

Ekologi Tumbuhan

Marheny Lukitasari, S.P., S.Pd., M.Pd

EKOLOGI TUMBUHAN

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirrobil alamin....., akhirnya terselesaikan buku pedoman perkuliahan untuk mata kuliah Ekologi Tumbuhan ini. Oleh karena itulah, pertamanya penulis mengucapkan syukur ke hadirat Allah SWT, atas ridho dan perkenan-NYA lah maka buku ini dapat terselesaikan.

Buku pedoman kuliah Ekologi Tumbuhan ini merupakan buku yang sengaja dihadirkan untuk memenuhi tuntutan akan kebutuhan media yang mampu menjembatani pemahaman mahasiswa terhadap pengertian dan pemahaman mengenai proses pertumbuhan tumbuhan beserta banyak faktor yang mempengaruhinya. Buku ini disajikan dengan kombinasi antara teori dan berbagai hasil penelitian yang diharapkan akan membuka cakrawala berpikir mahasiswa untuk menjadi lebih kritis dalam berpikir dan melakukan analisis terutama dalam hal memahami fenomena mengenai ekologi bagi tumbuhan. Perlu disampaikan bahwa beberapa kata tumbuhan sesuai dengan kebutuhan akan berganti menjadi tanaman dengan pemahaman bahwa tanaman merupakan tumbuhan yang dengan sengaja dibudidayakan untuk kebutuhan dan kepentingan manusia.

Buku Pedoman Kuliah untuk mata kuliah Ekologi Tumbuhan ini dapat dipelajari oleh mahasiswa sebagai penunjang beberapa materi dalam mata kuliah Ekologi Tumbuhan dan sekaligus memperkuat teori saat mahasiswa melakukan praktikum. Dengan mempelajari modul ini maka diharapkan secara umum mahasiswa dapat:

- Menguasai kompetensi yang sudah ditentukan dari setiap Bab
- Memahami dan mengerti setiap materi dalam Bab dengan baik
- Belajar mandiri melalui penugasan-penugasan atau soal-soal yang diberikan didalam pedoman kuliah ini
- Menambah wawasan Ekologi Tumbuhan mahasiswa melalui materi yang diberikan dalam setiap Bab, dan contoh-contoh yang disuguhkan dalam materi yang merupakan hasil penelitian yang telah dilakukan penulis bersama mahasiswa.

Terdapat banyak masukan, kritik, saran, dan berbagai diskusi yang menginspirasi berbagai hal sehingga memunculkan pengembangan dan memperkaya

isi buku ini. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang tulus kepada berbagai pihak yang ikut berperan serta sehingga terwujud buku ini dengan berbagai kelebihan dan kekurangannya.

Akhir kata, semoga keberadaan buku ini akan mampu memberikan banyak manfaat terutama untuk mendukung penyampaian mata kuliah Ekologi Tumbuhan disamping kegiatan praktikum yang dilakukan. Terima kasih.

Madiun, Juli 2018

Dipersembahkan untuk anak-anak ku, Devina, Atif, dan Sultan...

PETUNJUK PENGGUNAAN

Petunjuk penggunaan buku pedoman mata kuliah Ekologi Tumbuhan ini dibagi menjadi dua, yaitu petunjuk penggunaan untuk mahasiswa dan peran dosen dalam pemanfaatan buku.

Petunjuk penggunaan untuk mahasiswa:

1. Pelajari materi dengan baik sebelum melanjutkan ke materi berikutnya
2. Jawablah setiap pertanyaan dalam materi pada setiap bab, dan bandingkan jawaban anda sebelum dan sesudah mempelajari materi untuk mengetahui tingkat penguasaan anda
3. Buku pedoman kuliah ini bersifat sebagai penunjang dalam kegiatan praktikum yang akan anda laksanakan secara inkuiri dan berkelompok.
4. Bacalah sumber-sumber pendukung yang lain untuk memperdalam pengetahuan dan wawasan anda
5. Selamat belajar semoga sukses

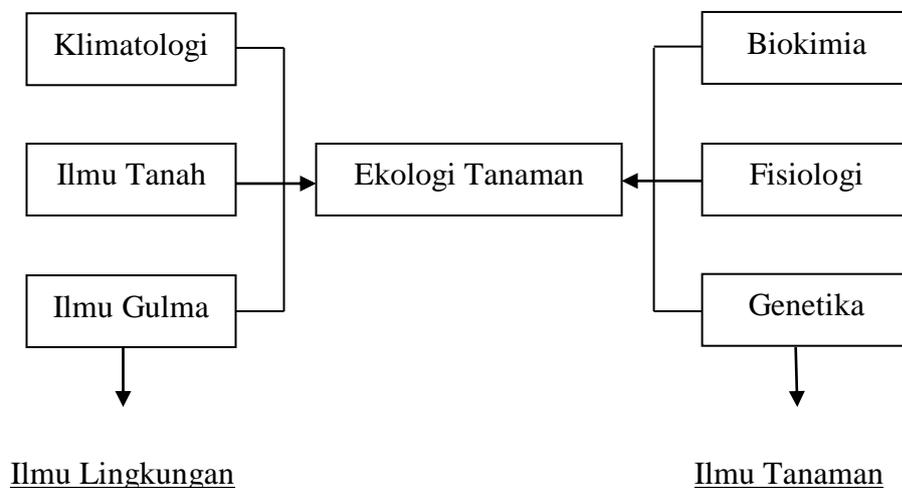
Peran dosen dalam pemanfaatan buku pedoman ini yaitu:

1. Membantu mahasiswa untuk dapat belajar dengan baik, yaitu melalui perencanaan proses belajar dan cara belajar aktif.
2. Sebisa mungkin peran dosen adalah mengajak mahasiswa untuk dapat bekerja kelompok atau belajar secara berkelompok baik dalam kegiatan praktikum maupun saat dilakukan diskusi.
3. Membimbing mahasiswa dalam pemakaian buku ajar terutama dari tugas-tugas pelatihan yang telah dijelaskan dalam tahap belajar
4. Memotivasi mahasiswa untuk mempunyai kemauan menambah pengetahuan dengan mencari sumber informasi lain selain buku pedoman kuliah yang sudah digunakan
5. Menjawab pertanyaan peserta didik, dan melakukan diskusi di kelas ketika sedang dilakukan proses pembelajaran tentang materi yang bersangkutan

PENDAHULUAN

Pertambahan penduduk dan kemajuan teknologi telah menuntut ditingkatkannya persediaan bahan pangan serta bahan baku energi. Tetapi kenyataan saat ini kita ketahui bahwa daya dukung sumber alam semakin labil akibat pemanfaatan yang semakin eksplisit tanpa mengindahkan kaidah-kaidah ekologi. Pemanfaatan sumber daya alam yang berlebihan tanpa diikuti oleh usaha-usaha yang menganut prinsip-prinsip ekologis akan menambah rumitnya masalah tersebut. Oleh karena itulah maka pengkajian masalah ekologis untuk memperoleh hasil yang maksimal merupakan hal yang tidak dapat dipisahkan dari ilmu tanaman. Analisa dampak lingkungan memberikan gambaran bahwa faktor lingkungan mempengaruhi fungsi fisiologis yang pada gilirannya akan mempengaruhi produksi yang diperoleh.

Ekologi tanaman mempunyai pengertian ekologi sebagai ilmu dan tanaman sebagai obyek. Dalam kaitannya dengan ilmu lain maka ekologi tanaman merupakan jembatan antara kelompok ilmu lingkungan dan juga ilmu tanaman.



Gambar 1. Hubungan Ekologi Tumbuhan dengan Ilmu yang Lain

Dari gambar 1 tersebut menunjukkan bahwa cakupan ekologi tumbuhan sangat luas, karena dipelajari pula bagaimana pengaruh iklim, tanah dan faktor biotik dengan seluruh komponen-komponennya terhadap proses biokimia, fisiologi dan sifat genetik yang terjadi dalam tanaman.

Pertumbuhan pada dasarnya merupakan hasil kerja atau pengaruh yang saling berkaitan antara sifat genetik tanaman dan pengaruh faktor luar dimana tanaman tersebut berada. Oleh karena itu untuk mendapatkan pertumbuhan dan hasil tanaman yang baik, maka penting untuk menambah pengetahuan tentang bagaimana cara mengelola lingkungan tumbuh tersebut sebaik-baiknya.

Sesuai dengan hukum minimum *Von Liebig* yang menyatakan bahwa “Apabila suatu proses dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dalam keadaan minimum/terbatas”. Bisa disimpulkan bahwa apabila dalam kondisi lingkungan tanaman kekurangan satu unsur saja, meskipun unsur yang lain terpenuhi dengan baik maka tetap saja hal itu akan mengganggu pertumbuhannya secara keseluruhan.

Tanpa mengurangi arti sifat genetik dari tanaman, maka buku ini lebih banyak membahas faktor-faktor lingkungan tumbuh tanaman yang bersifat abiotik seperti: radiasi matahari, air, suhu, angin, tanah, atmosfer serta faktor biotik yang bisa berupa organisme lain sejenis maupun yang berbeda jenis tetapi terjadi interaksi yang aktif di dalamnya.

Pembahasan dititikberatkan pada penjelasan bagaimana pengaruh faktor-faktor lingkungan tersebut terhadap pertumbuhan secara mendalam termasuk pengaruhnya terhadap proses metabolisme yang terjadi dalam tubuh tanaman. Sehingga tujuan utama disusunnya buku ini adalah untuk meningkatkan pola pikir dan pengetahuan mahasiswa agar tidak hanya sekedar mengetahui apa yang terjadi tetapi lebih penting adalah mencari tahu mengapa itu terjadi.

TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah mempelajari Bab I, mengenai Matahari sebagai Sumber Energi diharapkan mahasiswa mampu

1. Menjelaskan perbedaan intensitas cahaya matahari dan kualitas cahaya matahari yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman.
2. Menjelaskan mekanisme morfogenetik yang terjadi pada tanaman yang tumbuh pada intensitas dan kualitas cahaya matahari yang berbeda.
3. Membedakan peran khlorofil dan fitokrom terkait dengan fungsinya yang terpicu oleh intensitas dan kualitas cahaya matahari.
4. Melakukan kegiatan praktikum secara berkelompok dengan inkuiri berdasarkan dua sub bahasan matahari sebagai sumber energi.
5. Mengaplikasikan teori yang didapatkan dengan mengkaitkan kondisi sehari-sehari yang ditemui sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna.

BAB I

MATAHARI SEBAGAI SUMBER ENERGI

Energi merupakan kebutuhan yang sangat vital bagi kehidupan, dimanfaatkan oleh tanaman, binatang dan manusia yang pada hakikatnya semua energi bersumber dari energi matahari. Segala bentuk kehidupan, proses kehidupan dan aktivitas hidup memerlukan energi. Jumlah energi yang dimanfaatkan untuk menjalankan aspek kehidupan itu hampir seratus persen bersumber dari energi radiasi matahari.

Energi matahari yang diradiasi ke bumi dengan berbagai panjang gelombang dan berbagai tingkat energi, sebelum dimanfaatkan oleh organisme terlebih dahulu dikonversi menjadi bentuk energi panas, cahaya, kimia, mekanis dan bentuk lainnya yang pada prinsipnya disesuaikan dengan formasi kebutuhan.

Radiasi matahari merupakan faktor utama diantara faktor iklim yang lain, tidak hanya sebagai sumber energi primer tetapi karena pengaruh terhadap keadaan faktor-faktor yang lain seperti: suhu, kelembaban dan angin.

Respon tanaman terhadap radiasi matahari atau pengaruh radiasi terhadap tanaman pada dasarnya dapat dibagi dalam tiga aspek yaitu intensitas, kualitas dan fotoperiodisitas.

1.1. INTENSITAS RADIASI MATAHARI DAN PERTUMBUHAN

Intensitas radiasi matahari adalah banyaknya energi yang diterima oleh suatu tanaman per satuan luas dan per satuan waktu, dengan satuan $\text{kal/cm}^2/\text{hari}$, sehingga pengertian intensitas disini sudah termasuk didalamnya “lama penyinaran” (lama matahari bersinar dalam satu hari) karena satuan waktunya menggunakan hari. Intensitas cahaya menentukan jumlah quanta energi yang diterima oleh suatu permukaan atau jumlah total energi yang diterima tanaman.

Secara umum Best (1962) membagi efek radiasi terhadap tanaman menjadi tiga kelompok, yaitu:

- a. Efek panas, yaitu mempengaruhi pertukaran panas (suhu) jaringan dan lingkungan, proses transpirasi, respirasi, reaksi biokimia dalam fotosintesa dan metabolisme lainnya.
- b. Efek fotokimia, yaitu mempengaruhi fotosintesis.

- c. Efek morfogenetik yang berperan sebagai regulator dan simultan dalam berbagai proses pertumbuhan dan perkembangan (pembungaan, percabangan dan pematangan).

Secara umum besarnya intensitas radiasi yang diterima oleh tanaman tidak sama untuk setiap tempat dan waktu, antara lain tergantung pada:

1. Jarak matahari dan bumi

Jarak ini erat kaitannya dengan sudut datang, dimana sudut datang radiasi matahari adalah sudut yang dibentuk oleh sinar datang dengan bidang horizontal. Jika sudut datang semakin besar berarti matahari semakin mendekati tegak lurus terhadap bidang datar. Apabila sudut datangnya besar berarti intensitas radiasi matahari akan semakin besar, dengan kata lain bahwa intensitas radiasi matahari berbanding lurus dengan sudut datang. Misal pada pagi dan sore hari, intensitas lebih rendah daripada siang hari karena jarak matahari lebih jauh. Di daerah sub tropis jarak matahari lebih jauh.

2. Musim

Musim hujan intensitasnya lebih rendah dibandingkan musim kemarau karena saat musim hujan sinar matahari yang jatuh sebagian diserap oleh awan.

3. Letak geografis

Daerah di sebelah timur dan barat lebih banyak menerima radiasi matahari dibanding utara dan selatan. Bahkan daerah timur dan barat seringkali juga berbeda terutama pada musim hujan, karena saat musim hujan di sore hari akan lebih banyak awan dibanding pagi hari.

Kisaran intensitas cahaya optimum merupakan salah satu faktor yang biasa mempengaruhi laju fotosintesis, laju respirasi dan jumlah karbohidrat yang tersedia untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kisaran intensitas cahaya besarnya tergantung pada jenis tanaman, dimana beberapa jenis dapat melakukan fotosintesis dengan kecepatan mengakumulasi fotosintat yang tinggi per unit waktu pada intensitas yang relatif rendah sedang jenis lainnya mempunyai akumulasi yang tinggi pada intensitas cahaya relatif tinggi. Berdasarkan kebutuhan akan intensitas cahaya matahari, maka tumbuhan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Tanaman yang membutuhkan intensitas cahaya rendah (*Shade plant* / senang naungan).
2. Tanaman yang membutuhkan intensitas cahaya tinggi (*Sun plant*).

Setiap jenis tanaman mempunyai kebutuhan intensitas radiasi matahari yang berbeda-beda sesuai dengan implikasinya di lapangan. Secara visual berdasarkan sifat-sifat morfologi dan fisiologinya, maka tanaman dapat terlihat seperti tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh Intensitas Radiasi Matahari Ekstrim terhadap Sifat Morfologi dan Fisiologi Tumbuhan.

No	Sifat yang diukur	Intensitas radiasi matahari	
		Tinggi	Rendah
1.	Tinggi Tanaman	Pendek	Panjang
2.	Diameter batang	Besar	Kecil
3.	Bunga dan buah	Baik	Buruk
4.	Lapisan lilin di daun	Tebal	Tipis
5.	Ukuran stomata	Kecil	Besar
6.	Jumlah stomata	Banyak	Sedikit
7.	Nisbah : daun/batang	Rendah	Tinggi
8.	Nisbah : akar/tunas	Tinggi	Rendah
9.	Helai daun	Sempit	Lebar
10.	Ketebalan daun	Tebal	Tipis
11.	Kandungan khlorofil	Banyak	Sedikit
12.	Kandungan karotin, santofil	Tinggi	Rendah
13.	Kadar gula	Tinggi	Rendah
14.	Nisbah : C/N	Tinggi	Rendah

Tabel 1 menjelaskan bahwa umumnya tanaman yang tumbuh pada intensitas radiasi matahari yang rendah sepintas akan terlihat subur karena tanaman terlihat lebih tinggi, daun-daun rimbun tapi sebenarnya tanaman tersebut lemah. Kualitas hasil (kadar gula, kadar nikotin dll) juga rendah. Sebaliknya tanaman yang berada pada kondisi radiasi matahari tinggi maka pertumbuhannya terhambat, batang pendek serta daun kecil. Hasil rendah akan tetapi kualitasnya tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa yang terbaik adalah radiasi matahari optimum, artinya tidak terlalu rendah atau terlalu tinggi. Intensitas cahaya matahari juga mempengaruhi berbagai proses dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman, diantaranya adalah, transpirasi dan terutama adalah fotosintesis seperti diungkap oleh Asadi, dkk (1991).

1.1.1. Pengaruh Intensitas Radiasi Matahari Terhadap Sifat Fisiologis Tanaman

Ditinjau dari sifat fisiologis tanaman maka intensitas radiasi dapat berpengaruh pada: A. Laju fotosintesis, B. Laju transpirasi, C. Pertumbuhan memanjang, D. Perkecambahan benih.

A. Laju Fotosintesis

Fotosintesis merupakan proses yang sangat menentukan di permukaan bumi, karena melalui proses ini akan dihasilkan zat organik yang merupakan sumber bahan makanan bagi organisme yang lain selain tanaman yang dibentuk dari zat anorganik. Proses fotosintesis juga merupakan proses perubahan energi matahari oleh tanaman menjadi energi kimia yang berupa karbohidrat dan biasanya diukur dalam berat kering total tanaman tersebut.

Semakin meningkat intensitas radiasi matahari maka laju fotosintesis juga akan semakin meningkat sampai optimum kemudian peningkatan intensitas setelah titik optimum tidak akan dapat meningkatkan lagi laju fotosintesis. Besarnya intensitas optimum tidak sama untuk tiap tanaman karena juga dipengaruhi oleh konsentrasi CO² di atmosfer, dan juga ketersediaan air.

Ditinjau dari aspek energi, maka fotosintesis merupakan suatu proses yang tidak efisien karena hanya sekitar 1-2% saja dari keseluruhan energi matahari yang jatuh dapat diubah menjadi energi kimia dalam bentuk karbohidrat hasil panen. Sebagai contoh bila intensitas radiasi matahari pada suatu daerah rata-rata 400 kal/cm²/hari, maka seharusnya hasil tanaman yang biasa dipanen adalah:

$$\frac{400 \times 10^8 \times 365}{4 \times 10^9} = 3650 \text{ ton KH/ha/tahun}$$

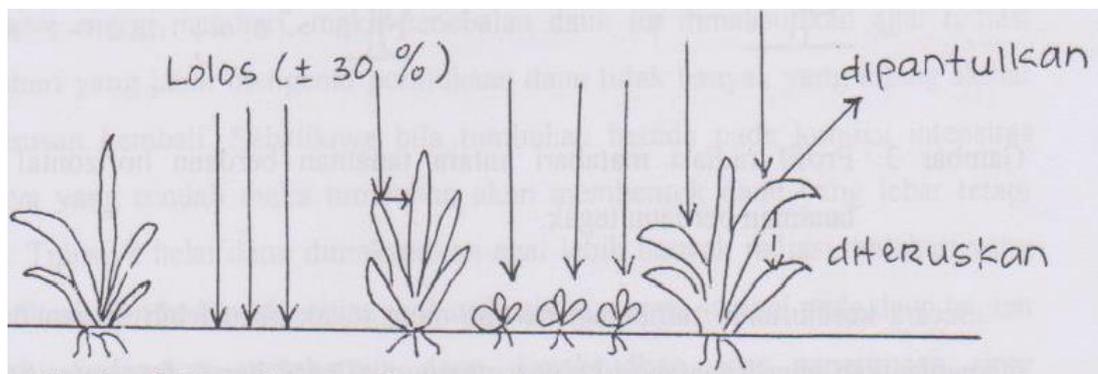
Perhitungan yang disampaikan dengan asumsi bahwa pada kondisi 1 gram karbohidrat akan mengandung 4000 kalori. Akan tetapi kenyataannya adalah hasil terbaik untuk setiap hektar adalah 50 ton KH (dilihat dari bahan kering total tanaman) per tahunnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa efisiensi fotosintesis adalah $\frac{50}{3650} \times 100\% = 1,5\%$ saja.

Permasalahan utama tidak efisiensinya radiasi matahari bisa diakibatkan karena hilangnya energi matahari tersebut sebelum bisa digunakan oleh tanaman untuk proses fotosintesis. Hilangnya energi matahari tersebut bisa dikarenakan:

- 1) Saat tanaman masih muda maka daun-daunnya belum dapat menutupi permukaan tanah secara sempurna, sehingga banyak energi matahari yang hilang akibat tidak bisa ditangkap (*diintersepsi*) oleh daun-daun tanaman tersebut.

