordia malai sampai berbunga. Pertumbuhan pada fase ini ditandai dengan perpanjangan ruas batang, jumlah anakan berkurang, daun bendera muncul dan pembungaan. Pada varietas berumur panjang dan pendek memiliki waktu yang sama yaitu 35 hari. Fase yang ketiga ialah fase pemasakan. Fase pemasakan dimulai dari berbunga sampai panen. Fase Pemasakan ditandai dengan daun menua dan pertumbuhan biji atau gabah ialah penambahan ukuran biji, bobot dan perubahan warna. Lama stadia pada fase ini sekitar 30 hari, baik untuk varietas padi berumur panjang maupun berumur pendek. Bila fase diperinci lagi maka akan diperoleh 9 bagian. Bagian awal dimulai dari perkecambahan sampai terbentuk daun pertama, kurang lebih membutuhkan waktu sekitar 3 hari. Stadia bibit, dimulai dari pembentukan daun pertama sampai terbentuk anakan pertama, lama waktu stadia tersebut sekitar 3 minggu atau sampai padi berumur 24 hari. Stadia anakan, pembentukan anakan semakin bertambah sampai batas maksimal padi berumur 60 hari. Stadia saat terbentuk bulir, saat padi berumur 82 hari. Stadia perkembangan bulir, bulir tumbuh makin sempurna sampai terbentuk biji, lama sekitar 2 minggu saat padi berumur 92 hari. Stadia pembungaan, saat muncul bunga, polinasi dan fertilisasi. Stadia biji berisi cairan menyerupai susu, bulir kelihatan berwarna hijau, padi berumur 100 hari. Stadia pemasakan biji, baru berukuran maksimal, keras dan berwarna kuning, bulir mulai merunduk, tanaman padi berumur 116 hari (Taslim. 1989; Soedarmo. 1995).

## 2.2 Metode SRI

*System of Rice Intensification* (SRI) ialah teknik budidaya tanaman padi dengan cara mengubah pengelolaan tanaman, tanah, air dan unsur hara. Teknik budidaya tanaman padi ini mampu terbukti telah berhasil meningkatkan produktivitas padi sebesar 50% bahkan di beberapa tempat mencapai lebih dari 100% (Mutakin, 2007). Secara umum dalam konsep SRI tanaman diperlakukan sebagai organisme hidup sebagaimana mestinya, tidak diperlakukan seperti mesin yang dapat dimanipulasi. Semua potensi tanaman padi dikembangkan dengan cara memberikan kondisi yang sesuai dengan pertumbuhannya. Hal ini karena SRI menerapkan konsep sinergi, dimana semua komponen teknologi SRI berinteraksi secara positif dan saling menunjang sehingga hasil secara keseluruhan lebih banyak daripada jumlah masing-masing bagian. Menurut Berkelaar (2001), Kuswara (2003) dan Wardana (2005) terdapat beberapa komponen penting dalam penerapan SRI yaitu : bibit dipindah lapangan lebih awal (bibit muda), bibit ditanam satu batang per lubang tanam, jarak tanam lebar 30 cm x 30 cm, 40 cm x 40 cm, kondisi tanah tetap lembab tapi tidak tergenang air (irigasi berselang), menggunakan pupuk dari bahan organik kompos dan mikro organisme lokal (MOL), dilakukan penyiangan dan sekaligus pendangiran minimal empat kali pada umur tanaman 10, 20, 30 dan 40 hari setelah tanam (HST) dan pengendalian hama terpadu.

## 2.3 Pengaturan Jarak Tanam

Jarak tanam merupakan hal yang cukup penting dalam budidaya suatu tanaman. Dalam pola tanam, tanaman diatur agar tiap tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan baik dan optimal. Hal tersebut tergantung dari jenis tanaman yang akan ditanam. Bila kanopi tanaman tersebut lebar, maka jarak tanam yang dibutuhkan juga semakin lebar. Pada awal pertumbuhan kompetisi belum terjadi karena masih cukup ruang untuk pertumbuhan tanaman, akan tetapi begitu tajuk tanaman dan atau perakaran tanaman saling bersentuhan dan “*overlapping*” pada saat itulah terjadi kompetisi (Sugito, 1994). Jarak tanam juga memegang peranan penting dalam peningkatan produksi. Petani biasanya menggunakan jarak tanam yang tidak teratur, sehingga kemungkinan terjadi kompetisi baik terhadap air,

unsur hara maupun cahaya diantara individu tanaman. Jarak tanam menentukan populasi tanaman dalam suatu luasan tertentu, sehingga pengaturan yang baik dapat mengurangi terjadinya kompetisi terhadap faktor tumbuh tersebut. Ada beberapa alternatif model jarak tanam yang ada dalam teknologi pertanian misalnya model jarak tanam dengan bentuk bujur sangkar, empat persegi panjang, dan zig-zag. Model jarak tanam yang sering digunakan petani padi ialah model jarak tanam persegi, dengan jarak 20 x 20 cm atau 25 x 25 cm. Istilah yang biasa digunakan petani padi untuk model persegi ialah “*sistem tegel*”. Namun untuk penanaman padi sawah dengan metode SRI cenderung memilih jarak tanam yang lebih lebar dibandingkan dengan petani kebanyakan. Anonymous (2011) mengatakan bahwa jarak tanam lebar dimaksudkan untuk penyerapan unsur hara, sinar matahari dan udara optimal sehingga memberi kesempatan pada tanaman terutama pada pembentukan anakan, pertumbuhan akar dan pertumbuhan lebih optimal. Beberapa jarak tanam yang biasa digunakan dalam budidaya padi SRI ialah 25 x 25 cm, 30 x 30 cm, 35 x 35 cm, 40 x 40 cm atau 50 x 50 cm.

#### **2.4 Irigasi berselang (*Intermittent irrigation*)**

Pengairan berselang ialah penerapan teknis pengairan dengan mengatur tata air, yaitu mengatur kapan waktu dilakukan penambahan air dan kapan waktu dilakukan pengurangan air. Teknis tersebut dimaksudkan untuk menghemat penggunaan air. Selain itu dimaksudkan untuk memberikan asupan air yang cukup, sesuai dengan kebutuhan tanaman padi. Pengairan berselang juga untuk memperbaiki aerasi tanah (lapisan perakaran) agar tidak terlalu lama dalam kondisi anaerobik atau reduktif. Pengairan berselang atau disebut juga *intermittent* adalah pengaturan kondisi lahan dalam kondisi kering dan tergenang secara bergantian sesuai fase pertumbuhan tanaman dan kondisi lahan. Kendala yang dihadapi oleh petani selama ini yaitu kekurangan air terutama di musim kemarau. Dari hasil penelitian diketahui bahwa tanaman padi memerlukan air irigasi pada fase tertentu. Untuk mengatasi kelangkaan air pada fase tertentu, dikembangkan beberapa teknik pengelolaan lahan yang efisien dalam penggunaan air. Pengairan berselang dapat menghemat pemakaian air 15 - 30% tanpa menurunkan hasil panen (Ballitpa, 2009). Subagyono (2001) menambahkan bahwa dengan irigasi berselang hasil padi meningkat sekitar 7% dibanding dengan lahan yang terus

menerus digenangi. Dalam menerapkan pengairan berselang, perlu dipertimbangkan bahwa cara ini dilakukan bergantung pada jenis tanah dan pola pengairan di daerah setempat. Jenis tanah yang tidak bisa menahan air lebih berhati-hati dalam menerapkan cara pengairan berselang, demikian pula dengan jenis tanah berat. Pada lahan sawah yang sulit dikeringkan karena drainase kurang baik, pengairan berselang tidak perlu dipraktekkan. Selain itu pola pengairan di wilayah setempat, kalau pengairan sudah ditetapkan berselang setiap 3 hari maka harus mengikuti pola pengairan tersebut.

Pada musim hujan dan musim kemarau dibawah normal, terutama pada saat *El Nino*, petani perlu menerapkan sistem irigasi berselang untuk menghemat air. Pengaturan diantara petani pengguna air harus dilakukan. Hal tersebut dimaksudkan agar distribusi air merata kesemua petani padi. Dalam kondisi tersebut tentu irigasi berselang yang harus dilakukan. Interval pergiliran air bervariasi antara 3, 4, 5 sampai 7 hari sekali. Penerapan irigasi berselang berbeda antara suatu tempat dengan tempat yang lain, karena penerapan sistem tersebut bergantung pada kondisi suatu tempat. Penerapan sistem ini bersifat spesifik lokasi. Namun secara umum meliputi beberapa tahap, yaitu : tanam bibit dalam kondisi sawah macak-macak. pergiliran air dilakukan selang 3 - 5 hari, tinggi genangan pada hari pertama 3 cm dan lahan sawah diairi lagi pada hari ke 5. Cara pengairan ini berlangsung sampai fase anakan maksimal. Petakan sawah digenangi terus mulai fase pembentukan malai sampai pengisian biji. Sekitar 10 - 15 hari sebelum panen, sawah dikeringkan (Ballitpa, 2009). Pengecekan kondisi air dapat menggunakan alat sederhana yaitu pipa dari paralon yang sisi-sisinya dilubangi atau bahan lain yang ditanam ditanah. Pengecekan tersebut bertujuan untuk mengetahui status air dalam tanah, sehingga dapat memberikan rekomendasi dalam pengaturan pemberian atau pengurangan jumlah air dalam tanah. Penambahan air sawah dilakukan bila permukaan air berada pada kedalaman 15 - 20 cm.