Beberapa faktor yang bisa mempengaruhi adalah:

- a. Populasi tanaman
- b. Laju pertumbuhan tanaman
- c. Sistem bertanam



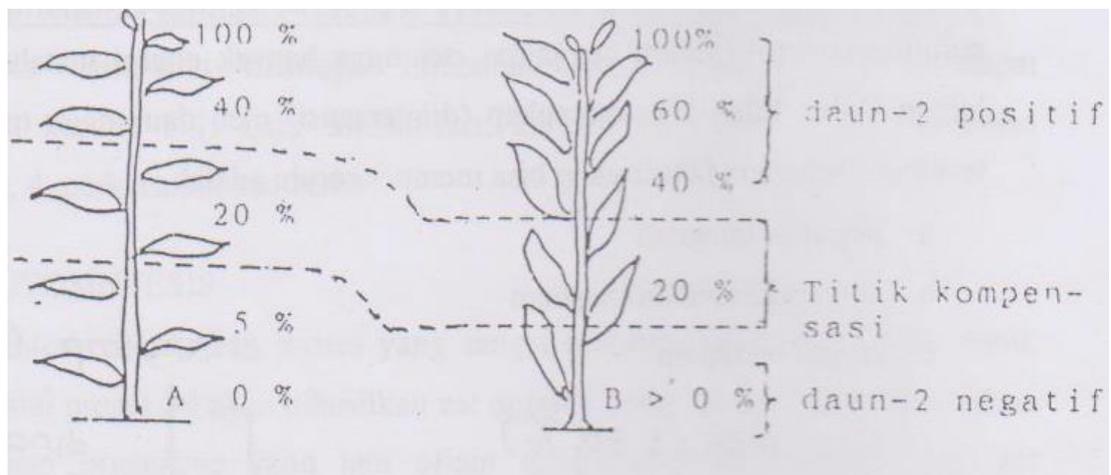
Gambar 2. Penyebaran Radiasi Matahari pada Saat Awal Pertumbuhan

Gambar 2 menjelaskan bahwa pada saat awal pertumbuhan, rata-rata cahaya matahari yang lolos dan tidak dimanfaatkan berkisar antara 30%. Dalam konsep budidaya tanaman tertentu, memanfaatkan cahaya matahari dilakukan dengan sistem tanam tumpangsari, yaitu menanam dua tanaman yang memiliki umur berbeda sehingga proses pertumbuhan dua tanaman tersebut juga berbeda. Dengan demikian maka tanah kosong di sela-sela areal pertumbuhan dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin.

- 2) Rendahnya efisiensi konversi tersebut bisa dikarenakan tidak seluruh radiasi matahari yang sampai pada tanaman dapat diserap (*diabsorpsi*) oleh tanaman. Sebagian dipantulkan kembali (*refleksi*) dan sebagian lagi diteruskan (*ditransmisi*).

Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk mengurangi pantulan dan penerusan energi radiasi matahari ini adalah dengan melihat:

- a. Kekasaran tajuk tanaman, dimana bentuk tajuk yang kasar akan lebih efisien dalam menerima radiasi matahari dibanding dengan tajuk yang halus/rata. hal ini dikarenakan energi matahari yang dipantulkan akan dapat ditangkap kembali oleh daun-daun tanaman yang berada di sebelahnya terutama pada posisi yang lebih tinggi. Keadaan demikian tidak terjadi pada tanaman dengan tajuk yang rata karena ketinggian permukaan tajuk kurang sama.
- b. Sudut daun, apabila sudut daun kecil atau susunan daun cenderung tegak maka tanaman tersebut akan lebih efisien dalam menerima radiasi matahari dibanding dengan tanaman yang berdaun horizontal karena pantulannya akan kembali ke atmosfir.



Gambar 3. Profil Radiasi Matahari antara Tanaman Berdaun Horizontal dan Tanaman Berdaun Tegak.

Gambar 3 menjelaskan bahwa secara keseluruhan tumbuhan bertipe daun tegak (B) akan lebih efisien dalam memanfaatkan energi matahari dibandingkan dengan tumbuhan berdaun datar (A) karena mempunyai hasil bersih fotosintesis yang lebih besar. Kondisi tersebut disebabkan karena tumbuhan yang berdaun tegak mempunyai daun-daun positif lebih banyak dibanding dengan tumbuhan yang berdaun horizontal, yang berarti tanaman tersebut mempunyai banyak daun yang produktif karena intensitas radiasi matahari yang diterima masih cukup tinggi untuk berlangsungnya proses fotosintesis.

Semakin ke bawah intensitas radiasi matahari yang diterima daun-daun akan semakin rendah, demikian pula laju proses fotosintesis yang terjadi pada

daun-daun bagian bawah ini semakin menurun sedangkan proses respirasi berlangsung pada tingkat yang kurang lebih sama. Akibatnya tanaman akan sampai pada kondisi dimana laju fotosintesis akan sama dengan respirasi dan keadaan ini disebut dengan istilah *TITIK KOMPENSASI CAHAYA*. Intensitas matahari pada kondisi ini tidak bisa menghasilkan fotosintat netto atau pertambahan nilainya nol, yang berarti tidak ada karbohidrat yang dapat digunakan untuk tumbuh atau disimpan dalam tempat cadangan makanan seperti biji, umbi atau batang.

- c. *Indeks Luas Daun (ILD)*, yang berkaitan dengan hilangnya energi matahari akibat penerusan (transmisi). Tanaman yang mempunyai ILD tinggi dapat kita bayangkan akan mempunyai susunan daun yang berlapis-lapis sehingga kalau ada radiasi matahari yang diteruskan dari daun bagian atas maka akan bisa ditangkap kembali oleh daun bagian bawah, demikian seterusnya.
- d. Tebal tipisnya daun (*Specific Leaf Area*), berpengaruh dalam penerimaan radiasi matahari. Daun yang tipis dapat diibaratkan sebagai lembaran yang transparan sehingga bila menerima cahaya matahari akan lebih banyak yang diteruskan ke bawah bila dibandingkan dengan daun yang tebal.

Tebal tipisnya daun erat kaitannya dengan proses adaptasi tanaman terhadap kondisi lingkungan, dimana pada intensitas cahaya yang tinggi maka tanaman akan membentuk daun yang tebal tetapi sempit. Dikaitkan dengan efisiensi energi matahari, maka penebalan daun ini dimaksudkan agar radiasi matahari yang jatuh mengenai permukaan daun tidak banyak yang hilang akibat penerusan kembali. Sebaliknya bila tanaman berada pada kondisi intensitas cahaya yang rendah maka tanaman akan membentuk daun yang lebar tetapi tipis. Tipisnya helai daun dimaksudkan agar lebih banyak radiasi matahari yang bisa diteruskan ke bawah sehingga distribusinya menjadi lebih merata hingga sampai pada daun bagian bawah. Sedangkan melebarnya daun dimaksudkan agar penerimaan sinar matahari menjadi lebih banyak.

- e. Warna daun, berpengaruh pada efisiensi energi matahari terkait dengan kemampuan daun untuk menyerap (mengabsorpsi) energi matahari yang telah ditangkap oleh daun tersebut. Daun dengan warna hijau gelap lebih banyak menyerap cahaya dibandingkan dengan daun dengan warna hijau terang.

Umumnya semakin tinggi intensitas radiasi matahari akan semakin meningkat pula laju fotosintesis sampai pada batas tertentu dimana setelah itu intensitas cahaya tidak akan diikuti lagi oleh meningkatnya laju fotosintesis karena telah terjadi kejenuhan energi matahari. Titik kejenuhan ini disebut titik optimum bagi intensitas radiasi matahari dan laju fotosintesis berada pada titik tertinggi.

Proses fotosintesis ini juga dipengaruhi oleh faktor internal dari tanaman itu sendiri, yang antara lain adalah:

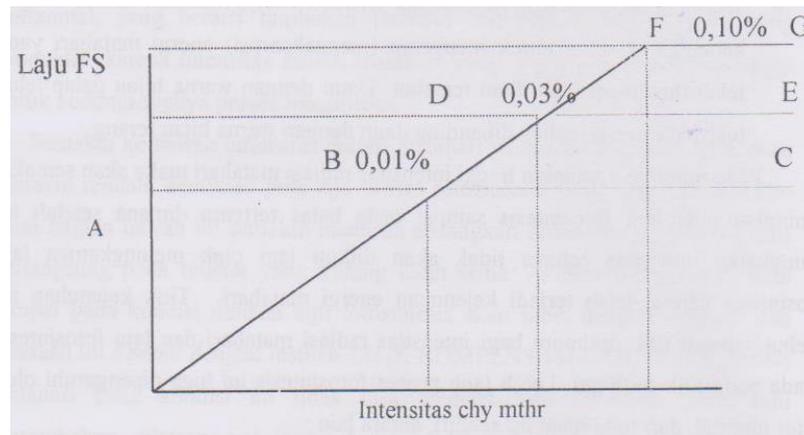
1. **Macam lintasan karbon**, yaitu tanaman yang tergolong C3, C4 dan CAM.

Perbandingan laju fotosintesa tanaman yang tergolong C3 dan C4 dapat dibedakan antara lain:

- a. Maksimum laju fotosintesa tanaman C4 adalah lebih tinggi dibanding dengan tanaman C3. Tanaman C4 disebut sebagai tanaman yang efisien karena tanaman tersebut tidak melakukan proses fotosintesa.
- b. Tanaman C4 mempunyai kapasitas fotosintesa lebih besar dibanding tanaman C3 pada suhu tinggi. Selain itu tanaman C3 melakukan fotorespirasi sehingga pembongkaran karbohidrat hasil fotosintesis akan lebih besar. Akan tetapi tanaman C3 lebih tahan terhadap suhu dingin.

Fotosintesis dapat dibatasi oleh faktor cahaya (intensitas, kualitas dan lama penyinaran), golongan tanaman (C3, C4 atau CAM), suhu dan air. Di daerah tropis dengan intensitas cahaya dan suhu yang relatif tinggi, maka tanaman dengan jalur fotosintesa C4 (contoh: jagung, tebu, sorghum, rumput-rumputan) akan lebih cocok dibandingkan tanaman dengan jalur C3 (contoh: tanaman legume, gandum, padi dll). Hal ini dikarenakan tanaman C4 fotosintesis optimum tercapai pada suhu yang relatif tinggi ($\pm 37^{\circ}\text{C}$) sedangkan tanaman C3, fotosintesa optimum justru tercapai pada suhu rendah ($\pm 30^{\circ}\text{C}$).

2. **Jumlah dan ukuran stomata**, akan mempengaruhi efisiensi fotosintesis terkait dengan penyerapan CO_2 yang digunakan untuk fotosintesis. Laju fotosintesis akan dapat meningkat apabila diikuti dengan peningkatan jumlah CO_2 yang masuk ke daun.

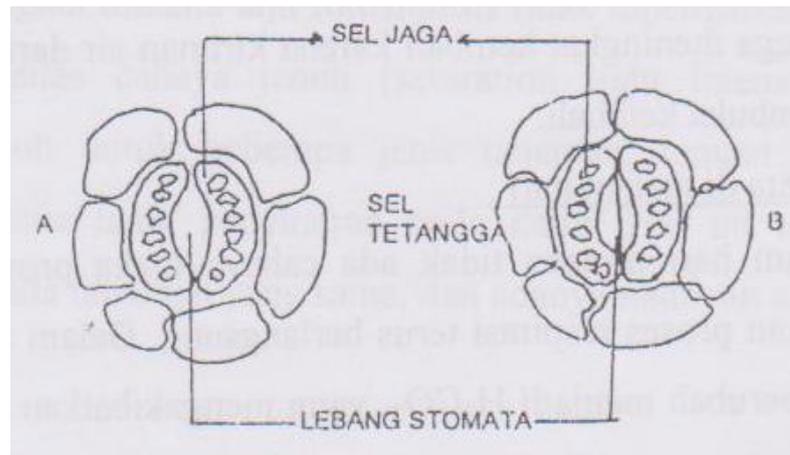


Gambar 4. Hubungan antara Intensitas Matahari dengan Laju Fotosintesis

Gambar 4 menjelaskan bahwa semakin banyak intensitas cahaya matahari yang diterima oleh tumbuhan, maka akan semakin meningkat pula laju fotosintesis dari tumbuhan tersebut. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa intensitas cahaya matahari memiliki peran utama dalam proses fotosintesis yang secara keseluruhan juga akan mempengaruhi proses pertumbuhan secara keseluruhan.

Kondisi intensitas cahaya matahari yang berpengaruh terhadap fotosintesis, erat kaitannya dengan keberadaan klorofil di daun dan mekanisme membuka serta menutupnya stomata. Adanya klorofil pada sel penjaga mengakibatkan sel penjaga dapat melangsungkan proses fotosintesis yang menghasilkan glukosa dan mengurangi konsentrasi CO₂. Glukosa larut dalam air sehingga air dari jaringan di sekitar sel penjaga akan masuk ke dalam sel penjaga yang mengakibatkan tekanan turgor sel penjaga naik sehingga stomata akan membuka.

Pengamatan mikroskopis terhadap permukaan daun menunjukkan bahwa cahaya mempengaruhi pembukaan stomata. Pada saat redup atau tidak ada cahaya umumnya stomata tumbuhan menutup. Ketika intensitas cahaya meningkat stomata membuka hingga mencapai nilai maksimum. Mekanisme membuka dan menutupnya stomata dikontrol oleh sel penjaga.



Gambar 5. Stomata saat Membuka dan Menutup.

Gambar 5 menjelaskan mekanisme membuka dan menutupnya stomata memegang peranan penting dalam proses masuknya CO_2 dalam daun termasuk juga untuk proses transpirasi. Membuka dan menutupnya stomata ini dipengaruhi oleh perubahan tekanan turgor yang diakibatkan oleh perubahan tekanan osmotis dari sel-sel jaga (*guard sel*). Perubahan tekanan osmotis ini berhubungan erat dengan proses perubahan timbal balik antara pati dan gula karena ada perubahan pH dalam larutan yang ada dalam sel.

Mekanisme stomata di Pagi hari

Pagi hari saat matahari terbit, klorofil memulai proses fotosintesis sehingga kadar CO_2 dalam sel jaga menurun, karena sebagian mengalami reduksi menjadi CH_2O . Akibatnya terjadi pengurangan ion-ion H^+ sehingga pH di lingkungan sel jaga meningkat dan terjadilah suasana basa dalam sel tersebut. Kenaikan pH akan mengaktifkan kegiatan enzim fosforilase untuk mengubah pati di dalam sel jaga menjadi glukosa (gula) fosfat. Dengan terbentuknya gula fosfat maka nilai tekanan osmotis dalam sel jaga meningkat sehingga terjadi aliran air dari sel-sel tetangga ke dalam sel jaga. Akibatnya tekanan turgor dalam sel tersebut meningkat sehingga cairan sel mengembang ke arah bagian dinding sel yang tipis dan hal inilah yang menyebabkan terbukanya stomata.

Mekanisme stomata di Siang hari:

Apabila cahaya matahari kuat maka laju transpirasi melalui stomata berlangsung sangat cepat sehingga sel-sel di sekitar stomata kekurangan air.

Akibatnya terjadilah aliran air keluar dari sel jaga sehingga tekanan turgor di dalam sel tersebut menurun dan menyebabkan stomata menutup untuk sementara, terlihat dari tanaman yang mengalami layu sementara. Setelah kandungan air dalam sel-sel jaga tetangga meningkat kembali karena kiriman air dari bagian bawah maka stomata akan membuka kembali.

Mekanisme stomata di Malam hari

Saat malam hari dimana tidak ada cahaya maka proses fotosintesis juga berhenti, sedangkan proses respirasi terus berlangsung. Dalam sel terjadi akumulasi CO_2 yang dapat berubah menjadi H_2CO_3 , yang mengakibatkan suasana asam dalam sel jaga, pH turun dan enzim fosforilase mengadakan aktivitas yang sebaliknya yaitu mengubah glukosa fosfat menjadi pati. Tekanan osmotis dalam sel jaga menurun sehingga tekanan turgornya juga mengecil dan akibatnya stomata menutup.

- 3. Unsur jaringan**, berpengaruh terhadap efisiensi fotosintesis berhubungan dengan kandungan khlorofil dan kadar air, dimana semakin banyak kandungan khlorofil dan ketersediaan air yang cukup maka akan bisa memacu terjadinya fotosintesis.
- 4. Efisiensi translokasi**, menggambarkan berapa bagian dari karbohidrat hasil fotosintesis itu ditranslokasikan dan disimpan dalam tempat-tempat penyimpanan cadangan makanan. Hal ini berpengaruh terhadap fotosintesis karena ada pendapat yang mengatakan bahwa jika karbohidrat tersebut tidak segera dapat ditranslokasikan ke bagian tanaman yang lain (efisiensi translokasi rendah) maka molekul-molekul dan butir-butir karbohidrat tersebut akan menumpuk di daun dan akibatnya akan mengganggu jalannya proses fotosintesis itu sendiri. Gangguan ini disebabkan karena dengan menumpuknya karbohidrat akan menghalangi jalannya sinar matahari menuju khlorofil dan juga akan mengganggu kerja dari khlorofil itu sendiri.

Bahan yang berfungsi untuk mentranslokasikan at-zat hasil fotosintesis maupun membawa unsur hara adalah air. Translokasi melalui xylem berupa unsur hara yang dimulai dari akar ke organ-organ, seperti daun untuk kemudian dilakukan

fotosintesa. Sedangkan fotosintat ditranslokasi melalui floem ke sink (buah, biji atau umbi) atau ke batang sementara bagi tanaman yang menumpukkan fotosintatnya di batang, seperti tebu.

Fotosintesis dimulai pada saat matahari, tetapi lajunya rendah dan berlangsung beberapa saat setelah matahari terbit. Daun-daun tanaman umumnya akan meningkatkan laju fotosintesis dengan meningkatnya intensitas cahaya matahari sampai pada titik kompensasi tercapai. Peningkatan ini biasanya linier pada kisaran yang cukup besar. Tingkat dimana laju fotosintesis tidak dipengaruhi oleh intensitas cahaya disebut intensitas cahaya jenuh (*saturation light intensity*). Umumnya intensitas cahaya jenuh untuk beberapa jenis tanaman, tempat dan komoditas tanaman yang menerima lama penyinaran pada daun. Hal ini tergantung pada komunitasnya, daun pada tanaman yang sama, dan adanya naungan atau tidak.

Perlakuan Naungan

Naungan merupakan salah satu bentuk modifikasi iklim mikro yang bertujuan untuk mengurangi jumlah radiasi langsung yang diterima tanaman. Penangungan tanaman dapat dilakukan baik dengan tanaman (misalnya tumpangsari antara tanaman yang berbeda) maupun dengan naungan fisik (misalnya jaring, jalinan bambo, plastik dll).

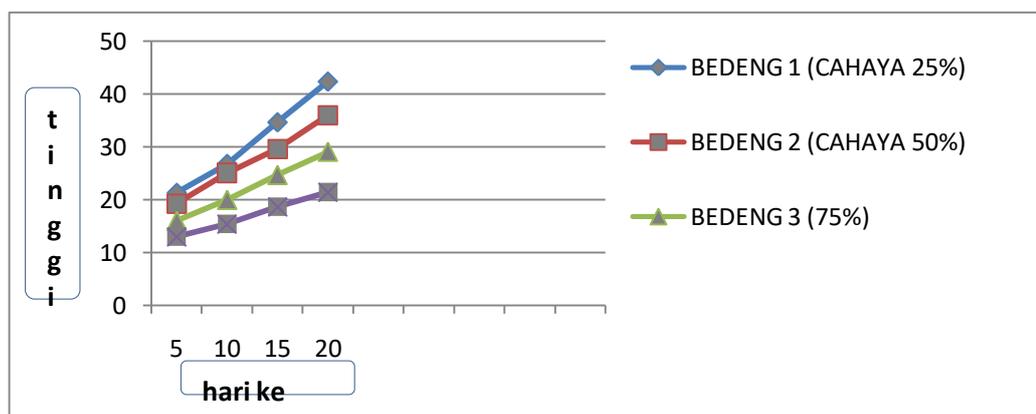
Cara memodifikasi lingkungan di sekitar tanaman tersebut merupakan usaha untuk mengurangi resiko kegagalan dalam budidaya suatu tanaman. Tindakan ini ditujukan untuk membentuk suasana atmosfer di sekitar tanaman mendekati kondisi optimum dari syarat lingkungan bagi persemaian, pertumbuhan, perkembangan dan produksi tanaman. Hampir semua persemaian membutuhkan penangung agar radiasi yang diterima tidak sampai menyebabkan evapotranspirasi yang berlebihan.

Pemberian naungan akan mengakibatkan perubahan lingkungan sekitar pertumbuhan. Radiasi matahari yang datang dan radiasi yang balik dari permukaan sebagian akan terhalangi. Akibatnya intensitas radiasi yang diterima lebih rendah daripada di luar naungan. Di samping itu naungan akan mengurangi sirkulasi udara dari dan keluar naungan, akibatnya kelembaban pagi hari dan siang hari akan lebih tinggi di dalam naungan daripada di luar.

Pengurangan radiasi akibat naungan pada tanaman kacang tanah diantaranya adalah dapat mengurangi jumlah bunga, memperlambat awal pembungaan,

mempercepat akhir pembungaan dan mengurangi hasil tanaman. Pengaruh naungan terhadap pertumbuhan vegetatif adalah mendorong pertumbuhan tinggi tanaman, menghambat pertumbuhan cabang dan merangsang pertumbuhan jumlah ruas batang utama. Jumlah radiasi yang besar pada awal masa pertumbuhan dapat menekan laju pertumbuhan tanaman dengan adanya naungan.

Berdasarkan hasil kegiatan yang sudah dilaksanakan melalui kegiatan penelitian mengenai pertumbuhan tanaman kedelai (Lukitasari, 2012) ternyata pertumbuhan kedelai memang sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari. Kondisi ini sesuai pendapat Williams, *et al* (1976) yang menyatakan bahwa berkurangnya cahaya yang diterima oleh tanaman akan dapat mempengaruhi pengurangan pertumbuhan akar, serta tanaman menunjukkan gejala *etiologi* yang ditunjukkan pertambahan panjang batang pada intensitas cahaya rendah. Kondisi tersebut juga ditunjukkan oleh kedelai yang berada pada perlakuan naungan 75%, pertumbuhan bantangnya lebih panjang dibandingkan pertumbuhan batang pada perlakuan naungan yang lainnya. Kondisi tersebut dapat diperjelas seperti nampak pada gambar 6 yang menghubungkan salah satu parameter pertumbuhan yaitu tinggi tanaman pada beberapa hari pengamatan dengan perlakuan naungan.



Gambar 6. Tinggi Tanaman Kedelai pada Perlakuan Naungan yang Berbeda

B. Pengaruh Radiasi Matahari terhadap Transpirasi

Transpirasi merupakan proses penguapan air yang berlangsung melalui permukaan tanaman. Transpirasi berlangsung melalui stomata pada saat terbuka dalam suatu proses difusi uap air. Penguapan air terjadi karena adanya perbedaan tekanan uap air di dalam daun dan di atmosfer sekitar permukaan daun. Dalam hal ini

radiasi matahari memegang peranan penting karena proses transpirasi membutuhkan energi untuk merubah air dari bentuk cair menjadi uap. Proses transpirasi memegang peranan penting bagi tanaman karena berfungsi untuk:

1. Mencegah kenaikan suhu permukaan daun sehingga terhindar dari terbakarnya daun pada keadaan intensitas radiasi matahari tinggi. Pada daun-daun bagian atas terutama siang hari banyak terjadi akumulasi energi matahari yang mengakibatkan suhu permukaan daun meningkat. Agar peningkatan suhu tidak terlalu tinggi, maka sebagian energi yang berada dalam sel-sel daun dalam proses transpirasi.
2. Memungkinkan akar tanaman menyerap air dan unsur hara dan membawanya ke daun untuk fotosintesis. Hal ini menjelaskan mengapa tanaman yang ditanam pada musim kemarau terlihat lebih respon terhadap pupuk daripada musim hujan, karena saat musim kemarau transpirasi lebih tinggi sebagai akibat tingginya intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin yang tinggi pula. Meskipun itu bukan merupakan hal yang utama, karena kecepatan pupuk juga dipengaruhi oleh sistem perakaran dan ketersediaan air dalam tanah.
3. Menghindari tingginya tekanan turgor sel. Tekanan turgor sel adalah tekanan zat cair dalam sel ke dinding sel. Pada kondisi tertentu, dimana air tersedia berlebihan dalam tanah ditambah kelembaban udara tinggi akan dapat menyebabkan turgor sel terlalu tinggi sehingga merusak fungsi sel.

Selain sebagai proses yang menguntungkan bagi tanaman, maka transpirasi terkadang juga bisa merugikan bagi tanaman karena:

1. Kehilangan air yang cepat tetapi tidak diimbangi oleh absorpsi air dari dalam tanah dapat mengakibatkan tanaman mengalami layu sementara yang berdampak menghambat pertumbuhan dan bahkan bila sampai terjadi layu permanent maka tanaman akan mati.
2. Kenaikan absorpsi air dalam tanah yang berlebih sebagai akibat kenaikan transpirasi bisa berakibat peningkatan absorpsi garam-garam dalam tanah sedemikian rupa sehingga tanaman bisa keracunan. Hal ini terjadi karena akar tanaman bersifat non-selektif, artinya akar tanaman tidak bisa menghentikan absorpsi suatu unsur meskipun unsur tersebut sudah berlebihan dalam tubuh tanaman tersebut.

Transpirasi siang hari

Sejak matahari terbit sampai terjadi tingkat kejenuhan cahaya pada daun, maka stomata terus terbuka. Suhu sel-sel daun sekitar sel jaga meningkat dan lebih tinggi daripada suhu atmosfer dan tekanan uap jenuhnya juga lebih tinggi. Terjadi difusi uap air keluar dari stomata. Saat hari semakin siang, peningkatan suhu daun lebih cepat sehingga deficit tekanan uap jenuhnya antara sel-sel daun dan atmosfer meningkat sehingga transpirasi juga meningkat. Pada saat kejenuhan penerimaan cahaya di daun tercapai maka sel-sel sekitar stomata mulai kekurangan air. Akibatnya air mengalir dari sel jaga ke sel-sel sekitarnya sehingga tekanan turgor menurun dan stomata menutup untuk sementara. Kemudian air kembali masuk sel jaga dan tekanan turgornya naik kembali dan stomata terbuka.

Struktur daun mempengaruhi laju transpirasi, dimana semakin luas permukaan daun maka stomata akan semakin banyak. Semakin tipis daun maka semakin cepat naik suhunya sehingga semakin luas daun dan semakin tipis helai daun tingkat transpirasi semakin besar. Pada siang hari saat keadaan intensitas tinggi banyak energi matahari terakumulasi di permukaan daun yang menyebabkan suhu daun meningkat. Dengan adanya transpirasi, sebagian energi matahari tersebut digunakan untuk menguapkan air dari jaringan daun sehingga suhu daun tetap terjaga.

Mekanisme tanaman mempertahankan diri dari radiasi tinggi ini mengakibatkan berkurangnya air sel dalam daun karena transpirasi berlangsung terus. Bila penguapan air tidak segera diganti oleh suplai air dari akar, lama kelamaan daun-daun tanaman menjadi layu dan akibatnya tanaman mati. Bila akar tanaman kekurangan air, cairan sel-sel akar lebih pekat dan tekanan osmosis sel-sel akar lebih tinggi daripada larutan dalam tanah yang lebih encer. Akibatnya air dari dalam tanah akan bergerak menuju sel-sel akar dan akar tanaman menyerap air secara pasif.

Transpirasi malam hari

Stomata tertutup, demikian juga suhu sel daun lebih rendah daripada atmosfer. Difusi uap air keluar dari daun tidak terjadi.

1.2. KUALITAS CAHAYA MATAHARI TERHADAP PERTUMBUHAN

Kualitas cahaya matahari adalah proporsi panjang gelombang yang diterima pada suatu tempat dan waktu tertentu. Jadi kualitas cahaya adalah mutu cahaya yang diterima yang dinyatakan dengan panjang gelombang. Cahaya yang tampak (*visible light*) dan bisa digunakan untuk fotosintesis mempunyai panjang gelombang 400 m μ sampai 760 m μ (1 m μ = 10 Angstrom). Klasifikasi radiasi matahari menurut panjang gelombang dapat dibagi dalam beberapa komponen sebagai berikut:

Tabel 2. Klasifikasi Radiasi Matahari berdasarkan Panjang Gelombang

Kurang dari 10A	Sinar x dan sinar gamma
10 – 2000 A	Ultra violet jauh
2000 – 3150 A	Ultra violet tengah
3150 – 3800 A	Ultra violet dekat
4000 – 7200 A	Cahaya tampak
7200 A – 1,5 mikron	Infra merah dekat
1,5 – 5,6 mikron	Infra merah tengah
5,6 – 1000 mikron	Infra merah jauh
Lebih dari 1000 mikron	Gelombang radio

Pengaruh kualitas radiasi matahari biasanya terkait dengan sifat morfogenik tanaman, namun juga tidak terlepas dari proses fotosintesis sebagai proses dasar dalam metabolisme tanaman. Proses fotosintesis hanya membutuhkan radiasi dengan panjang gelombang tertentu, yaitu antara 400 m μ - 700 m μ yang disebut dengan *visible light* atau PAR (*photosintetic active radiation*). Radiasi matahari yang mempunyai panjang gelombang rendah memiliki energi yang lebih tinggi. Secara global radiasi matahari terdiri dari dua kelompok besar meliputi radiasi gelombang panjang di atas 4.0 mikrometer dan radiasi gelombang pendek yaitu radiasi yang panjang gelombangnya kurang dari 4.0 mikrometer.

Lebih dari 99% radiasi yang diterima permukaan bumi berada pada panjang gelombang 0.3 – 4 mikron, yang disebut dengan radiasi gelombang pendek. Sinar ultra violet dengan panjang gelombang < 0.39 mikron kira-kira 9% dari radiasi yang dipancarkan, sedangkan cahaya tampak (*visible light*) dengan panjang gelombang 0.39 – 0.76 kira-kira 41% dan radiasi infra merah dengan panjang gelombang > 0.76 mikron sebesar 50%. Cahaya tampak yang mempunyai panjang gelombang 0.39 – 0.76 μ , spectrum tersebut berpengaruh terhadap fotosintesis, sehingga disebut dengan

PAR. Spectrum cahaya tampak ini terdiri atas beberapa warna spectrum, yang sebagian berfungsi dalam proses fotosintesis. Perhatikan gambar berikut:

Ungu	Nila	Biru	Hijau	Kuning	Jingga	Merah
0.39	0.43	0.47	0.50	0.56	0.60	0.65 0.76

Gambar 7. Spektrum Warna Cahaya Tampak pada Radiasi Matahari

Radiasi yang datang pada tanaman tidak semuanya dimanfaatkan tanaman untuk kebutuhan hidupnya, karena sebagian diubah menjadi panas kembali ke atmosfer atau masuk ke dalam tanah. Besarnya energi radiasi yang diterima tanaman tergantung dari radiasi netto. Spektrum radiasi yang dimanfaatkan tumbuhan masih terbagi-bagi lagi menurut kegunaannya dalam proses fisiologis. Untuk jelasnya dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Pengaruh Panjang Gelombang dan Aktivitas Tumbuhan

Panjang gelombang	Aktivitas Tumbuhan
> 1.0	Tidak berpengaruh khusus bagi tanaman, spektrum ini diserap tumbuhan dan ditransfer menjadi panas tanpa berpengaruh dalam proses biokimia.
0.76 – 1.0	Berpengaruh dalam proses pemanjangan tumbuhan, perkecambahan, mengontrol proses pembungaan dan pewarnaan buah.
0.61 – 0.76	Diserap kuat oleh klorofil, hal ini memperlihatkan bahwa proses fotosintesis lebih kuat.
0.51 – 0.61	Tidak hanya berperan dalam fotosintesis, karena pengaruhnya sangat rendah sekali.
0.40 – 0.51	Sangat esensial untuk proses fotosintesis, karena banyak diserap oleh klorofil dan pigmen kuning.
0.32 – 0.40	Tumbuhan menjadi kerdil dan daun-daun menjadi tebal dan mengecil.
0.28 – 0.32	Mengganggu tumbuhan karena menghambat proses pertumbuhan bahkan berhenti aktivitasnya.
< 0.28	Tumbuhan lebih cepat mengalami kematian.

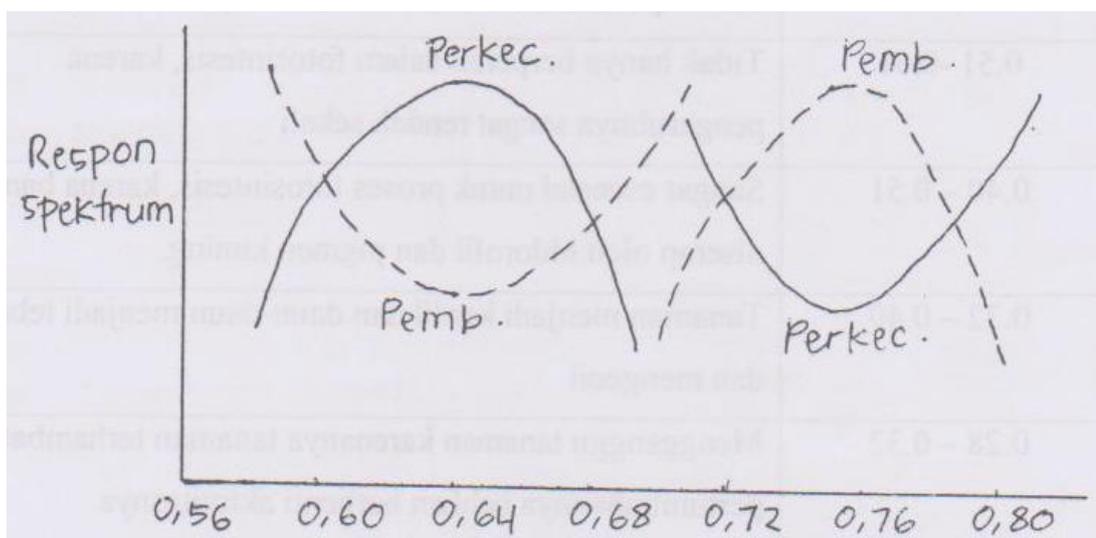
Tabel 3 tersebut dapat disimpulkan bahwa sebagian dari spektrum cahaya tampak tidak berpengaruh terhadap proses fotosintesis. Cahaya hijau dan kuning pada spektrum 0.50 – 0.60 μ ternyata tidak banyak berperan pada proses fotosintesis. Spektrum ini dapat menyebabkan efek panas pada permukaan daun sehingga akan meningkatkan laju respirasi dan menurunkan hasil fotosintesis netto.

Kualitas radiasi matahari berpengaruh terhadap sifat morfogenik tanaman, seperti: inisiasi bunga, perkecambahan benih, perpanjangan ruas (inter node) batang

dan pembentukan pigmen. Bila pada intensitas cahaya matahari yang berperan utama adalah khlorofil, maka untuk kualitas matahari yang berperan adalah fitokrom yang merupakan suatu senyawa (pigmen) yang menentukan respon sifat morfogenik tanaman tersebut. Fitokrom merupakan senyawa tetrapinol seperti halnya khlorofil, yang terdiri dari khromomere dan protein. Kromomere inilah yang sangat peka terhadap kualitas cahaya matahari dan bersifat “*reversible*” (dapat berubah-ubah) tergantung kepada panjang gelombang yang mengenai fitokrom tersebut.

Respon Fitokrom Terhadap Panjang Gelombang

Respon fitokrom terhadap panjang gelombang dapat berubah-ubah (*reversible*) dalam arti bisa berpengaruh positif (merangsang perkecambahan atau pembungaan) dan sebaliknya berpengaruh negatif yang menghambat perkecambahan atau pembungaan tergantung kepada panjang gelombang yang mengenai fitokrom tersebut.



Gambar 8. Respon Tanaman terhadap Panjang Gelombang, pada Perkecambahan Benih dan Pembungaan

Gambar 8 menunjukkan respon tanaman *Lettuce* dan bunga *Xanthium* terhadap panjang gelombang yang diberikan. Terlihat pada panjang gelombang 0,64 μ (cahaya merah) merangsang perkecambahan benih dan menghambat pembungaan. Sedangkan pada panjang gelombang 0,72 μ (infra merah) menghambat perkecambahan dan merangsang pembungaan. Respon demikian disebut respon *photo reversibility*. Percobaan lain menunjukkan bahwa respon tanaman terhadap

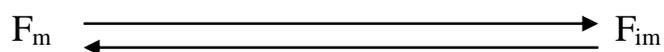
kualitas radiasi matahari (*photo reversible*) ini ternyata tergantung kepada panjang gelombang mana yang terakhir diberikan.

Tabel 4. Persentase Perkecambahan Benih Lettuce sebagai Akibat dari Pemberian Radiasi dengan Panjang Gelombang Silih Berganti.

No	Pemberian radiasi	Daya kecambah
1.	Merah (M)	70
2.	M – Infra merah (IM)	6
3.	M – IM – M	74
4.	M – IM – M – IM	6
5.	M – IM – M – IM - M	76

Tabel 4 menjelaskan bahwa apabila paanjang gelombang yang mengenai tanaman berubah-ubah, maka respon tanaman tersebut terhadap panjang gelombang terletak pada panjang gelombang yang terakhir mengenainya. Nampak bahwa perlakuan 1, 3 dan 5 menghasilkan daya kecambah jauh lebih tinggi daripada perlakuan di nomor genap, karena radiasi merah diberikan perlakuan terakhir. Dari percobaan tersebut dapat disimpulkan bahwa:

1. Ada dua bentuk fitokrom, yaitu fitokrom merah (F_m) dengan puncak absorpsi pada cahaya merah ($0,66 \mu$) dan fitokrom infra merah (F_{im}) dengan puncak absorpsi pada cahaya infra merah ($0,72 \mu$).
2. Pemberian cahaya dengan panjang gelombang $0,66 \mu$ akan merubah fitokrom merah menjadi fitokrom infra merah dan demikian sebaliknya (*photo reversibility*)

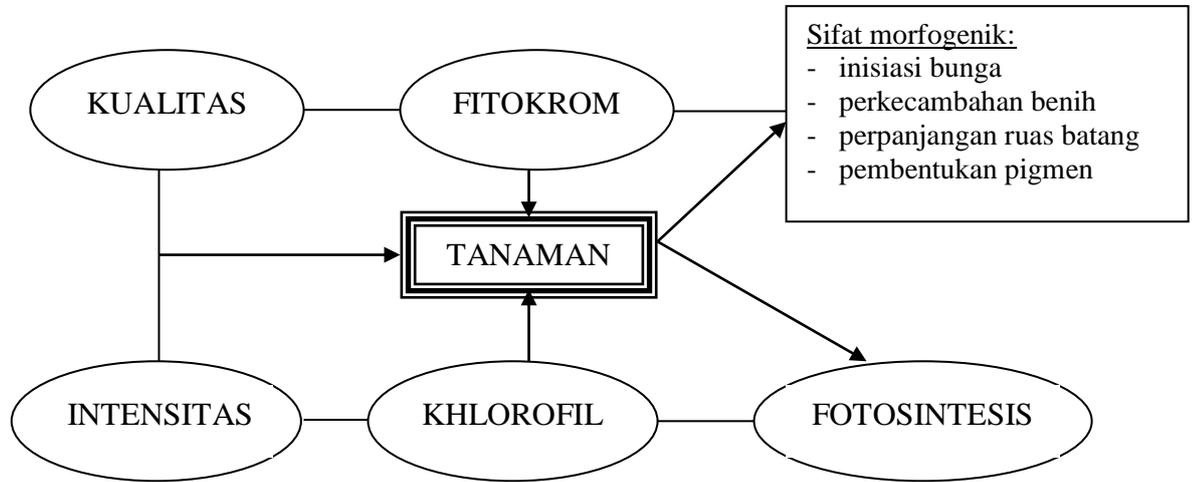


Gambar 9. Bentuk *Photo Reversibility* Fitokrom

3. Bentuk F_{im} dari fitokrom merupakan bentuk yang aktif dan menghasilkan respon terhadap tanaman yaitu merangsang perkecambahan dan sebaliknya F_m tidak aktif dan tidak berkecambah pada sinar infra merah karena mengandung F_m .

Pada dasarnya intensitas dan kualitas cahaya matahari yang mempengaruhi proses pertumbuhan tidak dapat dipisahkan karena merupakan efek langsung cahaya

itu sendiri. Secara umum penggambaran secara skematik kedua faktor penting dalam pertumbuhan tersebut nampak pada gambar 10.



Gambar 10. Hubungan Intensitas dan Kualitas Cahaya Matahari terhadap Tanaman

Secara garis besar mekanisme kerja fitokrom yang banyak dipengaruhi oleh kualitas cahaya matahari dapat dijelaskan sebagai berikut:

Pemberian cahaya pada benih dengan pemberian cahaya merah segera akan merubah F_m dalam biji menjadi F_{im} dan 24 jam kemudian benih berkecambah. Selanjutnya pemberian cahaya infra merah pada kecambah benih tersebut menyebabkan F_{im} berubah menjadi F_m dan sebagai hasilnya beberapa jam kemudian kecambah akan tumbuh memanjang dengan cepat.

Proses yang terjadi di dalam tanaman adalah saat pertama pemberian cahaya akan terjadi perubahan membran sel dimana fitokrom berada. Perubahan sifat membran ini mengakibatkan perubahan permeabilitas membran terhadap ion-ion sehingga akan berpengaruh terhadap konsentrasi ion dalam sel. Perubahan konsentrasi ion mempengaruhi aktivitas enzim dan metabolisme dalam sel yang akhirnya menyebabkan benih berkecambah.

Panjang hari (FOTOPERIODE)

Panjang hari adalah panjang atau lamanya siang hari dihitung mulai dari matahari terbit sampai terbenam ditambah lamanya keadaan remang-remang (selang waktu sebelum matahari terbit atau setelah matahari terbenam pada saat matahari berada pada posisi 6^0 di bawah cakrawala).

Panjang hari berubah beraturan sepanjang tahun sesuai dengan deklinasi matahari dan berbeda pada setiap tempat menurut garis bintang. Data panjang hari dapat dilihat pada tabel standart meteorologi.

Dipengaruhi oleh :

Rotasi bumi yaitu lama periode siang dan malam di berbagai belahan bumi ditentukan oleh posisi bumi terhadap matahari.

Tabel 5. Pengaruh Rotasi Bumi terhadap Perubahan Musim di Permukaan Bumi

Tanggal	Musim	Tempat
21 Maret – 21 Juni	Musim semi Musim gugur	Belahan bumi utara Belahan bumi selatan
21 Juni – 23 Sept	Musim panas Musim dingin	Belahan bumi utara Belahan bumi selatan 23 Sept matahari tepat berada di katulistiwa
21 Maret – 23 Sept	Siang lebih panjang daripada malam di belahan bumi utara dan siang lebih pendek di belahan bumi selatan.	
23 Sept – 23 Des	Musim semi Musim gugur	Belahan bumi selatan Belahan bumi utara
22 Des – 21 Maret	Musim panas Musim dingin	Belahan bumi selatan Belahan bumi utara
23 Sept – 21 Maret	Siang lebih panjang daripada malam di belahan bumi selatan dan siang lebih pendek di belahan bumi utara.	