Tabel 1. Cara pengairan yang dipantau dengan tabung paralon berlubang  
(Ballitpa, 2009)

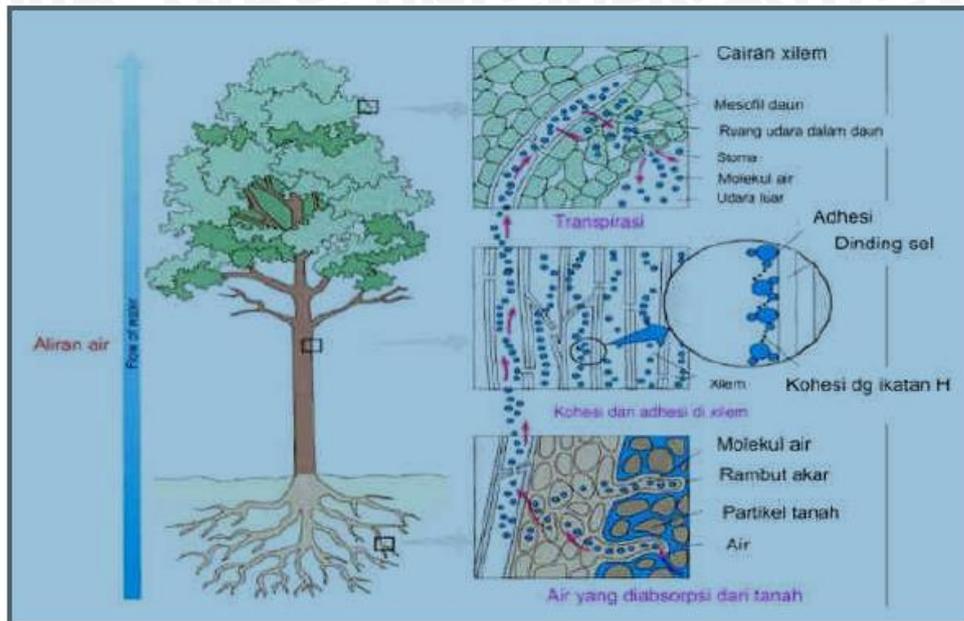
Umur (hst)	Keadaan tanaman	Tinggi genangan (cm)
0	Saat pindah tanam	0
3 – 10	Anakan aktif	-15 s/d +3
10	Saat pemberian pupuk ke-1 (NPK)	0
21 – 28	Anakan maksimum, saat pemberian pupuk N ke-2	0
30 – 40	Anakan aktif hingga primordia	-15 s/d +3
40	Fase primordia, pemberian pupuk N ke-3	0
40 – 90	Primordia hingga pengisian gabah 10 hari sebelum panen	-15 s/d +3
90 – 100	10 hari sebelum panen	0

Adapun beberapa keuntungan pengairan berselang yaitu meliputi : menghemat air irigasi sehingga areal yang dapat diairi menjadi lebih luas, memberi kesempatan kepada akar untuk mendapatkan udara sehingga dapat berkembang lebih dalam, mencegah timbulnya keracunan besi, mencegah penimbunan asam organik dan gas H<sub>2</sub>S yang menghambat perkembangan akar, mengaktifkan jasad renik mikroba yang bermanfaat, mengurangi kerebahan tanaman, mengurangi jumlah anakan yang tidak produktif, menyeragamkan pemasakan gabah dan mempercepat waktu panen, memudahkan pembenaman pupuk ke dalam tanah, memudahkan pengendalian hama keong mas, mengurangi penyebaran hama wereng coklat dan penggerek batang, serta mengurangi kerusakan tanaman padi karena hama tikus.

### 2.5 Fungsi Air bagi Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman

Fungsi air bagi tanaman ialah sebagai penyusun tubuh tanaman (70% - 90%), pelarut, difusi, osmosis dan medium reaksi biokimia, medium transport senyawa, memberikan tekanan turgor bagi sel (penting untuk pembelahan sel dan pembesaran sel), bahan baku fotosintesis dan menjaga suhu tanaman supaya stabil. Sumber air tanaman terbesar berada dalam tanah. Tanah menyediakan air tanaman salah satunya berasal dari hujan yang kemudian tersimpan di partikel tanah. Akar tanaman menjadi organ yang sangat penting. Dimana fungsinya

sebagai penyerap air dari dalam tanah yang nantinya akan di sebar keseluruh bagian tanaman. Proses pergerakan air dari tanah menuju akar dan ke seluruh jaringan tanaman ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Aliran air dari akar ke tajuk (www.iel.ipb.ac.id)

Air sebagai pelarut zat yang paling baik. Dalam Fitter and Hay (1991) disebutkan bahwa air adalah pelarut yang sangat baik untuk tiga kelompok bahan (solute) biologis yang penting yaitu : bahan organik, ion bermuatan ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ) dan molekul kecil. bahan organik dan air dapat membentuk ikatan hidrogen termasuk asam amino, karbohidrat serta protein yang berat molekulnya rendah, mengandung hidroksil, amine atau gugus fungsional asam karboksilat. Air juga membentuk disperse klorida dengan karbohidrat dan protein dengan berat molekul tinggi. Molekul air dengan sebagian muatan yang berorientasi terhadap sekitar ionnya sendiri untuk membesarkan, tetapi dengan mudah dapat larut sebagai ion hidratisasi. Molekul air menjadi terikat sebagai ikatan bermuatan pada permukaan dinding sel tanaman, membrane sel dan partikel tanah memberikan lapisan yang terikat kuat dengan air, suatu molekul yang tebal. Molekul kecil seperti gas di atmosfer ( $O_2$ ,  $N_2$ ) dapat pindah mengisi lubang pada struktur yang agak terbuka dari air dan sebagian cairan. Jadi selain sebagai pelarut air yang ideal untuk banyak reaksi biokimia, air juga sebagai suatu medium yang cocok untuk transport molekul organik, ion organik dan gas dari atmosfer. Sejalan dengan

Sugito (1999) yang menjelaskan bahwa air sangat penting bagi tanaman, karena berfungsi: (a). Bahan baku (sumber hidrogen) dalam proses fotosintesis; (b). Penyusun protoplasma yang sekaligus memelihara tekanan turgor sel; (c). Bahan atau media dalam proses transpirasi; (d). Pelarut unsur hara dalam tanah dan tubuh tanaman serta sebagai media translokasi unsur hara dari dalam tanah ke akar untuk selanjutnya dikirim ke daun. Sebagai penyusun protoplasma, air lebih banyak berperan untuk menjaga turgor sel agar sel dapat berfungsi secara normal. Bila sel kekurangan air untuk waktu cukup lama, isi sel akan terlepas dari dindingnya yang mengakibatkan rusaknya sel dan akhirnya tanaman mati. Kekurangan air sebagai akibat adanya transpirasi yang berlebihan dapat berpengaruh negatif pada tanaman. Pengaruh negatif dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan hasil panen sampai 50 persen. Sedangkan apabila kekurangan air terjadi pada fase generatif pengaruhnya tidak sebesar pada fase vegetatif dan penurunan hasil panen hanya sekitar 25%.

Kekurangan dan kelebihan air mengakibatkan tanaman mengalami stres. Witch (1990) menyatakan bahwa terdapat hubungan antara air, aktifitas fotosintesis dan kelarutan garam di dalam tanah. Selanjutnya dikatakan bahwa laju transpirasi, fotosintesis dan perkembangan tanaman akan menurun dengan penurunan derajat stres air dan tanaman ini sangat peka terhadap stres air. Pemberian air erat kaitannya dengan perubahan suhu, laju fotosintesis, transpirasi, potensial osmotik dan tekanan turgor tanaman. Adapun Kc (koefisien tanaman) dari tanaman padi untuk tiap fasenya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Koefisien tanaman (Kc) untuk tanaman padi (Doorenbos dan Kasam, 1986)

Fase perkembangan tanaman	Koefisien tanaman
Awal	1.1 – 1.15
Fase perkembangan	1.1 – 1.15
Fase pertengahan	1.1 – 1.13
Fase akhir	0.95 – 1.05
Saat panen	0.95 – 1.05

## 2.6 Respon Tanaman Terhadap Kelebihan Air

Kelebihan air tanaman disebabkan oleh kondisi dimana lingkungan tempat tumbuh tanaman padi digenangi air. Genangan air tersebut akibat dari akumulasi air yang tidak terdistribusikan dengan baik. Hal tersebut dapat berasal dari tidak ada saluran drainase pada lahan. Disamping itu juga dapat berasal dari jenis tanah yang berat. Tanah banyak mengandung liat dan debu sehingga pori tanah kecil dan lebih mudah jenuh air daripada dengan tanah yang banyak mengandung butir pasir. Air dibutuhkan tanaman padi dalam jumlah yang cukup. Stres air sering terjadi pada tanaman padi, baik kelebihan maupun kekurangan. FP UGM (2008) menjelaskan bahwa keberadaan air di alam dapat menjadi pembatas pertumbuhan tanaman, apabila jumlahnya terlalu banyak (menimbulkan genangan) sering menimbulkan cekaman aerasi dan jika jumlahnya terlalu sedikit, sering menimbulkan cekaman kekeringan. FP UGM (2008) juga menambahkan bahwa efek dari kelebihan air jelas akan terlihat pada daerah yang mendapat irigasi, kemudian di berbagai tempat yang dekat dengan daerah tampungan air bawah tanah. Dampak genangan air yang berlebihan mengakibatkan kandungan lengas tanah di atas kapasitas lapang. Selain itu juga menimbulkan dampak yang buruk terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman dengan menurunnya pertukaran gas antara tanah dan udara yang menurunnya ketersediaan  $O_2$  bagi akar, menghambat pasokan  $O_2$  bagi akar dan mikroorganisme (mendorong udara keluar dari pori tanah dan menghambat laju difusi), hal tersebut akan mengakibatkan tanaman akan terlihat menguning, pertumbuhan terhambat dan kurus, tanaman akan mati. Kondisi genangan juga dapat berdampak pada tersintesisnya beberapa zat kimia. Keberadaan zat kimia tersebut dapat membahayakan pertumbuhan tanaman, karena dapat menjadi racun bagi tanaman bila dalam kondisi yang banyak. Sejalan dengan itu De Datta (1933) menjelaskan bahwa penggenangan pada tanah dapat menyebabkan reduksi kimia Fe dan Mg. Variasi asam organik dan gas juga semakin banyak, misalnya *acetic*, *butyric*,  $CO_2$ , metan dan hydrogen sulfide. Khususnya pada zat metan, apabila tersintesis dalam jumlah yang banyak, maka akan dapat menghambat perkembangan akar dan menghambat penyerapan hara.