Di daerah tropik kondisi seperti nampak pada tabel 5 tidak terjadi, karena panjang hari hanya berkisar antara 11 jam 53 menit dan 12 jam 7 menit.

Panjang hari banyak berpengaruh terutama di daerah yang beriklim sedang, misalnya di negara Kanada dimana biasanya fotoperiode maksimum adalah 16,5 jam (bulan Juni) dan minimum 8 jam (bulan Desember). Sedangkan di Amerika berkisar antara 13,5 hingga 10,5 jam. Telah terbukti bahwa fotoperiode merupakan pengatur waktu atau pemicu yang memulai rangsangan fisiologis sehingga menghasilkan pertumbuhan dan pembungaan pada banyak tanaman, penimbunan lemak, pergantian bulu, migrasi dan pembiakan pada burung dan mamalia.

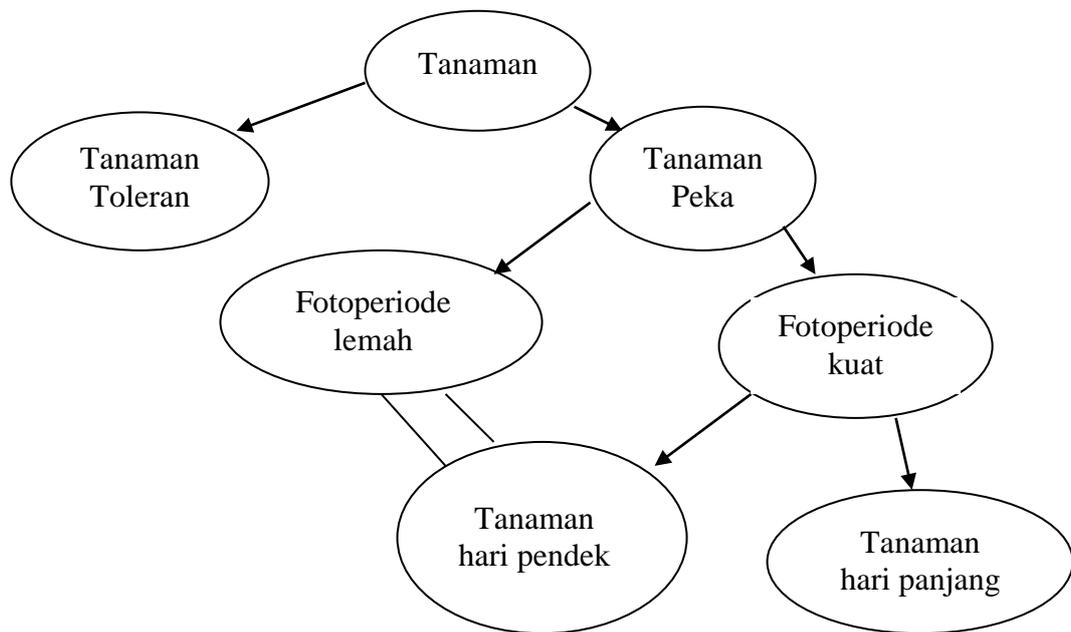
Fotoperiodisitas biasanya dibarengi dengan “*biological clock*”, yaitu dimana organisme menciptakan alat pengatur waktu yang sangat penting. Panjang hari berperan melalui indera penerima, seperti misalnya mata pada binatang atau pigmen khusus pada daun-daun tanaman yang pada gilirannya akan menggiatkan satu atau lebih hormone dan sistem enzim yang menghasilkan tanggap fisiologis atau

perilaku. Diantara beberapa tanaman tinggi bisa berbunga dengan bertambah panjangnya hari dan disebut tanaman “*long-day*”, sedangkan yang lain berbunga di hari pendek (kurang dari 12 jam) dan dikenal sebagai tanaman “*short-day*”.

Aspek pertumbuhan tanaman yang dipengaruhi oleh panjang hari, yaitu: 1) Inisiasi bunga, 2) produksi dan kesuburan putik serta tepungsari, 3) pembentukan umbi pada tanaman umbi-umbian, 4) dormasi benih, 5) pembentukan anakan, percabangan dan pertumbuhan memanjang.

Tanaman yang termasuk dalam fotoperiode lemah berarti sedikit pengaruhnya terhadap panjang hari. Sebaliknya untuk tanaman dengan fotoperiode kuat mempunyai respon yang tinggi terhadap panjang hari. Dibedakan:

1. Tanaman hari pendek adalah tanaman yang akan berbunga jika fotoperiodenya lebih pendek dari periode kritis tertentu. Contoh: kedelai, padi, jagung, tembakau, kentang. Panjang hari maksimum berkisar antara 12 jam sampai 14 jam (Deubenmire, 1959)



Gambar 11. Skema penggolongan tanaman berdasarkan fotoperiditasnya.

Tanaman hari pendek akan mengalami pertumbuhan vegetatif terus menerus apabila panjang hari melewati nilai kritis dan akan berbunga di hari pendek di akhir musim panas dan musim gugur. Tetapi tanaman berhari pendek tidak berbunga di hari pendek pada akhir musim panas. Ini disebabkan karena suhu tidak cukup hangat

untuk melanjutkan pertumbuhan ke fase reproduktif. Di samping itu pertumbuhan vegetatif yang ada pada saat itu belum mencukupi untuk membawa tanaman ke pembungaan di samping faktor lain juga belum siap (hormon, enzim, dll).

Tanaman hari pendek biasanya mempunyai sifat fisiologis yang menonjol daripada sifat yang ditimbulkan oleh pengaruh lingkungan. Misal pembungaan dan pembuahan akan lebih dipengaruhi oleh ketersediaan asimilat dan sistem hormon dalam tubuhnya.

2. Tanaman hari panjang adalah tanaman yang akan berbunga jika fotoperiodenya lebih panjang dari periode kritis tertentu. Contoh: tanaman di daerah sub tropis (gandum, barley, bit gula, spinasi, alfalfa). Tanaman berhari panjang yang berasal dari zone sedang akan berbunga pada bulan Mei, Juni dan Juli apabila panjang siang adalah 15 jam.

Kombinasi suhu dan panjang hari yang mengontrol pertumbuhan vegetatif dan generatif pada beberapa jenis tanaman hari panjang sebenarnya dapat diciptakan dengan perlakuan-perlakuan terhadap tanaman tersebut. Misalnya penyinaran singkat di malam hari untuk memperpendek periode gelap. Percobaan-percobaan tersebut dapat mempengaruhi pembungaan khususnya pada tanaman yang menghendaki panjang siang lebih dari 15 jam. Misal pada tanaman *tarwe winter* (*Triticum aestivum*) diberi perlakuan versinalisasi untuk mengecambahkan biji sehingga akan menyebabkan proses menginduksi kecambah ke arah pertumbuhan menuju pembentukan primordia bunga.

Biji *tarwe winter* menghendaki fase gelap yang lebih panjang (hari pendek), maka selain vernalisasi, untuk mengantarkan tanaman ini ke tahap pembungaan juga diperlukan perlakuan gelap buatan. Sedangkan hari panjang dan suhu tinggi yang diharapkan untuk pertumbuhan vegetatif dapat dibuat dengan penyinaran singkat pada malam hari dengan lampu listrik yang berkapasitas 50 watt setiap meter bujur sangkar selama ± 5 jam.

3. Tanaman berhari netral (*intermediate*) adalah tanaman yang berbunga tidak dipengaruhi oleh panjang hari. Tanaman intermediate dalam daerah sedang bisa berbunga dalam beberapa bulan. Tetapi tanaman yang tumbuh di daerah tropic yang mengalami 12 jam siang dan 12 jam malam dapat berbunga terus menerus

sepanjang tahun. Oleh karena itu tanaman yang tumbuh di daerah tropic pada umumnya adalah tanaman *intermediate*.

Yang tergolong tanaman *intermediate* adalah kapas, tembakau, bunga matahari dll. Tanaman *intermediate* ini memerlukan pertumbuhan vegetatif tertentu sebagai tahap untuk menuju tahap pembungaan tanpa dipengaruhi oleh fotoperiode.

Panjang hari kritis adalah panjang hari maksimum untuk tanaman hari pendek dan minimum untuk tanaman hari panjang dimana inisiasi pembungaan masih terjadi.

KESIMPULAN

1. Intensitas radiasi matahari adalah banyaknya energi yang diterima oleh suatu tanaman per satuan luas dan per satuan waktu, dengan satuan $\text{kal}/\text{cm}^2/\text{hari}$.
2. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari akan semakin meningkat pula laju fotosintesis sampai batas tertentu dimana setelah itu intensitas cahaya tidak akan diikuti lagi oleh meningkatnya laju fotosintesis karena telah terjadi kejenuhan energi matahari.
3. Kualitas cahaya matahari adalah proporsi panjang gelombang yang diterima pada suatu tempat dan waktu tertentu.
4. Kualitas radiasi matahari berpengaruh terhadap sifat morfogenik tanaman, seperti: inisiasi bunga, perkecambahan benih, perpanjangan ruas (inter node) batang dan pembentukan pigmen. Pada kualitas matahari yang berperan adalah fitokrom yang merupakan suatu senyawa (pigmen) yang menentukan respon sifat morfogenik tanaman.

TUGAS MANDIRI

I. Intensitas Radiasi Matahari

1. Definisi apa yang dimaksud dengan intensitas cahaya matahari?
2. Bagaimanakah efek sinar matahari terhadap tanaman? Berikan contohnya.
3. Tergantung pada apa sajakah besarnya intensitas radiasi matahari yang diertima oleh tanaman?
4. Bagaimanakah ciri tanaman yang tumbuh pada intensitas cahaya matahari tinggi dan intensitas cahaya matahari rendah?
5. Hilangnya energi matahari saat tanaman masih muda dikarenakan daun-daunnya belum dapat menutup permukaan tanah secara sempurna. Jelaskan, dan faktor apa yang terkait dengan pertumbuhan awal tanaman tersebut.
6. Jelaskan pengaruh kekasaran tajuk tanaman terhadap besarnya intensitas yang diterima tanaman.
7. Apakah yang dimaksud dengan titik kompensasi cahaya?
8. Apakah yang dimaksud dengan ILD dan SLA terhadap penerimaan radiasi matahari?
9. Jelaskan pengaruh stomata terhadap proses fotosintesis.
10. Jelaskan mekanisme kerja stomata di siang dan malam hari.

II. Kualitas Cahaya Matahari

1. Jelaskan faktor penting apasajakah yang mempengaruhi kualitas cahaya matahari.
2. Bagaimanakah kualitas cahaya matahari mempengaruhi pertumbuhan tanaman.
3. Jelaskan mekanisme kerja fitokrom sebagai senyawa yang banyak dipengaruhi oleh kualitas cahaya matahari.

III. Pengaruh Radiasi Matahari Terhadap Transpirasi

1. Jelaskan fungsi transpirasi bagi pertumbuhan tanaman.
2. Transpirasi juga merugikan tanaman pada kondisi tertentu. Jelaskan
3. Bagaimanakah cara tanaman beradaptasi terhadap kondisi sinar matahari tinggi.

TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah mempelajari Bab 2 mengenai suhu dan pertumbuhan tanaman, diharapkan mahasiswa akan mampu

1. Menjelaskan bagaimana suhu dapat mempengaruhi proses pertumbuhan tanaman secara keseluruhan.
2. Membedakan pengaruh suhu rendah dan tinggi terhadap proses pertumbuhan tanaman beserta ciri-ciri yang mengikuti akibat perbedaan suhu tersebut.
3. Menjelaskan kerusakan pada tingkatan seluler apabila tanaman tidak berada pada kondisi suhu yang optimal.
4. Menjelaskan proses adaptasi yang dilakukan oleh tanaman pada kondisi ekstrem dari suhu optimum pertumbuhannya.

BAB II

SUHU DAN PERTUMBUHAN TANAMAN

Insolasi menunjukkan energi panas dari matahari dengan satuan gram kalori/cm²/jam. Satu gram kalori adalah sejumlah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 gram air sebesar 1⁰C.

Suhu merupakan indikasi jumlah energi yang terdapat dalam suatu sistem atau massa suatu benda. Oleh karena itu erat kaitannya dengan kesetimbangan radiasi matahari pada sistem atau massa tersebut. Semakin banyak energi yang tersimpan dalam sistem tersebut maka makin tinggi suhunya.

Jumlah insolasi tergantung:

1. *Latitude* (letak lintang) suatu daerah

Insolasi makin kecil dengan bertambahnya latitude, karena sudut jatuh matahari makin besar atau jarak antara matahari dan bumi makin jauh.

2. *Altitude* (tinggi tempat dari permukaan laut)

Makin tinggi altitude makin rendah insolasinya. Setiap naik 1000 kaki maka suhu akan turun 3⁰F.

3. Musim berpengaruh terhadap insolasi terkait dengan kelembaban udara dan keadaan awan.
4. Angin berpengaruh terhadap insolasi apabila angin tersebut membawa uap panas.

Selain keragaman antar daerah suhu juga bervariasi berdasarkan waktu, suhu udara maupun suhu tanah. Tanah akan lebih cepat menerima panas daripada udara, akan tetapi semakin siang maka panas yang diterima akan sama karena udara selain menerima radiasi dari matahari juga konduksi dari tanah. Insolasi akan melemah (suhu turun) setelah setengah hari, untuk kemudian suhu tanah lebih rendah daripada suhu udara. Jadi fluktuasi suhu tanah harian lebih besar daripada suhu udara dan oleh karena itu pula suhu maksimum/minimum dan udara tidak selalu bersamaan.

Suhu mempengaruhi tanaman pada laju proses-proses metabolisme. Pengaruh suhu terutama terlihat pada laju perkembangan tanaman seperti pada perkecambahan, pembentukan daun dan inisiasi organ reproduktif. Tanaman kelas tinggi pada umumnya tidak dapat menjaga suhunya dengan tetap sehingga selalu berada pada

suatu kisaran sekitar suhu tanah dan atmosfer. Suhu lingkungan ini dipengaruhi oleh variasi diurnal, musiman, keawanan dan angin, kedudukan tajuk serta ketinggian tajuk di atas tanah dan ukuran suhu. Suhu akar dipengaruhi oleh variasi diurnal, musiman serta kedalaman dan sifat fisik tanah.

Pengaruh suhu akan lebih mudah melihatnya dalam jangka waktu yang panjang terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara keseluruhan. Pengaruh tersebut merupakan pengaruh gabungan dari suhu minimum, maksimum, rata-rata dan fluktuasinya. Apabila diperlukan untuk melihat pengaruh suhu secara parsial sebenarnya dapat dilakukan dengan suatu perlakuan suhu dalam ruangan tertutup. Suhu mempengaruhi proses biokimia pada fotosintesa, respirasi dalam jaringan atau yang dilepaskan ke lingkungan. Pengaruh suhu juga terlihat pada perkembangan, pembentukan daun, inisiasi organ reproduktif, pematangan buah dan umur tanaman.

Setiap jenis tanaman membutuhkan suhu aktif dan optimum dengan kisaran tertentu. Sesuai dengan prinsip reaksi kimia semakin tinggi suhu dalam kisaran aktifnya semakin cepat laju reaksinya, demikian juga dalam proses metabolisme. Di satu sisi peningkatan suhu akan mempercepat proses biokimia fotosintesis dan perkembangan tanaman, tetapi di sisi lain proses respirasi pun akan menjadi cepat. Oleh karena itu makin banyak asimilat (hasil asimilasi dalam proses fotosintesis) yang dirombak kembali untuk menghasilkan energi untuk kebutuhan proses fisiologisnya.

Tanaman yang berada di daerah dingin mempunyai kisaran suhu minimum 0 – 5⁰C, suhu optimum 25 – 30⁰C dan suhu maksimum 31 – 37⁰C. Sedangkan tanaman yang biasa di tanam di daerah panas kisaran suhu minimum adalah 15 – 18⁰C, suhu optimum 31 – 37⁰C dan suhu maksimum 44 – 50⁰C.

Suhu optimal juga bervariasi pada setiap tahap perkembangan tanaman. Beberapa tanaman memerlukan suatu periode suhu rendah selama perkecambahan dan awal pertumbuhannya. Suhu optimal untuk aktivitas metabolisme maksimum berbeda untuk setiap jenis tanaman, populasi dan individu sari setiap jenis. Bagian tanaman dan setiap fase pertumbuhan dan perkembangan membutuhkan suhu optimum yang berbeda. Kecepatan perkembangan daun dan bentuk akhirnya juga tergantung dari suhu. Pada kisaran suhu antara 10 – 20⁰C, biasanya pertumbuhan

daun berbanding lurus dengan naiknya suhu, tetapi jika suhu melewati batas 30°C, maka luas daun akan berkurang. Suhu tinggi menguntungkan pertumbuhan batang tetapi menyebabkan daun menebal dan mengecil.

Adaptasi Tanaman Terhadap Suhu Rendah.

Efek pendinginan tanaman pada suhu rendah (dibawah optimum) menyebabkan penurunan laju pertumbuhan dan laju metabolisme. Akibatnya jangka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus pertumbuhan (satu musim tanam) akan bertambah, apabila suhu udara semakin dingin. Selanjutnya apabila suhu udara turun di bawah suhu kritis maka tanaman yang bersangkutan tidak dapat menghasilkan organ reproduksi (biji) secara baik.

Dalam beberapa kasus ditemukan perubahan morfologi akibat rendahnya suhu walaupun berada di atas titik beku, antara lain:

1. Menurunkan laju pertumbuhan

Suhu udara yang rendah akan menyebabkan laju perkembangan dan pertumbuhan tanaman menurun sehingga menghasilkan morfologis yang tidak normal. Berkurangnya luas daun merupakan contoh yang jelas dari pengaruh penurunan suhu, dimana hal ini berhubungan dengan aktivitas zat pengatur tumbuh. Penelitian Arnold (1967) berhasil mengatasi hambatan laju pertumbuhan tersebut dengan memberikan asam *acetic naphthalene* dan asam *giberelic* bersama-sama ternyata meningkatkan pertumbuhan pucuk, meningkatkan luas daun dan cabang utama.

2. Berkurangnya pertumbuhan pucuk/cabang utama dan meningkatkan pertumbuhan cabang sekunder.

Peristiwa ini sering terjadi pada tanaman di daerah temperate dan tropis, sebagai contoh akibat suhu rendah pada tanaman kopi, cabang sekunder dan tersier meningkat sedangkan cabang utamanya menurun.

3. Translokasi bahan yang dihasilkan berkurang

Berkurangnya translokasi hasil fotosintesa disebabkan karena terjadinya akumulasi yang tidak merata dari hasil fotosintesis dipusat-pusat reaksi utamanya. Disamping itu juga suhu yang dingin akan menyebabkan viskositas air akan menurun sehingga translokasi hasil tidak berjalan dengan baik.

4. Respirasi menurun
5. Memacu pembungaan dan pembuahan khususnya pada suhu malam yang rendah.

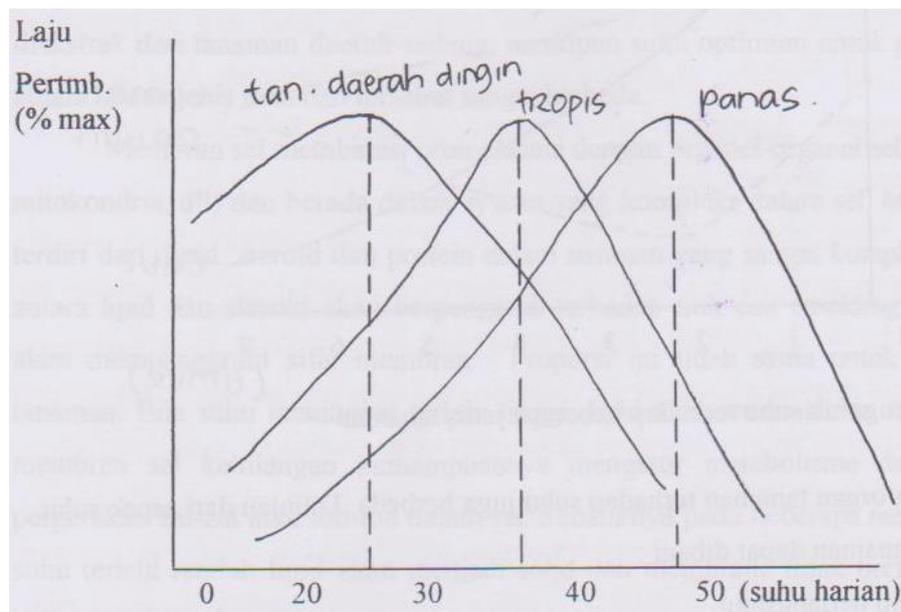
Pendinginan suhu udara pada daerah sub tropis dan tropis pada suhu antara $0 - 10^{\circ}\text{C}$ selama beberapa jam/hari cenderung menyebabkan penurunan yang drastis dari aktivitas metabolisme (khususnya respirasi) yang memungkinkan kerusakan berat hingga kematian. Keadaan ini dapat terjadi jika pendinginan sampai menyebabkan fase dari cairan menjadi padat di dalam sel tanaman. Kerusakan seperti ini jarang terjadi di daerah temperate karena tanaman yang beradaptasi di daerah ini biasanya banyak mengandung asam lemak jenuh sampai stabil (dalam bentuk cairan) sehingga resiko kerusakan oleh suhu tidak begitu besar.