Pada kondisi genangan, < 10% volume air yang berisi udara. Sebagian besar tanaman pertumbuhan akarnya terhambat bila < 10% volume pori yang

berisi udara dan laju difusi  $O_2$  kurang dari  $0,2 \text{ ug/cm}^2/\text{menit}$ . Keadaan lingkungan kekurangan  $O_2$  disebut hipoksia dan keadaan lingkungan tanpa  $O_2$  disebut anoksia (mengalami cekaman aerasi). Kondisi anoksia tercapai pada jangka waktu 6 – 8 jam setelah genangan, karena  $O_2$  terdesak oleh air dan sisa  $O_2$  dimanfaatkan oleh mikroorganisme. Pada kondisi tergenang, kandungan  $O_2$  yang tersisa di tanah lebih cepat habis bila ada tanaman. Laju difusi  $O_2$  20.000 kali lebih lambat dibandingkan di udara. Laju penurunan  $O_2$  dipengaruhi oleh tekstur tanah.

Pada tanah pasiran, kehabisan  $O_2$  terjadi pada 3 hari setelah tergenang sedangkan pada tanah lempung terjadi  $< 1$  hari, porositas lempung lebih rendah dari pada pasiran. Penurunan  $O_2$  dipercepat oleh keberadaan tanaman di lahan, akar tanaman menyerap untuk respirasi. Genangan selain penurunan difusi  $O_2$  masuk ke pori juga akan menghambat difusi gas lainnya, misalnya keluarnya  $CO_2$  dari pori tanah.  $CO_2$  terakumulasi di pori, pada tanah yang baru saja tergenang 50% gas terlarut adalah  $CO_2$ , sebagian tanaman tidak mampu menahan keadaan tersebut dampak kelebihan konsentrasi  $CO_2$  mempunyai pengaruh lebih kecil dibandingkan defisiensi  $O_2$ . Genangan mempengaruhi sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Struktur tanah rusak, daya lekat agregat tanah lemah, penurunan potensi redoks, peningkatan pH tanah masam, penurunan pH tanah basa, perubahan daya hantar dan kekuatan ion, perubahan keseimbangan hara.

Tanaman yang tergenang menunjukkan gejala klorosis khas kahat N. Kekahatan N terjadi karena penurunan ketersediaan N maupun penurunan penyerapannya. Pada kondisi tergenang ketersediaan N dalam bentuk nitrat sangat rendah karena proses denitrifikasi, nitrat diubah menjadi  $N_2$ , NO,  $N_2O$  atau  $NO_2$  yang menguap ke udara. Pada proses denitrifikasi, nitrat digunakan oleh bakteri aerob sebagai penerima electron dalam proses respirasi. Genangan berdampak negatif terhadap ketersediaan N, tetapi ada pula keuntungan dari timbulnya genangan yaitu peningkatan ketersediaan P, K, Ca, Si, Fe, Mo, Ni, Zn, Pb, Co. Unsur tersebut merupakan unsur mikro “*immobile*” atau tidak cepat hilang (Sarief, 1984).

### 2.7 Respon Tanaman Terhadap Kekurangan Air

Cekaman kekeringan pada tanaman disebabkan oleh kekurangan suplai air di daerah perakaran dan permintaan air yang berlebihan oleh daun dalam kondisi

laju evapotranspirasi melebihi laju absorpsi air oleh akar tanaman. Serapan air oleh akar tanaman dipengaruhi oleh laju transpirasi, sistem perakaran, dan ketersediaan air tanah (Lakitan, 1996). Secara umum tanaman akan menunjukkan respon tertentu bila mengalami cekaman kekeringan. FP UGM (2008) mengemukakan bahwa cekaman kekeringan dapat dibagi ke dalam tiga kelompok yaitu:

- a. Cekaman ringan : jika potensial air daun menurun 0.1 Mpa atau kandungan air nisbi menurun 8 – 10 %
- b. Cekaman sedang : jika potensial air daun menurun 1.2 s/d 1.5 Mpa atau kandungan air nisbi menurun 10 – 20 %
- c. Cekaman berat : jika potensial air daun menurun >1.5 Mpa atau kandungan air nisbi menurun > 20%

Kekurangan air akan mengganggu aktifitas fisiologis maupun morfologis, sehingga mengakibatkan pertumbuhan terhenti. Lebih lanjut FP UGM (2008) mengemukakan bahwa apabila tanaman kehilangan lebih dari setengah air jaringannya dapat dikatakan bahwa tanaman mengalami kekeringan. Defisiensi air yang terus menerus akan menyebabkan perubahan irreversibel (tidak dapat balik) dan pada gilirannya tanaman akan mati. Respon tanaman terhadap stres air sangat ditentukan oleh tingkat stres yang dialami dan fase pertumbuhan tanaman saat mengalami cekaman. Respon tanaman yang mengalami cekaman kekeringan mencakup perubahan ditingkat seluler dan molekuler seperti perubahan pada pertumbuhan tanaman, volume sel menjadi lebih kecil, penurunan luas daun, daun menjadi tebal, adanya rambut pada daun, peningkatan ratio akar-tajuk, sensitivitas stomata, penurunan laju fotosintesis, perubahan metabolisme karbon dan nitrogen, perubahan produksi aktivitas enzim dan hormon, serta perubahan ekspresi gen (Kramer, 1980). Campbell (2003) juga menjelaskan bahwa tumbuhan merespon kekurangan air dengan mengurangi laju transpirasi untuk penghematan air. Terjadinya kekurangan air pada daun akan menyebabkan sel penjaga kehilangan turgornya. Suatu mekanisme control tunggal yang memperlambat transpirasi dengan cara menutup stomata. Kekurangan air juga merangsang peningkatan sintesis dan pembebasan asam absisat dari sel mesofil daun. Hormon ini membantu mempertahankan stomata tetap tertutup dengan cara bekerja pada

membran sel penjaga. Daun juga respon terhadap kekurangan air dengan cara lain. Karena pembesaran sel adalah suatu proses yang tergantung pada turgor, maka kekurangan air akan menghambat pertumbuhan daun muda. Respon ini meminimumkan kehilangan air melalui transpirasi dengan cara memperlambat peningkatan luas permukaan daun. Ketika daun dari kebanyakan tumbuhan lain layu akibat kekurangan air, maka daun tersebut akan menggulung menjadi suatu bentuk yang dapat mengurangi transpirasi dengan cara memaparkan sedikit saja permukaan daun ke matahari.

Kedalaman perakaran sangat berpengaruh terhadap jumlah air yang diserap. Pada umumnya tanaman dengan pengairan yang baik mempunyai sistem perakaran yang lebih panjang daripada tanaman yang tumbuh pada tempat yang kering. Rendahnya kadar air tanah akan menurunkan perpanjangan akar, kedalaman penetrasi dan diameter akar. Senyawa biokimia yang dihasilkan tanaman sebagai respon terhadap kekeringan dan berperan dalam penyesuaian osmotik bervariasi, antara lain gula, asam amino, dan senyawa terlarut yang kompatibel. Senyawa osmotik yang banyak dipelajari pada toleransi tanaman terhadap kekeringan antara lain prolin, asam absisik, protein dehidrin, total gula, pati, sorbitol, vitamin C, asam organik, asparagin, glisin-betain, serta superoksida dismutase dan  $K^+$  yang bertujuan untuk menurunkan potensial osmotik sel tanpa membatasi fungsi enzim.

## 2.8 Sifat Fisik Tanah

Tanah mempunyai beberapa karakteristik yang terbagi dalam tiga kelompok diantaranya adalah sifat fisik, sifat kimia dan sifat biologi. Sifat fisik tanah antara lain adalah tekstur, permeabilitas, infiltrasi, dan lain sebagainya. Setiap jenis tanah memiliki sifat fisik tanah yang berbeda. Usaha untuk memperbaiki kesuburan tanah tidak hanya terhadap perbaikan sifat kimia dan biologi tanah tetapi juga perbaikan sifat fisik tanah. Perbaikan keadaan fisik tanah dapat dilakukan dengan pengolahan tanah, perbaikan struktur tanah dan meningkatkan kandungan bahan organik tanah. Selain itu sifat fisik tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman. Kondisi fisik tanah menentukan penetrasi akar dalam tanah, retensi air, drainase, aerasi dan nutrisi tanaman. Sifat fisik tanah juga mempengaruhi sifat kimia dan biologi tanah.

Sifat fisik tanah meliputi tekstur, struktur, kepadatan tanah, porositas, konsistensi, warna, air tanah, temperatur, aerasi. Tekstur tanah disusun dari butir tanah dengan berbagai ukuran. Bagian butir tanah yang berukuran lebih dari 2 mm disebut bahan kasar tanah seperti kerikil, koral sampai batu. Bagian butir tanah yang berukuran kurang dari 2 mm disebut bahan halus tanah. Bahan halus tanah dibedakan menjadi : (1) pasir, yaitu butir tanah yang berukuran antara 0,050 mm sampai dengan 2 mm. (2) debu, yaitu butir tanah yang berukuran antara 0,002 mm sampai dengan 0,050 mm. (3) liat, yaitu butir tanah yang berukuran kurang dari 0,002 mm. Menurut Hardjowigeno (1992) tekstur tanah menunjukkan kasar halusnnya tanah. Tekstur tanah merupakan perbandingan antara butir pasir, debu dan liat. Tekstur tanah dikelompokkan dalam 12 klas tekstur. Kedua belas klas tekstur dibedakan berdasarkan prosentase kandungan pasir, debu dan liat.