Secara umum tanaman-tanaman temperate lebih tahan terhadap suhu rendah ($> 0^{\circ}\text{C}$) dan kerusakan baru bisa terlihat jika kristal es telah terbentuk dalam jaringan, yakni di saat suhu telah turun di bawah 0°C . Jika pendinginan pada suhu tersebut berlangsung cukup lama maka terjadi pembentukan kristal es di luar sel di dalam tanaman (*apoplast*). Akibatnya tekanan uap jenuh di dalam sel melebihi tekanan uap jenuh pada apoplast, menyebabkan berlangsungnya difusi uap air ke luar dari sel menuju apoplast sehingga menambah kristal es di dalam jaringan tanaman. Hal ini dapat menyebabkan proses biokimia pada sitoplasma terganggu secara serius, protein dan enzim mengalami denaturasi, berbagai macam unsur pengendapan dalam sel (misalnya enzim hidrolisa akan mengalir dalam sitoplasma, sehingga sistem buffer tidak dapat mengatur pH sel). Rangkaian proses ini cenderung menyebabkan molekul-molekul makro di dalam tubuh tanaman menjadi pekat jika proses ini diperkuat oleh dehidrasi (penyusutan air) sitoplasma, kondisi ini akan berakhir dengan pecahnya sel-sel daun.

Sampai saat ini masih sulit membedakan kerusakan tanaman oleh karena pembekuan yang terjadi dalam cairan ataukah pada protoplasma (*ekstraseluler*). Secara umum proses terbentuknya kristal es di sekitar daun. Jaringan tanaman dan di dalam sel ini disebut *frost (embun upas)*.

Kebanyakan tanaman tropis dapat menyesuaikan dengan suhu tinggi di suatu daerah, akan tetapi apabila pada suatu periode terjadi suhu yang rendah maka akan menimbulkan pengaruh yang buruk pada tanaman tersebut, karena akan menghambat pertumbuhannya. Salah satu kerusakan tanaman akibat frost karena terjadinya

penyebaran dan perluasan tanaman tropis ke daerah lintang dan dataran yang lebih tinggi. Sebenarnya daerah sub tropis bisa sesuai dengan pertumbuhan tanaman tropis, tetapi karena sering terjadi *frost* maka akan dapat membatasi produksi dari tanaman tersebut.



Gambar 12. Respon Kelompok Tanaman terhadap Suhu

Gambar 12 menjelaskan bahwa masing-masing kelompok tumbuhan berdasarkan faktor internal atau genetiknya yang juga dipengaruhi habitan atau lingkungannya akan memiliki respon pertumbuhan yang berbeda. Untuk tumbuhan yang berada di daerah dingin cenderung memiliki titik kritis suhu maksimal yang akan mempengaruhi proses pertumbuhannya, yaitu pada kisaran 25°C pada suhu hariannya. Kondisi tersebut berbeda dengan tumbuhan yang berada di kawasan tropis dengan titik ekstrim suhu penghambat pertumbuhan berada pada kisaran 35°C, dan lebih tinggi lagi yaitu kisaran 47°C untuk tumbuhan yang memiliki habitat di daerah panas.

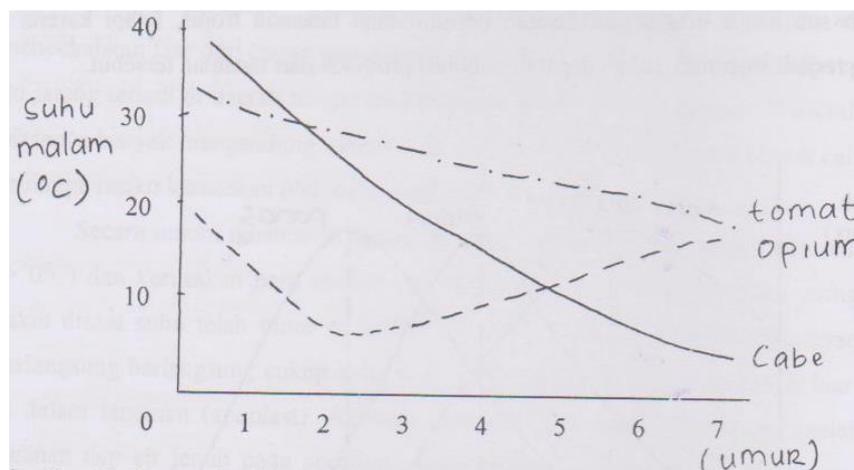
Respon organ tanaman terhadap suhu juga berbeda. Ditinjau dari aspek suhu, maka respon tanaman dapat dibagi:

1. Saat suhu berlangsung
2. Perbedaan suhu siang & malam
3. Lama suhu mengenai daun

Tabel 6. Respon Tanaman terhadap Perbedaan Suhu Siang dan Malam

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)		Respon
Siang	Malam	
20	20	++
25	25	+
30	30	0
25	20	+++
30	20	++++
30	25	+++

Tabel 6 menunjukkan bahwa tanaman yang tumbuh pada suhu konstan (suhu siang dan malam yang relatif sama) tidak menghasilkan buah secepat tanaman yang tumbuh pada suhu siang dan malam yang berbeda-beda silih berganti. Pada konstan respon tanaman lebih rendah daripada respon tanaman yang tumbuh pada suhu yang siang dan malamnya menunjukkan perbedaan yang relatif tinggi.



Gambar 13. Contoh Pengaruh Suhu terhadap Beberapa Jenis Tanaman

Gambar 13 menjelaskan bahwa secara umum resepon jenis tumbuhan akan berbeda-beda terhadap suhu. Contoh yang ditunjukkan adalah tanaman tomat, cabe, dan opium, dimana masing-masing tahapan atau fase pertumbuhannya akan berbeda. Opium di fase awal pertumbuhannya menghendaki suhu yang relatif lebih rendah, dan semakin menurun di pertengahan pertumbuhannya, kemudian kembali meningkat pada minggu ke 5-7. Kondisi tersebut berbeda dengan tomat dan cabe yang cenderung membutuhkan suhu yang tinggi di awal pertumbuhannya dan menghendaki suhu yang rendah pada umur pertumbuhan selanjutnya.

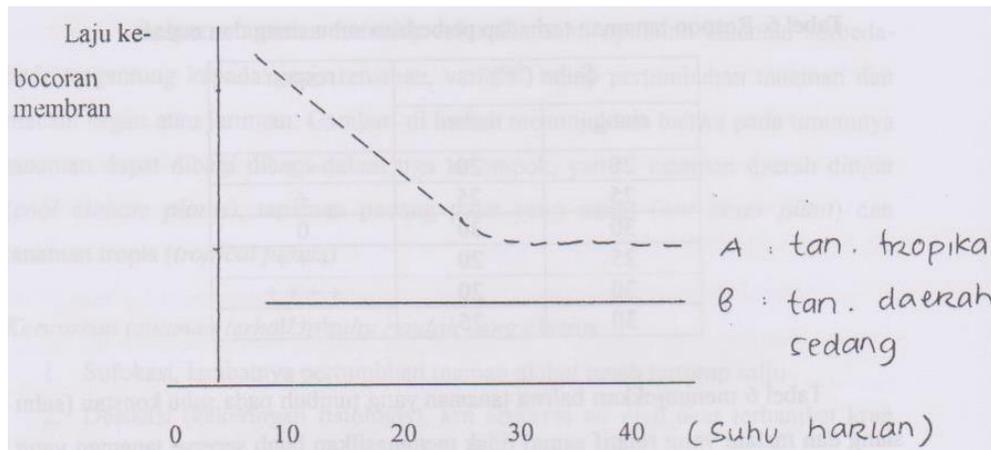
Tiap jenis tumbuhan mempunyai kisaran persyaratan suhu yang dapat ditoleransi dalam pertumbuhannya. Perubahan suhu yang melampaui batas toleransi akan menyebabkan tumbuhan mengalami penyimpangan fisiologis dan dapat menyebabkan kematian. Pertumbuhan pohon sangat peka terhadap suhu. Beberapa jenis pohon tumbuh dengan baik pada kisaran yang lebar, jenis yang lain hanya mentolerir kisaran yang lebih sempit. Kerusakan akan terjadi pada saat suhu telah melewati batas maksimum atau minimum.

Respon secara seluler terutama pengaruh terhadap membran sel akan sangat terkait dengan fungsi membran itu sendiri yaitu:

1. sebagai pemisah zat-zat dalam sel dan berperan mengatur lalu lintas zat
2. tempat enzim yang dibutuhkan oleh sel

Bahan dasar membran adalah bahan yang peka terhadap perubahan suhu yang terjadi. Hal ini berdasarkan penelitian dimana enzim yang diekstrak dari tanaman tropika ternyata mempunyai respon terhadap suhu yang sama dengan enzim yang diekstrak dari tanaman daerah sedang, meskipun suhu optimum untuk pertumbuhan antara kedua jenis tanaman tersebut sangat berbeda.

Membran sel membatasi protoplasma dengan organel-organel sel (kloroplas, mitokondria, dll) dan berada dalam sistem yang kompleks dalam sel. Membran sel terdiri dari: lipid, steroid dan protein dalam susunan yang sangat kompleks. Proporsi antara lipid dan steroid akan berpengaruh terhadap titik cair (*melting point*) yang akan mempengaruhi sifat membran. Proporsi ini tidak sama untuk setiap jenis tanaman. Bila suhu meningkat terlalu tinggi, lipid akan mencair dan menyebabkan membran sel kehilangan kemampuannya mengatur metabolisme dan mengatur pergerakan zat-zat atau ion-ion dalam sel. Sebaliknya pada beberapa membrane, bila suhu terlalu rendah lipid akan menjadi solid dan membrane tidak berfungsi secara baik, atau dikatakan membrane mengalami kebocoran.



Gambar 14. Laju Kebocoran Membran dan Hubungannya dengan Suhu

Gambar 14 menunjukkan tingkat kebocoran membran akibat suhu pada tumbuhan di daerah tropika dan daerah sedang. Pada tumbuhan daerah tropika membran akan mengalami kerusakan pada suhu rendah yang tidak terjadi pada tumbuhan dengan habitat daerah sedang. Tetapi suhu sekitar 30°C ke atas akan menjadi titik kritis kedua tumbuhan tropika dan sedang karena membran sel kehilangan kemampuan sifat semi permeabilitasnya pada suhu tersebut. Kondisi ini disebabkan karena bahan penyusun utama membran sel yang terdiri dari protein dan lemak yang akan sangat terpengaruh oleh suhu. Protein pada membran sel tumbuhan akan segera rusak apabila tumbuhan terpapar suhu tinggi terus menerus. Demikian sebaliknya jika tumbuhan terpapar suhu dingin terus menerus, maka lemak pada membran akan membeku sehingga sifat fleksibel membran sel menurun.

Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Tanaman

Suhu di atas 30°C merupakan faktor kritis untuk berbagai jenis tanaman jika senyawa-senyawa protein cenderung lepas dan tidak dapat kembali ataupun enzim-enzim tidak dapat berfungsi. Jika aktivitas enzim berhenti maka semua kegiatan metabolisme yang diatur oleh enzim bersangkutan akan mengalami *stagnasi*. Suhu tanaman yang tinggi akan mengakumulasi zat-zat beracun dalam sel-sel tanaman sehingga dapat merusak tanaman. Bahan tersebut dapat didistribusikan ke bagian lain dari tanaman sehingga akan menyebabkan kerusakan semakin intensif.

Suhu ekstrim yang tidak mematikan protoplasma akan terus menghambat pertumbuhan, melemahkan kegiatan-kegiatan enzim dan menahan laju produksi.

Respon pertumbuhan tanaman terhadap suhu sulit ditentukan di lapangan karena sering berlangsung tanpa diketahui dan disadari manusia.

Suhu yang tinggi dapat menyebabkan beberapa penyakit daun, seperti perubahan warna dan kebakaran daun. Perubahan warna terjadi akibat rusaknya zat warna yang biasanya terjadi di ujung atau pinggir daun. Derajat kerusakan hijau daun umumnya ditentukan oleh umur daun dan lamanya berada pada kondisi suhu tersebut. Kebakaran daun merupakan akibat dari evapotranspirasi yang berlebihan, transpirasi dapat berjalan dengan kecepatan yang tinggi pada suhu tinggi sehingga absorpsi air tidak dapat mengimbangi transpirasi daun. Jika kekurangan air tersebut tidak diimbangi masuknya air lewat akar, maka protoplasma mengering, daun layu dan sel-sel akan mati. Karena kekurangan air terjadi pertama-tama pada sel-sel yang terletak di ujung sistem pembuluh pengangkut air, maka kerusakan pertama pun terjadi pada ujung daun dan pinggir daun. Kerusakan ini sering terjadi pada jenis tanaman yang senang pada keadaan ternaungi.

Kerusakan akibat naiknya suhu dilihat dari aspek fisika:

1. difusi semakin cepat
2. solubilitas (daya larut zat dalam air) meningkat
3. viskositas menurun

Kerusakan tanaman terhadap suhu tinggi yang ekstrim

1. timbulnya kanker batang
2. rusaknya protoplasma sel
3. respirasi meningkat

KESIMPULAN

1. Suhu mempengaruhi tanaman pada laju proses-proses metabolisme. Pengaruh suhu terutama terlihat pada laju perkembangan tanaman seperti pada perkecambahan, pembentukan daun dan inisiasi organ reproduktif.
2. Pengaruh suhu akan lebih mudah dilihat dalam jangka waktu yang panjang terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara keseluruhan.
3. Perubahan morfologi akibat rendahnya suhu walaupun berada di atas titik beku, antara lain: a) Menurunkan laju pertumbuhan, b) Berkurangnya pertumbuhan pucuk/cabang utama dan meningkatkan pertumbuhan cabang sekunder, c) Translokasi bahan yang dihasilkan berkurang, d) Respirasi menurun, dan e) Memacu pembungaan dan pembuahan khususnya pada suhu malam yang rendah.
4. Suhu yang tinggi dapat menyebabkan beberapa penyakit daun, seperti perubahan warna dan kebakaran daun.

TUGAS MANDIRI

1. Jelaskan faktor apasajakah yang mempengaruhi besaran suhu yang ada di suatu daerah sehingga mempengaruhi proses pertumbuhan tanaman.
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan suhu optimal bagi tanaman.
3. Bagaimanakah tanaman dapat diklasifikasikan berdasarkan suhu optimal yang dimilikinya.
4. Jelaskan pengaruh perbedaan suhu siang dan malam terhadap pertumbuhan tanaman.
5. Jelaskan mengapa suhu yang ekstrim bagi tanaman dapat memicu timbulnya penyakit bagi tanaman tersebut.
6. Jelaskan perubahan morfologi apa yang terjadi pada tanaman yang terus menerus berada pada suhu yang rendah.
7. Jelaskan kerusakan seluler yang terjadi pada tanaman di suhu rendah

TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah mempelajari Bab 3 mengenai respon tanaman terhadap air, maka mahasiswa diharapkan mampu

1. Menjelaskan pentingnya air dan fungsi air bagi seluruh pertumbuhan tanaman.
2. Menjelaskan kebutuhan air pada setiap fase pertumbuhan mulai dari perkecambahan, fase vegetatif dan fase generatifnya.
3. Menjelaskan hubungan kebutuhan air terhadap mekanisme membuka dan menutupnya stomata.
4. Menjelaskan mekanisme masuknya air melalui akar dan pembuluh xylem yang ada di dalamnya hingga dapat dipergunakan untuk proses fotosintesis.
5. Menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi mekanisme masuknya air melalui akar tanaman.
6. Menjelaskan efek yang terjadi apabila tanaman mengalami kekurangan air atau kelebihan air.
7. Menyusun dan melaksanakan kegiatan praktikum secara inkuiri dengan menerapkan berbagai perlakuan penyiraman untuk kemudian diamati dan dianalisis pertumbuhan tanamannya.

BAB III

RESPON TANAMAN TERHADAP AIR

Selama siklus hidup tanaman mulai dari perkecambahan sampai panen maka selalu membutuhkan air. Tidak satupun proses kehidupan tanaman yang dapat bebas dari air. Besarnya kebutuhan air tiap fase pertumbuhan selama siklus hidupnya tidak sama. Hal ini berhubungan dengan proses fisiologis, morfologis dan kombinasi kedua faktor di atas dengan faktor-faktor lingkungan.

Fungsi air bagi tanaman antara lain adalah:

- a. Bahan baku dalam proses fotosintesis
- b. Penyusun protoplasma & menjaga tekanan turgor sel
- c. Bahan dan media untuk transpirasi
- d. Pelarut unsur hara dalam tanah dan dalam tanaman
- e. Transportasi unsur hara dari dalam tanah ke bagian tanaman

Kebutuhan air pada tanaman berbeda, tergantung dari organ mana dan pada tahapan apa tanaman tersebut berada. Fase vegetatif pada tanaman membutuhkan air yang lebih banyak dibandingkan apabila tanaman memasuki fase generatif.

Ex. Biji 5 – 20%, batang 40%, buah 90%.

Tanaman mendapatkan sebagian besar air dari dalam tanah, sebagian kecil dari udara: embun & kabut, yaitu terdapat pada golongan tanaman Xerophyte.

Kebutuhan air pada tanaman dapat dipenuhi melalui tanah dengan jalan penyerapan oleh akar. Besarnya air yang diserap oleh akar sangat tergantung pada kadar air tanah dan kondisi lingkungan di atas tanah. Menurut Bustom (1956) defisit air langsung mempengaruhi pertumbuhan vegetatif tanaman. Proses ini pada sel tanaman ditentukan oleh tekanan turgor, dimana hilangnya turgiditas akan dapat menghentikan pertumbuhan sel (penggandaan dan pembesaran) yang akibatnya pertumbuhan tanaman menjadi terhambat.

Kebutuhan tanaman akan air sangat beragam tergantung pada jenisnya. Bahkan kebutuhan pada setiap fase juga berbeda. Dan berdasarkan kemampuan adaptasinya terhadap ketersediaan air maka tanaman dibedakan:

1. *Mesophytes*, tumbuh pada kondisi kapasitas lapang, sehingga akan layu permanen bila kehilangan air mencapai 25% dari sejumlah air yang dikandungnya.
2. *Hydrophytes*, tanaman yang hidup di air.

Kondisi air berpengaruh terhadap mekanisme dari stomata, dimana stomata mempunyai mekanisme penyesuaian terhadap perubahan kandungan air tanah yang dipengaruhi oleh kapasitas tanah menyimpan air (*water holding capacity*). Dimana semakin tinggi kapasitas air tanah maka akan semakin lama waktu yang tersedia bagi stomata untuk kembali pada keadaan semula (*non stress*).

Penutupan stomata juga dipengaruhi oleh adanya variasi kelembaban relative yang terjadi di udara. Kelembaban relative terjadi karena adanya air dalam status uap. Pada suhu tinggi udara akan memegang uap lebih besar dibandingkan dengan suhu rendah. Kelembaban relatif dinyatakan dalam persentase, ialah sejumlah uap air pada suatu waktu dibandingkan dengan jumlah total uap yang dapat diikat oleh udara pada suatu suhu.

Kelembaban berperan pada perkembangan kutikula, mencegah hidrasi kutikula, transpirasi yang akhirnya juga sangat berperan dalam mengurangi adanya water stress. Oleh karena itu dalam hal mencegah water stress, kelembaban relative lebih penting peranannya dari pada kelembaban mutlak. Kelembaban relative bervariasi dari satu tempat ke tempat lain dan dari waktu ke waktu, karena dipengaruhi oleh faktor meteorology dan fisiologi tanaman seperti kegiatan transpirasi, respirasi dan fotosintesa.

Kelembaban relatif rendah secara morfologis mempengaruhi endapan lilin yang tebal. Kondisi ini secara fisiologis mempengaruhi kecepatan transpirasi. Lapisan lilin yang tebal menyebabkan terhalangnya energi cahaya mencapai khlorofil. Sehingga mengurangi efisiensi fotosintesa. Selama kelembaban dalam tubuh tanaman berada di atas titik layu, kegiatan metabolisme tak terpengaruhi oleh kelembaban udara. Kelembaban relatif mempengaruhi masuknya air ke dalam jaringan tanaman dan translokasi air dalam tubuh tanaman. Kutikula yang terhidrasi akan meningkatkan aliran air ke daun, karena tekanan daun berkurang.

Water stress yang lama dapat meningkatkan tebal dan kepadatan kutikula, menurunkan pemasukan, transportasi air dan metabolisme dalam tubuh tanaman. Kelayuan yang berkepanjangan menyebabkan kutikula kurang permeabel pada air.

Status ini menimbulkan kelembaban pada pertumbuhan batang dan daun, mengurangi kecepatan transport ion, menurunkan respirasi, menurunkan aktivitas enzim, mengurangi pembelahan sel dan mengurangi sintesa protein.

Mekanisme Penyerapan Air Oleh Akar

Kebutuhan air pada tanaman diperoleh dari penyerapan air oleh akar. Proses masuknya air dalam tubuh tanaman berjalan sebagai berikut:

Air dihisap oleh akar tanaman sebagian melalui bulu-bulu akar, dimana akar ini dihubungkan dengan suatu penghubung yang disebut dengan *vascular system*. Kemudian air dialirkan ke seluruh tubuh tanaman melalui protoplas dan dinding sel terus ke dalam jaringan *xylem* sehingga sampai ke daun. Sampai di daun, air akan digunakan untuk mensintesa persenyawaan-persenyawaan organik seperti karbohidrat, lemak, protein dan bahan organik lainnya, dan sebagian yang lain meninggalkan daun dan kembali ke batang melalui *phloem*.