Tekstur tanah memiliki beberapa hubungan dengan komponen tanah lain. Adapun hubungan tersebut meliputi hubungan tekstur tanah dengan daya menahan air dan ketersediaan hara, hubungan tekstur tanah dengan kadar air. Tanah bertekstur liat mempunyai luas permukaan yang lebih besar sehingga kemampuan menahan air dan menyediakan unsur hara tinggi. Tanah bertekstur halus lebih aktif dalam reaksi kimia daripada tanah bertekstur kasar. Tanah bertekstur pasir mempunyai luas permukaan yang lebih kecil sehingga sulit menyerap (menahan) air dan unsur hara. Tekstur tanah yang berbeda mempunyai kemampuan menahan air yang berbeda pula. Tanah bertekstur halus, sebagai contoh: tanah bertekstur liat, memiliki ruang pori halus yang lebih banyak, sehingga berkemampuan menahan air lebih banyak. Sedangkan tanah bertekstur kasar, sebagai contoh: tanah bertekstur pasir, memiliki ruang pori halus lebih sedikit, sehingga kemampuan menahan air lebih sedikit pula.

Air dapat meresap atau ditahan oleh tanah karena adanya gaya adhesi, kohesi dan gravitasi. Hardjowigeno (1992) menjelaskan bahwa air terdapat dalam tanah karena ditahan (diserap) oleh massa tanah, tertahan oleh lapisan kedap air, atau karena keadaan drainase yang kurang baik. Karena adanya gaya tersebut maka air dalam tanah dapat dibedakan menjadi: (1) Air hidroskopik adalah air yang diserap tanah sangat kuat sehingga tidak dapat digunakan tanaman, kondisi ini terjadi karena adanya gaya adhesi antara tanah dengan air. Air hidroskopik

merupakan selimut air pada permukaan butir tanah. (2) Air kapiler adalah air dalam tanah dimana daya kohesi (gaya tarik menarik antara sesama butir air) dan daya adhesi (antara air dan tanah) lebih kuat dari gravitasi. Air ini dapat bergerak secara horisontal (ke samping) atau vertikal (ke atas) karena gaya kapiler. Sebagian besar dari air kapiler merupakan air yang tersedia (dapat diserap) bagi tanaman. Dalam menentukan jumlah air tersedia bagi tanaman beberapa istilah dibawah ini perlu dipahami, yaitu : (1) Kapasitas lapang adalah keadaan tanah yang cukup lembab yang menunjukkan jumlah air terbanyak yang dapat ditahan oleh tanah terhadap gaya tarik gravitasi. Air yang dapat ditahan oleh tanah tersebut terus menerus diserap oleh akar tanaman atau menguap sehingga tanah makin lama semakin kering. Pada suatu saat akar tanaman tidak mampu lagi menyerap air tersebut sehingga tanaman menjadi layu (titik layu permanen). (2) Titik layu permanen adalah kandungan air tanah dimana akar tanaman mulai tidak mampu lagi menyerap air dari tanah, sehingga tanaman menjadi layu. Tanaman akan tetap layu baik pada siang hari maupun malam hari. (3) Air tersedia adalah banyaknya air yang tersedia bagi tanaman, yaitu selisih antara kadar air pada kapasitas lapang dikurangi dengan kadar air pada titik layu permanen.

Kandungan air pada kapasitas lapang ditunjukkan oleh kandungan air pada tegangan  $1/3$  bar, sedangkan kandungan air pada titik layu permanen adalah pada tegangan 15 bar. Air yang tersedia bagi tanaman adalah air yang terdapat pada tegangan antara  $1/3$  bar sampai dengan 15 bar. Banyaknya kandungan air dalam tanah berhubungan erat dengan besarnya tegangan air (*moisture tension*) dalam tanah tersebut. Besarnya tegangan air menunjukkan besarnya tenaga yang diperlukan untuk menahan air tersebut di dalam tanah. Tegangan diukur dalam bar atau atmosfer atau cm air atau logaritma dari cm air yang disebut pF. Satuan bar dan atmosfer sering dianggap sama karena  $1 \text{ atm} = 1,0127 \text{ bar}$ . Kemampuan tanah menahan air dipengaruhi antara lain oleh tekstur tanah. Tanah bertekstur kasar mempunyai daya menahan air lebih kecil daripada tanah bertekstur halus. Oleh karena itu, tanaman yang ditanam pada tanah pasir umumnya lebih mudah kekeringan daripada tanah bertekstur lempung atau liat. Kondisi kelebihan air ataupun kekurangan air dapat mengganggu pertumbuhan tanaman.