Penyebab masuknya air ke tubuh tanaman adalah potensial tanah dan tegangan daun. Potensial tanah terjadi karena adanya perbedaan potensial air yang disebabkan oleh perbedaan konsentrasi air antara tanah dengan air dalam jaringan akar. Potensial tanah dipengaruhi oleh kadar kelembaban tanah (*soil moisture*) yang bisa disebabkan karena kegiatan akar tanaman yaitu *active absorption* (penyerapan akar) dan *passive absorption* (penyerapan pasif).

Penyerapan pasif terjadi karena tanaman mengalami transpirasi secara perlahan-lahan merupakan kegiatan fisiologis tindak lanjut dari kegiatan metabolisme dalam tubuh tanaman yang tidak dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Transpirasi akan mengakibatkan menurunnya potensial air pada xylem.

Penyerapan aktif terjadi karena tanaman bertranspirasi secara cepat, yang merupakan adaptasi terhadap perubahan lingkungan seperti temperature yang tinggi, intensitas cahaya yang tinggi dan keregangan udara karena kecepatan angin meningkat. Hal ini mengakibatkan konsentrasi larutan dalam xylem menjadi menurun.

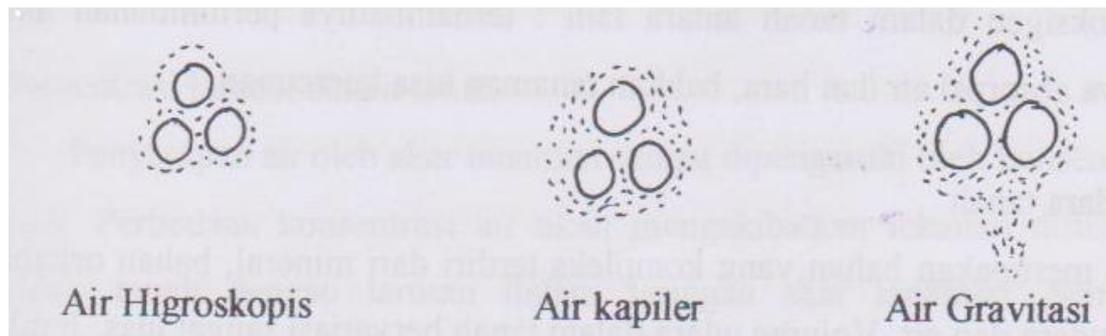
Faktor Yang Mempengaruhi Penyerapan Air Oleh Akar

Faktor-faktor yang penting yang bisa mempengaruhi penyerapan air oleh akar antara lain adalah:

1. Ketersediaan Air Tanah

Air tanah yang dapat diisap oleh akar tanaman berada di antara keadaan kapasitas lapang (*field capacity*) dan titik layu permanent (*permanent wilting point*). Tersedianya air bagi tanaman ditentukan oleh jenis tanaman, kegiatan metabolisme dalam jaringan tanaman yang sedang aktif dan respon tanaman (menyangkut daya adaptasinya terhadap penggunaan air).

Ketersediaan air dalam tanah ditentukan oleh pF (kemampuan partikel tanah memegang air) dan kemampuan akar untuk menyerapnya. Besarnya kemampuan partikel tanah memegang air ditentukan oleh sejumlah air dalam tanah.



Gambar 15. Bentuk Air Dalam Tanah, dan Kaitannya dengan Ketersediaannya untuk Tumbuhan.

Gambar 15 menjelaskan bentuk-bentuk air yang ada di dalam tanah dengan kondisi masing-masing air tersebut. *Sumber Air Bagi Tanaman*, dapat dicermati pada gambar 15 dengan penjelasan bahwa

- Air Higroskopis, adalah air yang tidak tersedia bagi tumbuhan karena akar kalah kuat tarik menarik dengan partikel tanah. Air higroskopis bersifat hidrofilik, dan sulit dimanfaatkan atau diambil oleh akar tumbuhan.
- Air kapiler, air yang berada dalam kapiler tanah di antara partikel tanah, dan merupakan jenis posisi air yang akan mudah didapatkan oleh akar tumbuhan.
- Air gravitasi, air yang bergerak ke bawah meninggalkan partikel tanah pada lapisan oleh akibat gravitasi bumi, dan juga merupakan jenis air yang dapat diambil oleh akar tumbuhan.

Lebih jauh akibat kekurangan air adalah menghambat pertumbuhan dan menurunkan hasil tanaman tersebut, dimana ini biasanya disebabkan karena:

- Transpirasi berlebih, meski air tanah cukup
- Transpirasi tidak berlebih tetapi air tanah kurang
- Atau gabungan keduanya.

2. Temperatur tanah

Penyerapan air oleh akar tanaman akan meningkat dengan meningkatnya suhu tanah. Tanaman yang hidup di daerah sedang absorpsi air dapat berlangsung antara suhu 0°C hingga 70°C . Sedang tanaman di daerah tropis absorpsi air hanya terjadi antara suhu 5°C hingga 70°C . Perbedaan ini disebabkan oleh daya adaptasi tanaman tersebut. Di atas suhu 70°C diperkirakan laju penyerapan air akan sama jika faktor lingkungan di luar suhu juga sama.

Pada suhu yang ekstrim tinggi mengakibatkan aktivitas terganggu (fotosintesis, respirasi dan kegiatan esimatis terhenti), sehingga tidak membutuhkan air tanah. Suhu tanah yang rendah akan menurunkan laju penyerapan air oleh akar, karena transpirasi berkurang. Perubahan suhu tanah yang drastis mengakibatkan viskositas air dalam membran sel bervariasi sehingga mempengaruhi kegiatan aktivitas fisiologis sel-sel akar.

Temperatur tanah juga akan mempengaruhi komposisi udara tanah, yang berakibat peningkatan atau penurunan aktivitas mikroorganisme tanah. Jika aktivitas mikroorganisme meningkat maka populasi juga akan meningkat sehingga mengakibatkan bertambah tingginya tekanan parsial karbondioksida pada atmosfer tanah. Hal ini berpengaruh langsung pada porsi oksigen dalam tanah yang menjadi banyak berkurang bahkan sampai batas membahayakan pertumbuhan akar. Akibat kurangnya oksigen dalam tanah antara lain: terhambatnya pertumbuhan akar, terganggunya absorpsi air dan hara, bahkan tanaman bisa keracunan.

3. Sirkulasi udara tanah

Tanah merupakan bahan yang kompleks terdiri dari mineral, bahan organik, organisme, udara dan air. Volume udara dalam tanah bervariasi sangat luas. Jumlah rongga tanah berpori-pori dalam tanah berkisar antara 25% dan 50%. Rongga berpori-pori ini ditempati oleh udara dan air secara bersama-sama. Perbandingan jumlah ke dua zat ini ditentukan oleh reaksi metabolisme mikroba tanah, pertukaran gas dan jumlah ruang pori yang terdapat dalam tanah. Jumlah ruang pori yang terdapat dalam tanah ditentukan oleh komposisi tekstur tanah. Semakin halus tekstur tanah semakin besar jumlah ruang berpori.

Untuk tanah bertekstur pasir kasar ruang berpori mencapai 40% dari volume tanah. Dalam tanah lempung dan tanah liat berfluktuasi antara 47% sampai 52%. Sebagian besar dalam jumlah ruang pori ini diisi oleh air dan hanya sebagian kecil saja yang ditempati oleh udara. Kandungan udara tanah berkurang sejalan dengan kepadatan dan kedalaman tanah.

Aerasi tanah merupakan salah satu faktor yang menentukan absorpsi air oleh tanaman. Pada umumnya tanaman akan layu ketika aerasi tanah hampir jenuh oleh material padat atau cairan yang pekat, misalnya pupuk nitrogen. Hal yang sama juga akan terjadi apabila aerasi tanah hanya ditempati oleh satu jenis udara tanah saja, misal ruang pori hanya diisi oleh karbondioksida. Tapi keadaan tersebut tidak berlaku untuk tanaman yang suka hidup dalam air tergenang (*hygrophyta*).

Sirkulasi yang kurang baik pada tanah akan menyebabkan busuk akar, sehingga terjadi kelayuan. Busuk akar ini disebabkan karena akar kekurangan oksigen dan meningkatnya ketersediaan aluminium, besi dan mangan karena ketersediaan bahan tersebut meningkat pada kondisi pH rendah (masam). Akibat lain buruknya sirkulasi udara di tanah adalah terbunuhnya mikroorganisme aerob sehingga akan mengakibatkan terlambatnya pembusukan bahan organik. Kondisi ini mengakibatkan tidak tersedianya pupuk organik alami untuk tanaman, karena sebelum pupuk itu tersedia bagi tanaman maka terlebih dahulu harus mengalami proses penguraian (mineralisasi, nitrifikasi, amonifikasi dll) yang dilakukan oleh mikroorganisme.

4. Konsentrasi larutan dalam tanah

Penyerapan air oleh akar tanaman sangat dipengaruhi oleh konsentrasi larutan tanah. Perbedaan konsentrasi air akan mengakibatkan tekanan difusi air antara larutan tanah dengan larutan dalam jaringan akar tanaman. Semakin besar perbedaan tekanan difusi maka akan terjadi suatu aliran air yang apabila tekanan difusi air di luar akar lebih kecil (konsentrasi air besar) daripada tekanan air dalam jaringan akar (konsentrasi air kecil), maka akan terjadi aliran air dari larutan tanah ke dalam jaringan akar tanaman.

Konsentrasi air dalam tanah akan berfluktuasi sesuai dengan jumlah penambahan air oleh curah hujan atau air irigasi dan juga akibat faktor cuaca. Akibat suhu udara tinggi akan meningkatkan laju evaporasi sehingga konsentrasi air tanah akan menurun dan konsentrasi air tanah akan meningkat apabila terjadi hujan. Sehingga bisa disimpulkan bahwa konsentrasi air tanah tergantung pada faktor lingkungan.

Berbeda dengan konsentrasi air tanah yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, maka konsentrasi air dalam jaringan tanaman dipengaruhi secara langsung oleh kegiatan fisiologis dan morfologis tanaman itu sendiri. Sedangkan faktor lingkungan hanya mempercepat atau memperlambat saja dari proses fisiologis maupun morfologis yang terjadi. Suhu dan intensitas cahaya yang besar akan membuat tanaman membutuhkan banyak air untuk proses fotosintesis dan transpirasi sehingga akan menurunkan konsentrasi air dalam jaringan tanaman. Kondisi ini akan merangsang akar untuk menyerap air dari dalam tanah.

5. Sistem perakaran

Bentuk dan kedalaman serta penyebaran akar akan mempengaruhi jumlah air yang dapat diserap oleh akar tanaman. Akar yang kurus dan panjang mempunyai luas permukaan yang lebih besar bila dibandingkan dengan akar yang gemuk dan pendek. Penyerapan air dapat terjadi dengan perpanjangan akar ke tempat baru yang masih banyak air, sehingga laju penyerapan dapat ditingkatkan.

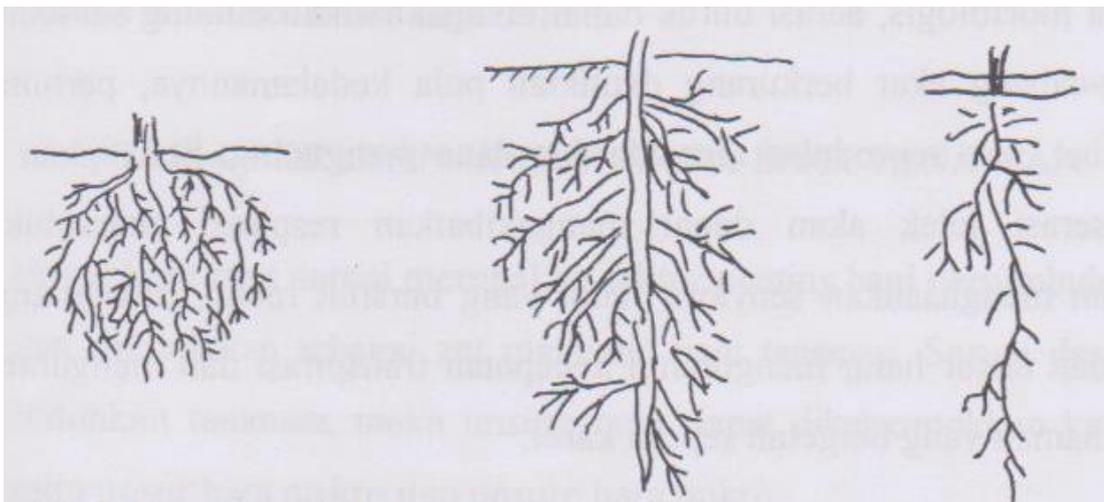
Kedalaman perakaran sangat berpengaruh pada porsi air yang dapat diserap. Makin panjang dan dalam akar menembus tanah makin banyak air yang dapat diserap bila dibandingkan dengan perakaran yang pendek dan dangkal dalam waktu yang sama.

Kedalaman akar berkurang dengan bertambahnya air tanah. Demikian pula sebaliknya dalam keadaan stress air akar akan lebih panjang, lebih halus dan banyak cabang serta besar rasio akar dibanding tajuk. Laju penyerapan air oleh akar merupakan fungsi sebaran akar sehingga jumlah air yang diserap akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman.

Kebutuhan Air Tanaman

Pada prinsipnya semua tanaman membutuhkan air untuk kelangsungan hidupnya mulai dari perkecambahan sampai panen. Dalam jaringan tanaman secara fungsional air berperan sebagai pelarut pada proses fisiologis dan merupakan alat yang dapat membawa zat hara serta gas dari luar ke dalam jaringan tanaman.

Fase perkecambahan, proses yang pertama terjadi adalah imbisi dimana air sebagai penstimulir metabolisme dan sebagai pelarut dalam perombakan dan pengangkutan cadangan makanan ke dalam batang dan bakal akar, sehingga tanaman dapat tumbuh. Setelah tanaman tumbuh air dibutuhkan dalam pengisian zat hara, sintesa karbohidrat, sintesa protein, sebagai alat angkut zat makanan (asimilasi) ke bagian-bagian tanaman dan untuk melarutkan garam-garam mineral dalam tanah sehingga dapat diserap oleh tanaman.



Gambar 16. Beberapa Model Sistem Perakaran Tanaman

Adaptasi morfologis mengurangi laju transpirasi dengan cara:

1. menggugurkan daun-daun
2. membentuk lapisan kutikula

3. memperkecil jumlah stomata aktif dengan menutupnya pada siang hari.

Adaptasi fisiologis untuk mengatasi kondisi kekurangan air dilakukan tanaman dengan merubah pati menjadi gula. Hal inilah menjadikan penyebab fenomena mengapa buah yang dipanen pada musim kemarau akan terasa lebih manis jika dibandingkan dipanen pada saat musim penghujan. Sedangkan adaptasi untuk meningkatkan absorpsi air adalah dengan memperbaiki sistem perakaran.

Akibat kelebihan air:

- *aerasi tanah jelek* sehingga secara morfologis suplai oksigen berkurang, dinding sel akar menipis, cabang akar berkurang, pertumbuhan tunas terhambat, fase reproduksi tertunda dan daun menguning.

Secara fisiologis respirasi anaerobik meningkat sehingga menghasilkan senyawa fenol yang bersifat racun, laju absorpsi air & unsur hara terhambat, mengurangi permeabilitas membran sel dan mengurangi kecepatan transpirasi.

- Proses intrifikasi terhambat sehingga kekurangan unsur N, karena untuk merubah nitrit (NO^{2-}) menjadi nitrat (NO^{3-}) dibutuhkan oksigen.

Dalam batas-batas yang tidak terlalu ekstrim, kelebihan air dapat memacu pertumbuhan vegetatif suatu tanaman, sehingga fase vegetatif lebih dominan dari fase generatifnya. Untuk tanaman sayur yang dipanen bagian vegetatifnya maka hal ini akan menguntungkan. Akan tetapi untuk tanaman lain yang dipanen bagian generatifnya (buah-buahan, umbi-umbian, tebu dll), maka hal ini akan merugikan karena pembungaan tertunda, benih atau buah yang dihasilkan sedikit dan mutunya rendah (misal rasa kurang manis).

Secara morfologis, aerasi buruk dapat mengakibatkan dinding sel akar lebih tipis, cabang-cabang akar berkurang demikian pula kedalamannya, pertumbuhan tunas terhambat, fase reproduksi tertunda dan daun menguning. Sedangkan secara fisiologis, aerasi jelek akan dapat mengakibatkan respirasi anaerobik akar meningkat dan menghasilkan senyawa fenol yang bersifat racun, mengurangi laju absorpsi air dan unsur hara, mengurangi kecepatan transpirasi dan mengurangi pH getah pada tanaman yang bergetah seperti karet.

KESIMPULAN

1. Air dibutuhkan oleh tanaman selama proses pertumbuhannya mulai dari perkecambahan, fase vegetatif, dan fase generatif.
2. Adaptasi tanaman terhadap kekurangan air akan mempengaruhi struktur morfologi terutama adalah akar.
3. Adaptasi tanaman terhadap kekurangan atau kelebihan air dilakukan pada struktur morfologinya dan fisiologisnya.
4. Sumber air bagi tanaman tersedia dalam bentuk a) Air Higroskopis, b) Air kapiler, dan c) Air gravitasi.
5. Faktor-faktor yang penting yang bisa mempengaruhi penyerapan air oleh akar adalah: a) Ketersediaan Air Tanah, b) Temperatur tanah, c) Sirkulasi udara tanah, d) Konsentrasi larutan dalam tanah, dan e) Sistem perakaran.
6. Kondisi kekurangan air ataupun kelebihan air akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan bahkan memicu timbulnya penyakit tertentu.

TUGAS MANDIRI

1. Jelaskan apa sajakah fungsi air bagi tanaman.
2. Jelaskan dengan menggunakan skema, bagaimanakah mekanisme proses penyerapan air oleh akar.
3. Jelaskan mekanisme membuka menutupnya stomata dikaitkan dengan kelembaban udara yang dipicu oleh adanya uap air di udara.
4. Apakah adaptasi morfologis yang dilakukan tanaman terhadap kondisi kekurangan dan kelebihan air.
5. Jelaskan hubungan air dengan transpirasi dan mekanisme fotosintesis.
6. Jelaskan apa yang terjadi apabila tanaman mengalami kondisi kekurangan air, dan sebaliknya apabila tanaman kelebihan air.
7. Jelaskan keuntungan yang didapatkan tanaman apabila kelebihan air dan mengapa demikian.

TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah mempelajari Bab 4 mengenai Peran Unsur Hara bagi Tanaman, diharapkan mahasiswa akan mampu:

1. Menyebutkan unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan oleh tanaman.
2. Menjelaskan hubungan antara unsur hara makro dan mikro terhadap pertumbuhan tanaman.
3. Menjelaskan efek yang terjadi apabila tanaman mengalami kekurangan atau kelebihan unsur hara tertentu.
4. Membedakan kondisi tanaman yang berkecukupan akan unsur hara dan yang kekurangan unsur hara.

BAB IV

PERANAN UNSUR HARA BAGI TANAMAN

Unsur hara atau nutrisi merupakan faktor penting bagi pertumbuhan tanaman yang dapat diibaratkan sebagai zat makanan bagi tanaman. Sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan tanaman, maka unsur hara dapat dikelompokkan ke dalam dua bagian yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro.

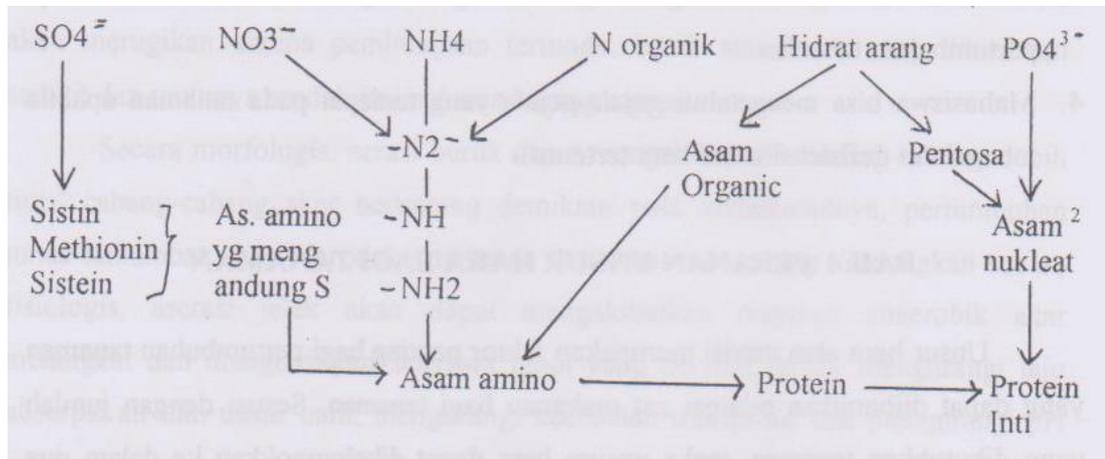
Unsur hara makro adalah unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak: nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), belerang (S), kalsium (Ca) dan magnesium (Mg). Unsur hara makro sering dibagi menjadi dua bagian yakni unsur hara primer (N, P dan K) dan unsur hara sekunder (S, Ca dan Mg). Selain unsur hara makro tersebut, tanaman juga membutuhkan unsur hara yang lain yang juga dalam jumlah besar, yaitu: karbon (C), hydrogen (H), dan oksigen (O). Namun unsur-unsur itu (C, H dan O) jarang dibicarakan bukan karena peranannya kecil melainkan karena ketersediaannya di alam yang berlimpah serta peranannya dalam proses metabolisme tidak berdiri sendiri.

Kekurangan unsur C, H dan O tidak dapat dilihat secara terpisah. Unsur C diserap makanan dalam bentuk CO₂ dalam proses fotosintesis, unsur H diserap dalam bentuk H₂O dan unsur O diserap dalam bentuk O₂ pada proses respirasi. Sedangkan yang tergolong unsur hara mikro (dibutuhkan dalam jumlah sedikit) antara lain besi (Fe), boron (B), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu) dan molybdenum (Mo).

Jumlah energi yang dibutuhkan bagi penyerapan aktif unsur hara tanaman diperoleh dari respirasi karbohidrat yang terbentuk sebagai hasil dari fotosintesis tanaman. Oleh karenanya sejumlah faktor yang mengurangi laju fotosintesis akan mengurangi suplai energi dalam tanaman dalam waktu lama dan akibatnya mengurangi laju penyerapan unsur hara.

Setiap unsur hara memiliki peran spesifik dalam tanaman, namun demikian dari beberapa unsur yang berperan ganda. Karena setiap unsur memainkan peran khusus, maka suatu keadaan defisit atau berlebihan umumnya akan mengakibatkan gejala khas. Jika jenis unsur memiliki lebih dari satu peran khusus, maka akan timbul berbagai macam efek defisiensi bergantung pada proses dalam tanaman yang dipengaruhi.

Unsur hara makro N, P dan K adalah unsur hara yang merupakan bagian integral dari protein tanaman dan interelasinya dapat ditunjukkan dalam gambar 17 berikut:



Gambar 17. Hubungan Unsur Hara N, P dan K dalam Pembentukan Protein pada Tumbuhan

Agar tanaman dapat tumbuh sempurna, maka sebaiknya semua unsur esensial harus tersedia dalam jumlah cukup. Jika lebih dari sejenis hara yang kurang dalam suatu tanaman, maka akan kecil respon tanaman tersebut bila yang diberikan hanya satu unsur hara diantaranya. Beberapa faktor lain seperti: hama, penyakit, gulma dan faktor pembatas yang lain juga akan menurunkan respon tanaman terhadap pemupukan.

Fungsi Nitrogen Dalam Tanaman

Tanaman non legume biasanya menyerap N dari dalam tanah dalam bentuk NO_3^- atau NH_4^+ . Pada kebanyakan tanah pertanian NO_3^- merupakan bentuk senyawa N yang paling banyak diserap tanaman. Tanaman legume mampu mengambil N_2 dari atmosfer dengan bantuan rhizobia sp. Hanya sedikit N tanah yang digunakan oleh tanaman legume.

N-organik dalam lingkungan normal segera diubah menjadi asam-asam amino dan akhirnya dirangkai menjadi protein tanaman. Protein sel-sel vegetatif sebagian besar lebih bersifat fungsional daripada struktural dan bentuknya tidak stabil sehingga mengalami pemecahan dan reformasi.

Sebagai pelengkap bagi perannya dalam sintesa protein, N merupakan bagian tak terpisahkan dari molekul khlorofil dan karenanya suatu pemberian N dalam

jumlah cukup akan mengakibatkan pertumbuhan vegetatif yang vigor dan menjadikan warna hijau segar. Pemberian N yang berlebihan dalam lingkungan tertentu dapat menunda pendewasaan tanaman. Secara fungsional nitrogen juga penting sebagai penyusun enzim yang sangat besar peranannya dalam proses metabolisme tanaman, karena enzim tersusun dari protein.

Nitrogen merupakan unsur amat mobil dalam tanaman yang berarti bahwa protein fungsional yang mengandung N, dapat terurai pada bagian tanaman yang lebih tua kemudian diangkat menjadi jaringan muda yang tumbuh aktif.

Gejala Defisiensi Unsur Nitrogen

Bila tanaman kekurangan N tersedia akan mengakibatkan tanaman berwarna hijau pucat atau kuning (*khlorosis*). Hal ini terjadi karena rendahnya produksi khlorofil dalam tanaman. Daun tertua lebih dulu menguning karena N dipindahkan dari bagian tanaman ini menuju daerah ujung pertumbuhan, dimana N digunakan kembali guna menunjang pertumbuhan baru. Daun bawah tanaman yang defisien mula-mula menguning di bagian ujung dan gejala khlorosis cepat merambat melalui tulang tengah daun menuju batang, sedang daun tepi dapat tetap hijau untuk beberapa saat. Bila efisiensi menjadi semakin berat, daun tertua kedua dan ketiga mengalami pola defisiensi serupa dan daun tertua pada saat itu akan menjadi coklat sempurna.

Fungsi Fosfor Dalam Tanaman

Fosfor dalam bentuk senyawa fosfat organik, bertanggung jawab pada salah satu atau beberapa cara perubahan energi dalam bahan hidup. Sejumlah senyawa fosfat telah terbukti bersifat esensial bagi fotosintesis, sintesis karbohidrat dan senyawa lain yang sejenis, glikololisis, asam amino, metabolisme lemak dan S, serta oksidasi biologis. Karena peranannya sebagai energi tanaman, P merupakan unsur yang segera mobil dan dipusatkan di bagian pertumbuhan aktif.

Tanaman menyerap sebagian besar kebutuhan fosfornya dalam bentuk ortofosfat primer $H_2PO_4^-$. Sejumlah kecil bentuk $H_2PO_4^{2-}$ juga diserap dalam bentuk P yang terdapat dalam tanah yang dikendalikan oleh pH larutan tanah.

Immobilitas P dalam tanah mengisyaratkan cara penempatan pupuk yang baik karena mempengaruhi penggunaan P secara efisien. Suplai P yang mencukupi adalah

penting pada awal pertumbuhan tanaman karena masa ini tanaman mengalami masa primordial reproduktif dan oleh karenanya menentukan hasil biji yang maksimum.

Gejala Defisiensi Unsur Fosfor

Tanaman yang mengalami defisiensi P biasanya menunjukkan pertumbuhan yang terhambat dan berwarna hijau gelap. Pengerdilan menyeluruh terjadi karena kurangnya P tersedia bagi beberapa reaksi biokimia tanaman yang memerlukan energi. Produksi khlorofil bisa berkurang dan jika ini terjadi terbentuklah pigmen merah (antosianin) yang mendominasi dan memberikan warna keunguan pada daun. Perubahan warna merah atau ungu dimulai pada ujung daun dan berlanjut di sepanjang tepi daun.

Fungsi Kalium

Peranan K dalam tanaman nampaknya sebagai katalis dalam seluruh kisaran reaksi termasuk: (a) metabolisme karbohidrat, (b) metabolisme nitrogen, (c) aktivitas enzim, (d) memacu pertumbuhan di jaringan meristem dan (e) mengatur pergerakan stomata dan kebutuhan air.

K diserap tanaman dalam bentuk K^+ dari kompleks pertukaran secara aktif dalam tubuh tanaman.

Gejala Defisiensi Unsur Kalium

Empat penampakan penting pada tanaman yang mengalami defisiensi unsur K adalah:

1. Sintesis protein, misal pada tanaman tebu yang kekurangan hara K tidak terjadi akumulasi N-protein di daun karena adanya penurunan dalam sintesis protein.
2. Ketahanan terhadap penyakit, tanaman yang kekurangan unsur K lebih peka terhadap penyakit dibanding tanaman yang diberi cukup pupuk K.
3. Ketahanan terhadap kekeringan, karena unsur K berperan dalam mengatur pembukaan stomata, maka K berperan penting dalam kadar air internal tanaman. Tanaman yang kekurangan K, akan kehilangan kendali dalam laju transpirasinya dan menderita kekeringan internal.

4. Kekuatan batang, dimana tanaman yang kekurangan K pada umumnya akan berbatang lemah dan terjadi suatu keadaan kerebahan (roboh) pada tanaman berbiji kecil serta terjadi pematangan batang pada jagung dan shorgum.

Tanaman yang kekurangan K mungkin tidak memperlihatkan gejala defisiensi, tetapi hasil tanaman akan sangat menurun. Jika terjadi gejala pada daun, maka hal ini akan terjadi pada jaringan yang lebih tua karena adanya mobilitas K. Biasanya tanaman mengerdil dengan ruas-ruas yang memendek (Tabel 7).

Tabel 7. Persentase Kerebahan dan Serangan Penyakit Pada Beberapa Dosis Pemberian K

Dosis K (Kg/Ha)	Serangan Penyakit (persen tangkai mati)	Tanaman yang rebah (persen)
0	64,9	20,0
47	38,6	3,4
93	33,1	1,7
186	25,2	2,6

Gejala pada daun ditandai dengan proses penguningan yang dimulai pada ujung daun yang lebih tua dan berjalan di sepanjang tepian hingga ke pangkal daun. Seringkali tepi daun menjadi coklat dan kering (*nekrosis*).

Fungsi Belerang (S)

Sulfur hampir seluruhnya diserap dalam bentuk ion SO_4^{2-} direduksi dalam tanaman dan digabungkan ke dalam senyawa organik. S merupakan konstituen dari asam-asam amino: sistin, sistein dan methionin dan karenanya protein mengandung jenis asam amino tersebut.

Gejala Defisiensi Unsur Belerang (S)

Karenanya terjadinya penurunan fotosintesis dan pembentukan protein bila kekurangan S, maka terdapat kadar pati rendah serta suatu akumulasi fraksi-fraksi N yang dapat larut.

Definisi S pada jagung menunjukkan gejala penguningan menyeluruh terutama pada daun yang lebih muda karena adanya *imobilitas* S di bawah kondisi kekurangan. Seringkali dedaunan menunjukkan gejala khlorosis interveinal mirip dengan defisiensi Zn. Defisiensi S paling sering terjadi pada tanah-tanah alkalis.

Fungsi Kalium (Ca)

Fungsi Ca pada umumnya merupakan kation utama sari lamela tengah suatu dinding sel, dimana kalsium pektat merupakan penyusun utamanya. Selain itu Ca memiliki andil penting dalam pengaturan membrane sel dengan jalan memelihara selektivitas terhadap berbagai jenis ion.

Gejala Defisiensi

Karena peranan Ca sebagai bahan struktural dalam tubuh tanaman adalah amat *immobil*, maka gejala defisiensi semakin jelas pada saat pertumbuhan baru. Dalam beberapa hal, jaringan tanaman yang lebih tua bisa mengandung sejumlah Ca yang berlebihan sedangkan daerah pertumbuhan baru kekurangan Ca. walaupun semua titik tumbuh peka terhadap defisiensi Ca, tetapi bagian akarlah yang paling parah. Bagian itu akan berhenti tumbuh, menjadi tidak teratur, terlihat bagai membelit dan pada defisiensi berat akan mati.

Pada jagung, gejala foliar pertama nampak berwarna kuning menyebar hingga putih dengan luas sekitar 1/3 jarak dari ujung daun yang termuda. Daun berikutnya yang terbentuk dapat mengalami khlorosis dan menggulung. Akhirnya pucuk tanaman terhenti pertumbuhannya.

Fungsi Magnesium (Mg)

Mg diserap dari tanah dalam bentuk ion Mg^{2+} . Mg menyusun lokus pusat dari molekul khlorofil dan juga merupakan activator berbagai jenis enzim yang mempengaruhi hampir setiap proses metabolisme tanaman.

Mg diperlukan bagi pengaktifan sejumlah enzim yang terlibat dalam metabolisme karbohidrat dan teristimewa dalam siklus asam sitrat yang penting dalam proses respirasi.

Gejala Defisiensi Mg

Mg merupakan unsur mobil dalam tanaman dan segera ditranslokasikan ke bagian yang lebih muda dari bagian tanaman yang lebih tua. Pada beberapa spesies defisiensi muncul berupa khlorosis internal daun, sedangkan pembuluh angkut daun tetap hijau. Pada saat defisiensi semakin parah, jaringan daun menjadi pucat merata kemudian coklat dan nekrosis.

Sebagai akibat dari khlorosis, tanaman yang kekurangan Mg memiliki laju fotosintesis yang lebih rendah, lintasan biosintesis kasein sebagai hasil dari penghambatan sejumlah proses transfosforilasi enzimatis dan senyawa N terlarut terdapat dalam kadar yang lebih tinggi di atas normal.

Fungsi Klor (Cl)

Cl diserap sebagai ion Cl^- senyawa klorida dan baru akhir-akhir ini digolongkan sebagai unsur yang esensial. Nampaknya bahwa ion klorida memiliki lebih dari satu fungsi khusus, namun hanya salah satu diantaranya yang telah dapat diidentifikasi yaitu kebutuhan akan Cl^- dalam evolusi oksigen selama fotosintesis. Cl dapat juga berperan penting dalam transpirasi.

Gejala Defisiensi Cl

Amat jarang terjadi dalam kondisi lapang karena adanya siklus garam dari laut, namun bila hal ini terjadi akan nampak sebagai pelayuan tanaman disertai dengan terbentuknya daerah khlorosis atau nekrosis di daun dan dalam sejumlah kasus terbentuk warna keperakan di daun. Pertumbuhan akar biasanya amat terhambat pada tanaman yang kekurangan Cl. Pada kenyataannya sering dijumpai kondisi kelebihan Cl dan bila hal ini yang terjadi akan mengakibatkan penebalan daun dan cenderung untuk menggulung.

Fungsi Boron (B)

Boron merupakan unsur mikro dan dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang relatif sedikit. Beberapa jenis tanaman terutama dari keluarga kacang-kacangan, sangat peka terhadap kekurangan unsur ini. Terdapat kisaran konsentrasi B yang sempit dalam media yang sesuai bagi spesies tanaman tertentu dan kondisi kekurangan maupun kelebihan unsur ini cepat terlihat di luar kisaran tersebut.

B memegang peran kunci dalam degradasi glukosa dalam tanaman dan juga memiliki pengaruh tidak langsung atau sekunder pada metabolisme asam ribonukleat (RNA). B juga berperan dalam transport gula dari daun dengan cara pembentukan gula borat.

Gejala Defisiensi Boron (B)

Unsur B tidak segera ditranslokasikan ke daerah meristematik dari jaringan tua sehingga defisiensi terlihat pada pucuk tanaman. Gejala umum pertama adalah terhalangnya pertumbuhan tunas pucuk diikuti dengan kematian daun muda. Daun termuda menjadi hijau pucat, kehilangan lebih banyak warna pada bagian pangkal dibanding pucuk. Jaringan pangkal memecah, dan jika pertumbuhan terhambat dan jika defisiensi parah, pertumbuhan tanaman terhambat secara bersamaan.

Fungsi Besi (Fe)

Fe dapat diserap dalam bentuk ionic atau kompleks garam organik. Ion-ion ferro (Fe^{3+}) nampaknya merupakan bentuk Fe yang aktif secara metabolik dalam tanaman.

Peran utama Fe adalah dalam aktivasi enzim dan bersifat esensial bagi sintesis khlorofil. Fe juga terlibat dalam transport elektron, dalam bentuk *porphyrin* Fe, baik dalam proses respirasi maupun fotosintesis. Fe berkaitan dengan sintesis protein khloroplastik.

Gejala Defisiensi Besi (Fe)

Defisiensi Fe telah diamati pada berbagai jenis tanaman dan sering dikaitkan dengan tanah alkalis. Dalam kondisi itu defisiensi Fe sering diakibatkan oleh adanya imobilitas Fe tanah oleh gugus karbonat dan bikarbonat. Kandungan P tanah tersedia yang tinggi juga dapat mengakibatkan defisiensi Fe pada tanah-tanah asam.

Suplai Fe yang kontinyu diperlukan bagi sintesis khlorofil dan defisiensi Fe pada mulanya nampak sebagai penguningan daun tanaman. Gejala ini terdapat pada bagian tanaman yang muda karena Fe bersifat tidak mobil. Gejala awal dapat berupa klorosis antar pembuluh pada daun termuda yang cepat menyebar menjadi klorosis secara umum. Dalam beberapa contoh kasus yang berat, daun menjadi putih seluruhnya karena produksi khlorofil terhenti total. Defisiensi Fe bisa didorong dengan cara mempertinggi kadar kation lain, terutama Mn^{2+} .

Fungsi Mangan (Mn)

Beberapa fungsi Mn adalah dalam aktivasi sejumlah enzim yang terlibat dalam metabolisme karbohidrat, reaksi fosforilasi dan siklus asam sitrat dalam respirasi aerobik. Mn juga berperan dalam proses fotokimia yang dikenal sebagai

reaksi Hill yang memecah molekul air ke dalam dua komponen utamanya yaitu H₂ dan O₂.

Gejala Defisiensi Mn

Mn merupakan unsur yang relatif imobil dan gejala defisiensi muncul pertama kali pada daun-daun muda. Gejalanya beragam, mulai dari klorosis intervenial (diantara pembuluh) hingga pembercakan atau penodaan pada daun. Keracunan Mn telah terbukti di beberapa lokasi dan nampak sebagai pengkerutan daun. Hal ini sering terlihat dalam keadaan yang sangat asam (pH < 5,0).

Fungsi Seng (Zn)

Seng diserap akar dalam bentuk ion Zn²⁺, dan bisa juga diserap sebagai suatu kompleks molekuler. Penyerapan lewat daun merupakan bentuk yang siap dari serapan Zn. Zn bertindak sebagai aktivator logam dari enzim dan terlibat dalam kegiatan auksin (hormone pertumbuhan). Dari bukti yang ada, nampak bahwa Zn memegang peran vital dalam jalur metabolisme dari tritofan menjadi auksin melalui *triptophamin*.

Gejala Defisiensi Zn

Defisiensi Zn telah diamati pada berbagai jenis tanaman, karena sifat imobilitasnya. Defisiensi Zn terjadi pertama kali pada daun muda. Gejala awal adalah *klorosis intervenial* yang diikuti dengan penurunan laju pemanjangan batang yang diduga disebabkan oleh menurunnya kegiatan auksin.

Pada jagung defisiensi dikenal sebagai pita putih pada jaringan daun yang memucat, terbentuk pada kedua sisi tulang tengah dan dimulai pada pangkal daun. Sedangkan warna daun tetap hijau.

Fungsi Tembaga (Cu)

Cu diserap tanaman dalam bentuk ion Cu²⁺ (kuprit) dan sebagai kompleks Fe-organik seperti "asam tetra etilen-diamina" (EDTA). Cu juga bisa diserap melalui daun tanaman. Cu merupakan logam activator beberapa jenis enzim dalam tanaman yang terlibat dengan sintesis protein dan respirasi. Cu juga berperan dalam reaksi cahaya di dalam proses fotosintesis.

Gejala Defisiensi Cu

Seperti halnya defisiensi unsur lain, efisiensi Cu berkaitan dengan sintesa protein dan bisa mengakibatkan kenaikan kadar senyawa N terlarut. Gejala visual defisiensi Cu beragam dari jenis tanaman satu dengan lainnya. Pada tanaman jagung, daun termuda menguning dan terhambat pertumbuhannya. Semakin parah defisiensi daun muda semakin memucat dan daun tua mengalami mati pucuk. Pada tahap lanjut terbentuk jaringan mati dibagian ujung dan tepi daun tua dalam pola yang sama dengan gejala defisiensi K.

Fungsi Molibdenum (Mo)

Mo dibutuhkan dalam jumlah sedikit oleh tanaman dan diserap dalam bentuk ion MoO_4^{2-} . Mo berperan penting dalam sistem enzim yang terlibat dalam fiksasi N simbiotik. Tidak seperti unsur logam lainnya, Mo tidak berfungsi sebagai aktivator enzim tetapi langsung sebagai metalo-enzim. Mo juga berperan dalam induksi nitrat reduktase.

Gejala Defisiensi Mo

Karena perannya yang vital dalam pemakaian N baik oleh tanaman legume maupun non legume, defisiensi Mo berpenampilan seperti defisiensi N. Pada tanaman legume yang menderita defisiensi Mo, akan terjadi akumulasi senyawa N anorganik. Karena adanya penurunan laju metabolisme N, maka terjadi penurunan dalam tingkat kadar gula dan asam-asam amino dalam tanaman.

Fungsi Cobalt (Co)

Cobalt sebagai salah satu penyusun dari molekul vitamin B12, dibutuhkan oleh semua sistem pengikatan N.

DIAGNOSIS DEFISIENSI

Terdapat banyak resiko dalam melakukan diagnosis secara terpisah terhadap sejumlah gejala yang ada, karena hasilnya mudah dikacaukan satu sama lain dan juga oleh pengaruh bahan kimia, kekeringan maupun penyakit.

Namun demikian menurut pengalaman dan pengetahuan tentang keadaan tanah yang berkaitan dengan beberapa gejala, maka kesemuanya dapat merupakan

alat diagnostik yang berguna. Kunci pedoman yang diuraikan di bawah ini dapat bermanfaat dalam tujuan diagnosis tersebut.

A. Pengaruh Lokal, terjadi sebagai pembercakan atau klorosis dengan atau tanpa bercak nekrosis pada daun yang lebih bawah, sedikit atau tanpa pengeringan pada daun bawah.