Hubungan tekstur tanah liat dengan kondisi air dan hara tanah. Tekstur liat ialah perbandingan antara partikel pasir, debu, liat namun masih didominasi oleh partikel liat, dengan kata lain kandungan partikel liat pada tanah lebih banyak dari partikel lainnya. Partikel ini akan bergabung secara alamiah yang dipengaruhi oleh batuan induk lokasi tersebut. Dalam interaksi dengan komponen di tanah lainnya, partikel liat akan bergabung membentuk kompleks liat pada lapisan ini dan terhindar dari proses pencucian serta bermuatan listrik yang mampu mengikat unsur hara bagi tanaman. Hal ini sesuai pendapat Ali Kemas (2005) bahwa kehilangan unsur hara karena terjadi pencucian sangat kecil karena merupakan zona pemupukan yang kurang banyak mengandung bahan organik dan mineralisasi, lebih tinggi kandungan liatnya yang bermuatan negatif akan menarik ion bermuatan positif. Pada lapisan inilah banyak terkandung unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman. Sesuai dengan pendapat Sarief (1998) bahwa kemampuan air dan unsur hara tinggi pada tanah yang kandungan liatnya tinggi karena luas permukaan besar, partikel liat akan bergabung membentuk kompleks liat pada lapisan ini dan terhindar dari proses pencucian serta bermuatan listrik mampu mengikat unsur hara bagi tanaman.

## 2.9 Evapotranspirasi

Kehilangan air pada penanaman padi dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu evaporasi dan transpirasi atau evapotranspirasi. Evaporasi ialah proses kehilangan air dari permukaan tanah, sedangkan transpirasi ialah proses kehilangan air melalui daun dan organ tanaman. Menurut Kramer dalam Gardner (1991) evapotranspirasi ialah jumlah total air yang hilang dari lapangan karena evaporasi tanah dan transpirasi tanaman secara bersama-sama. Evaporasi merupakan suatu proses yang tergantung dari energi yang meliputi perubahan sifat dari cairan ke gas. Laju transpirasi merupakan fungsi landaian tekanan uap, tahanan terhadap aliran, dan kemampuan tanaman dan tanah untuk mentranspor air ke tempat terjadinya transpirasi. Transpirasi memberikan gaya penggerak utama untuk penyerapan air tanaman melawan gaya gravitasi dan tahanan gesekan dalam jalur air melalui tanaman. Laju pengambilan air terutama dikendalikan oleh laju transpirasi, tekanan air dan penyerapan air secara aktif hanya memainkan peranan yang kecil dalam penyerapan dan hanya tampak apabila transpirasi rendah atau

berhenti. Besaran jumlah kehilangan air melalui evapotranspirasi dipengaruhi oleh unsur cuaca seperti temperatur, kelembaban udara, angin, lama penyinaran oleh matahari.

Kehilangan air ke atmosfer juga dapat dipengaruhi oleh adanya interaksi antara faktor lingkungan dan faktor dalam tanaman. Pengaruh lingkungan terhadap evapotranspirasi disebut tuntutan atmosfer atau tuntutan evaporasi. Semakin besar tuntutan atmosfer, semakin cepat dievaporasikan air dari permukaan air yang bebas. Faktor berikut mempengaruhi tuntutan atmosfer : 1. Penutupan stomata. Sebagian besar transpirasi terjadi melalui stomata karena kutikula secara relatif tidak tembus air, dan hanya sedikit transpirasi yang terjadi apabila stomata tertutup. Dengan stomata yang terbuka lebih lebar, maka lebih banyak pula kehilangan air. Pada tingkat kelembaban di dalam daun rendah sel pengawal kehilangan turgornya mengakibatkan penutupan stomata ; 2. Jumlah dan ukuran stomata. Kebanyakan daun tanaman budidaya mempunyai banyak stomata pada kedua sisi daun ; 3. Jumlah daun. Semakin luas daerah permukaan daun, semakin besar evapotranspirasi; 4. Penggulungan atau pelipatan daun. Banyak tanaman mempunyai mekanisme dalam daun yang menguntungkan pengurangan transpirasi apabila persediaan air terbatas. Tumbuhan berdaun lebar mempunyai mekanisme untuk mengurangi kehilangan air; misalnya padi mempunyai kecenderungan untuk menggulung daunnya ke samping sehingga bulu-bulu keperakan (rambut di atas permukaan bawah daun yang terluka dapat merefleksikan lebih banyak cahaya); 5. Kedalaman proliferasi akar. Ketersediaan dan pengambilan kelembaban tanah oleh tanaman budidaya sangat bergantung pada kedalaman dan proliferasi akar. Perakaran yang lebih dalam meningkatkan ketersediaan air, dan proliferasi akar meningkatkan pengambilan air.