- 1) Daun bawah melekuk atau menangkup ke bawah dengan bercak kekuningan di ujung dan tepi. Bercak nekrosis di ujung dan tepi. (Kalium).
- 2) Daun bawah klorosis diantara pembuluh utama pada ujung dan tepi dengan warna hijau pucat hingga putih. Biasanya tanpa bercak nekrosis. (Magnesium).

B. Pengaruh umum, terjadi penguningan dan pengeringan atau “kebakaran” pada daun-daun sebelah bawah.

- 1) Tanaman berwarna hijau pucat, daun bawah kuning, kering dan berwarna coklat terang. (Nitrogen).
- 2) Tanaman berwarna hijau gelap, lebar daun menyempit dibanding panjangnya, tanaman tak mencapai dewasa. (Fosfor).

C. Mati pucuk pada tunas terminal, yang didahului oleh nekrosis pada ujung atau pangkal daun muda yang mengalami stagnasi pertumbuhan.

- 1) Daun muda membentuk tunas terminal, berwarna hijau terang, diikuti dengan pelengkungan ke bawah yang khas di bagian ujung, kemudian nekrosis, sehingga bila terjadi pertumbuhan yang kedua maka bagian ujung dan tepi daun akan menghilang (Kalsium).
- 2) Pertumbuhan daun muda terhambat dan bagian pagkal berwarna hijau terang, diikuti dengan dekomposisi di pangkal daun, dan jika terjadi pertumbuhan yang terakhir maka daun akan terpilin; daun patah dan memperlihatkan penghitaman pada jaringan pembuluh (Boron).

D. Tunas terminal tetap hidup, terjadi klorosis daun pucuk atau bagian atas, dengan atau tanpa bercak nekrosis, pembuluh berwarna cerah atau hijau gelap.

- 1) Daun muda dengan bercak nekrosis menyebar di seluruh daun yang klorosis, cabang pembuluh terkecil cenderung tetap hijau, menimbulkan pengaruh yang bisa diamati. (Mangan).
 - 2) Daun muda tanpa bercak nekrosis, klorosis bisa atau tidak melibatkan pembuluh sehingga mengakibatkan daun berwarna terang. (.....)
- E. Daun muda dengan pembuluh atau warna hijau cerah atau kegelapan yang sama seperti jaringan intervenial. Berwarna hijau terang, tidak pernah putih atau kuning. Di bawah tidak mengering. (Sulfur/belerang).
- F. Daun muda mengalami klorosis, pembuluh utama berwarna hijau yang lebih gelap daripada jaringan yang terletak diantara pembuluh angkut daun.
- 1) Keseluruhan daun menjadi berwarna kuning pucat/putih. (Fe)
 - 2) Terjadi *klorosis intervenial*
 - a) Pertumbuhan terminal terhambat dan membentuk “*roseta*”. (Zn).
 - b) “Mati bujang” di bagian ujung dan disepanjang tepi daun. (Cu).

KESIMPULAN

1. Unsur hara makro adalah unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak: nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), belerang (S), kalsium (Ca) dan magnesium (Mg). Dan juga karbon (C), hydrogen (H), dan oksigen (O), meski jarang dibicarakan karena kelimpahannya.
2. Unsur hara mikro yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit antara lain besi (Fe), boron (B), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu) dan *molybdenum* (Mo).
3. Jumlah energi yang dibutuhkan bagi penyerapan aktif unsur hara tanaman diperoleh dari respirasi karbohidrat yang terbentuk sebagai hasil dari fotosintesis tanaman.
4. Kekurangan unsur hara makro maupun mikro secara keseluruhan akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman, dengan gejala masing-masing yang terkadang memiliki kemiripan.

TUGAS MANDIRI

1. Jelaskan peranan unsur hara bagi proses pertumbuhan tanaman.
2. Jelaskan peranan unsur hara mikro dalam proses pertumbuhan tanaman.
3. Gambarkan dengan skema sederhana peran unsur N, P dan K dalam menyusun protein dalam tanaman.
4. Jelaskan ciri tanaman yang kekurangan unsur Mg dan bagaimanakah cara mengatasinya. Beri alasan mengapa unsur Mg penting bagi tanaman.
5. Jelaskan bagaimanakah keterkaitan proses penyerapan unsur hara dengan fotosintesis yang dilakukan tanaman.
6. Bedakan gejala nekrosis dan klorosis yang dialami tanaman yang kekurangan unsur hara tertentu.

TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah selesai mempelajari Bab V mengenai Kompetisi Intra dan Antar Spesies, diharapkan mahasiswa akan mampu untuk

1. Menjelaskan perbedaan kompetisi yang terjadi pada pertumbuhan tanaman baik intra spesies maupun antar spesies.
2. Menjelaskan akibat adanya kompetisi terhadap pertumbuhan tanaman
3. Menjelaskan faktor-faktor apasajakah yang dikompetisikan tanaman untuk menunjang pertumbuhannya.
4. Mengenali saat terjadinya kompetisi dan mampu mengatasi masalah yang terjadi akibat kompetisi tanaman.
5. Menganalisis banyak kejadian kompetisi dengan mengemukakan berdasarkan bukti dari hasil penelitian.

BAB V

KOMPETISI INTRA DAN ANTAR SPESIES

1. Pengertian Kompetisi

Tanaman di lapang tidak tumbuh terpisah antara individu melainkan dalam populasi dengan jarak yang rapat. Pada awal pertumbuhannya kompetisi yang terjadi belum terlalu terlihat karena masih cukup ruang untuk pertumbuhan tanaman, akan tetapi begitu tajuk tanaman atau perakaran tanaman saling bersentuhan dan terjadi “*overlapping*” maka pada saat itulah kompetisi terjadi. Kompetisi dapat didefinisikan sebagai perebutan yang terjadi antara individu tanaman dalam populasi terhadap sumber daya yang dibutuhkan tanaman (cahaya, air dan unsur hara), dimana tingkat ketersediaan sumber daya tersebut berada di bawah tingkat kebutuhan total dari individu-individu dalam populasi.

Kompetisi dapat terjadi antar individu tanaman dalam spesies yang sama dan antar spesies. Kompetisi antar jenis tanaman dalam pola tanam campuran atau tumpangsari dan kompetisi antar tanaman dengan gulma termasuk kompetisi antar spesies. Sedangkan kompetisi antar individu pada jenis atau spesies yang sama disebut kompetisi dalam spesies atau kompetisi intra spesies.

2. Kompetisi Intra Spesies

Kompetisi antar individu tanaman pada spesies yang sama dalam populasi biasa terjadi dilapang karena adanya pengaturan jarak tanam dan jumlah tanaman per lubang tanam untuk mendapatkan populasi optimum agar diperoleh hasil panen maksimum. Pada populasi optimum kompetisi bisa terjadi dan pertumbuhan serta hasil per individu tanaman berkurang karenanya, namun karena jumlah tanaman per hektar bertambah dengan meningkatnya populasi, maka hasil panen per hektar masih dapat meningkat.

Apabila jarak tanam terlalu rapat atau populasi terlalu tinggi, kompetisi antar individu tanaman akan berlangsung begitu kuat sehingga pertumbuhan dan hasil per tanaman akan sangat berkurang dan akibatnya hasil per hektar menurun. Sebaliknya bila jarak tanam terlalu renggang atau populasi terlalu rendah maka hasil per hektar akan rendah karena penggunaan lahan tidak efisien, banyak ruang antar tajuk

tanaman. Pada populasi yang sama tingkat kompetisi dapat dikurangi dengan mengatur model jarak tanam.

Tanaman bersaing terhadap sumber daya yang berada pada lingkungan di atas dan di dalam tanah. Sebagai akibat dari proses pertumbuhan tanaman, tajuk tanaman akan semakin berkembang sehingga terjadi pengaruh saling menaungi di antara daun-daun yang ada. Kompetisi terhadap cahaya matahari akan terjadi pada keadaan ekstrim (indeks luas daun yang tinggi) mengakibatkan penerimaan cahaya matahari oleh daun-daun bagian bawah begitu rendah sehingga hasil fotosintesis tidak mencukupi untuk kebutuhan proses respirasi. Daun-daun tersebut bersifat negative, yang karena untuk kebutuhan hidupnya terpaksa harus mengambil karbohidrat hasil fotosintesis dari daun-daun yang ada di sebelah atasnya.

Kenyataan di lapang menunjukkan bahwa kompetisi terhadap cahaya matahari ini merupakan faktor yang paling penting dalam kaitannya dengan pengaturan populasi dan model jarak tanam karena intensitas cahaya matahari yang jatuh pada dasarnya sudah pasti adanya. Kompetisi terhadap air dan unsur hara dapat dengan relative mudah diawasi dan diatasi, karena berapapun rapatnya jarak tanam masalah itu akan dapat diatasi melalui irigasi dan pemupukan. Akan tetapi hal ini tidak bisa untuk cahaya matahari.

Kompetisi terhadap CO₂ sering pula terjadi di lapang, meskipun bukan merupakan faktor kritis. Kompetisi terhadap CO₂ biasanya terjadi bila tajuk tanaman sangat rapat, sehingga sirkulasi udara kurang lancar dan hal ini terjadi apabila keadaan iklim mikro tidak ada angin pada siang hari dimana intensitas cahaya matahari tinggi. Dengan intensitas cahaya yang tinggi laju fotosintesis akan meningkat sehingga dibutuhkan yang CO₂ banyak.

Kompetisi terhadap faktor dalam tanah sering menjadi masalah yang penting meskipun penanganannya tidak sesulit faktor cahaya dan CO₂ yang sudah pasti adanya dan tidak bisa ditambah jumlahnya dalam kondisi di lapang. Akar-akar tanaman dalam tanah yang berdekatan akan mengadakan kompetisi terhadap air dan unsur hara, bila faktor-faktor tersebut terbatas jumlahnya. Namun bila irigasi berjalan lancar dan pupuk tersedia dalam jumlah banyak, tentunya kompetisi terhadap air dan unsur hara tersebut dapat diatasi betapapun rapatnya jarak tanam. Dalam keadaan demikian kompetisi terhadap cahaya matahari dan CO₂ sulit diatasi.

Masih sering terjadi perbedaan pendapat terhadap hubungan populasi tanaman dengan faktor tumbuh yang tersedia, terutama untuk faktor dalam tanah. Sebagai contoh, hubungan antara populasi tanaman dengan ketersediaan unsur hara dalam tanah (kesuburan tanah atau dosis pupuk). Telah disepakati bahwa populasi tanaman atau jarak tanam optimum pada dasarnya terjadi bila tajuk dan atau akar tanaman saling bersinggungan. Jarak tanam yang terlalu rapat akan terjadi pengaruh saling menaungi di antara tajuk tanaman sehingga penggunaan lahan tidak efisien.

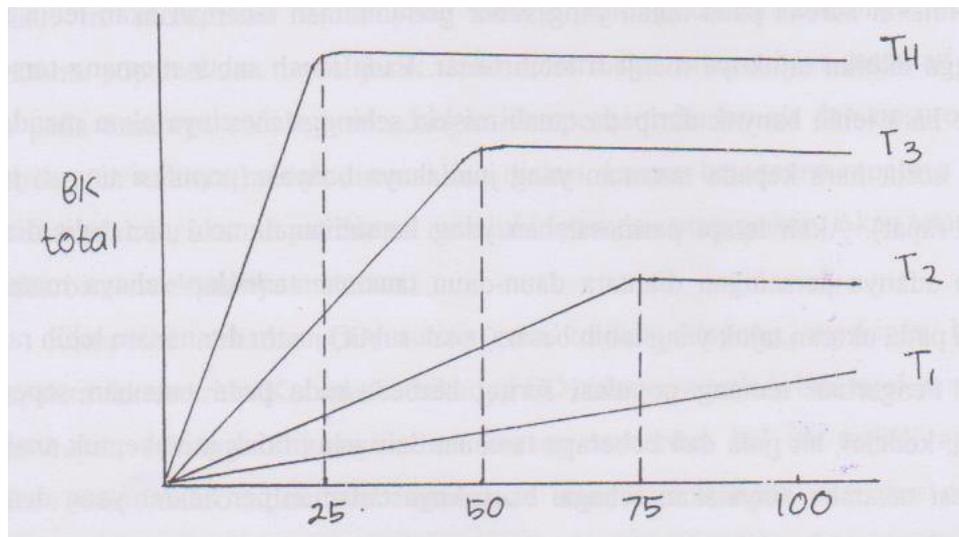
Dengan demikian untuk mendapatkan keadaan dimana tajuk tanaman saling bersinggungan harus diketahui atau tidaknya atau setidaknya diprediksi seberapa besar ukuran tajuk suatu tanaman atau varietas dalam kaitannya dengan faktor lingkungan tumbuh dan pengelolaan yang ada. Misalnya jarak tanaman jagung hibrida tentu lebih besar daripada varietas lokal, karena ukuran tajuknya lebih besar. Demikian halnya pada jenis tanaman dan varietas yang sama, misalnya sama-sama varietas *hibrida*, atau jarak tanam pada tanah yang subur akan lebih lebar daripada tanah miskin karena pada tanah yang subur pertumbuhan tanaman akan lebih baik sehingga ukuran tajuknya menjadi lebih besar. Pada tanah subur memang tersedia unsur hara lebih banyak daripada tanah miskin sehingga mestinya akan mendapat suplai unsur hara kepada tanaman yang jumlahnya banyak (populasi tinggi/jarak tanam rapat). Akan tetapi permasalahan yang kemudian muncul dan sulit diatasi adalah adanya persaingan diantara daun-daun tanaman terhadap cahaya matahari karena ukuran tajuk yang lebih besar (tanah subur) justru ditanam lebih rapat.

Pengertian tentang populasi sering berbeda-beda pada tanaman seperti: jagung, kedelai, bit gula dan beberapa tanaman lain yang tidak membentuk anakan. Populasi tanaman dinyatakan sebagai banyaknya tanaman per hektar yang dengan mudah dapat dihitung berdasarkan jarak tanam dan banyaknya tanaman per lubang tanam. Akan tetapi untuk tanaman rumput-rumputan, seperti padi dan tebu yang membentuk anakan, maka perhitungan populasi tanaman yang sebenarnya tidak semudah seperti pada tanaman yang tidak membentuk anakan. Disini jumlah anakan yang terbentuk semestinya dihitung karena terkait erat dengan hasil dari tanaman tersebut. Demikian pula dengan tanaman kentang dimana penghitungan populasi berdasarkan banyaknya umbi bibit yang digunakan, padahal banyaknya hasil panen sangat tergantung pada banyaknya jumlah batang yang terbentuk.

Pengaruh Populasi Tanaman

Dalam kaitannya dengan populasi, ada dua aspek kompetisi yang sangat penting dalam menentukan besarnya hasil tanaman yaitu : jumlah atau intensitas kompetisi dan kapan saat terjadinya kompetisi.

Gambar 16 menunjukkan bahwa pada tahap awal pertumbuhan (T1) hasil tanaman yang diukur berat keringnya (BK) totalnya berbanding lurus dengan meningkatnya populasi. Disini hubungan antar populasi dan BK total masih linier. Pada tahap pertumbuhan selanjutnya (T2), hasil panen berbanding lurus dengan meningkatnya populasi sampai pada populasi 75, untuk kemudian peningkatan populasi dari 75 ke 100 tidak lagi diikuti oleh meningkatnya hasil tanaman. Demikian seterusnya sampai tahap pertumbuhan selanjutnya (T3 dan T4) yang masing-masing terdapat hubungan linier antara populasi dan hasil tanaman sampai pada populasi 50 dan 25, dimana peningkatan populasi setelah itu tidak dapat meningkatkan hasil tanaman.

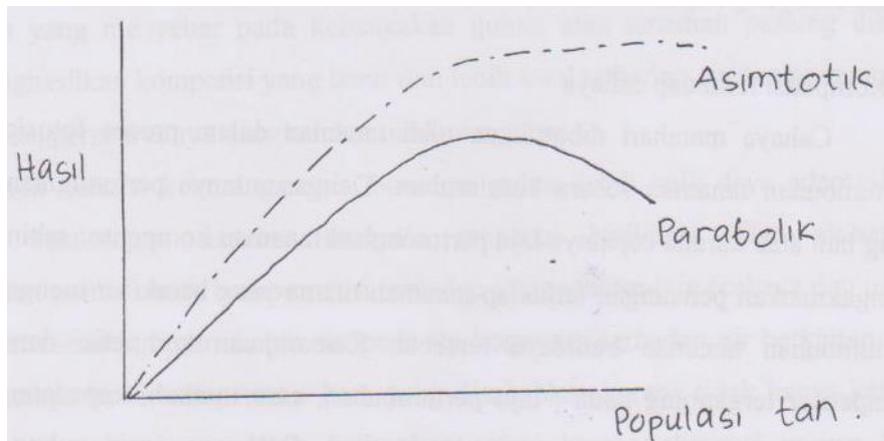


Gambar 18. Hubungan Antara Populasi Tanaman dan Berat Kering Total pada Berbagai Periode Pertumbuhan Bahan Tanaman

Gambar 18 menjelaskan bahwa hasil tanaman hanya dapat meningkat secara proporsional bila populasi tanaman masih di bawah 25 tanaman, dimana tajuk tanaman belum saling menutupi antar tanaman sehingga penangkapan energi matahari bisa maksimal. Hubungan ini menjelaskan bahwa kompetisi akan terjadi lebih awal bila populasi tanaman dalam satu luasan semakin besar.

Pada populasi yang lebih rendah, saat terjadinya kompetisi akan lebih lambat sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik. Namun bila populasi terlalu sedikit, kompetisi tidak akan terjadi sampai akhir pertumbuhan tanaman. Hal ini berarti pertumbuhan tanaman dan hasil panen per tanaman tinggi, akan tetapi hasil per satuan luas rendah karena sedikitnya jumlah tanaman yang ada pada luasan tersebut. Pentingnya penentuan populasi optimum dalam hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya ketidak efisienan tanah (lahan) pada populasi rendah atau untuk menghindari terjadinya kompetisi yang berat pada tingkat kepadatan populasi yang tinggi.

Saat terjadinya kompetisi dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu: *kecepatan pertumbuhan tanaman, susunan atau distribusi daun dan sistem percabangan*. Tanaman yang pertumbuhan awalnya cepat dengan distribusi daun memencar dan banyak bercabang akan lebih cepat berkompetisi bila dibandingkan dengan tanaman yang pertumbuhannya lambat serta tidak bercabang. Hubungan antara populasi dan hasil tanaman dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 19. Hubungan antara Populasi Tanaman dan Hasil Tanaman

Gambar 19 menjelaskan berbagai bentuk interaksi hubungan antara kerapatan atau populasi tumbuhan dalam satu luasan tertentu dengan hasil. **Pertama**, disebut hubungan asimtotik dimana peningkatan populasi tanaman akan diikuti oleh peningkatan dari hasil tanaman secara cepat untuk kemudian melambat dan setelah mencapai hasil maksimum (pada populasi optimum), maka peningkatan populasi tidak lagi diikuti oleh peningkatan hasil panen (garis datar). Hubungan seperti ini

banyak terjadi pada tanaman sayuran atau tanaman lain yang dipanen terutama bagian vegetatifnya.

Kedua, hubungan parabolik dimana setelah mencapai hasil maksimum, peningkatan populasi setelah itu justru akan terjadi penurunan hasil. Tanaman biji-bijian, buah-buahan dan umbi-umbian termasuk golongan ini. Penurunan hasil panen disebabkan karena pada populasi yang terlalu tinggi, maka kompetisi antara daun-daun terhadap cahaya matahari begitu besar sehingga banyak daun-daun yang berkembang menjadi daun-daun negatif.

Pertumbuhan tanaman dan hasil panen per individu tanaman menunjukkan trend yang sebaliknya. Pertumbuhan tanaman dan hasil per tanaman tidak pernah meningkat dengan bertambahnya populasi. Pada mulanya garis mendatar karena kompetisi belum terjadi untuk selanjutnya menurun drastis dengan meningkatnya populasi.

Kompetisi antar spesies

Kompetisi antar spesies terjadi antar jenis tanaman (2 jenis tanaman budidaya atau lebih) yang ditanam secara bersamaan pada satu lahan yang sama. Selain kompetisi juga bisa terjadi antar tanaman yang dibudidayakan, kompetisi juga dapat terjadi dengan gulma yang berada di areal sekitar pertumbuhan dan mengganggu pertumbuhan dari tanaman budidaya itu sendiri.

Kompetisi yang terjadi bisa meliputi:

1) Kompetisi terhadap cahaya

Cahaya matahari dibutuhkan oleh tanaman dalam proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan. Dengan adanya pertumbuhan tanaman yang lain atau karena cepatnya laju pertumbuhan tanaman kompetitor sehingga dapat mengakibatkan penaanngan terhadap tanaman utama yang berakibat mengurangi laju pertumbuhan tanaman budidaya tersebut. Kemampuan kompetisi dari tanaman kompetitor tergantung pada: laju pertumbuhan, cara tumbuh, kepadatan dan saat dimulainya pertumbuhan tanaman kompetitor. Beberapa jenis gulma semusim mempunyai laju pertumbuhan yang cepat, sehingga dapat memulai kompetisi terhadap cahaya lebih cepat.

Cara tumbuh tanaman kompetitor juga merupakan faktor yang penting yang perlu diperhatikan. Tanaman pesaing yang tumbuh lemah pada pertumbuhan yang tumbuh tegak akan memberikan sedikit kompetisi terhadap cahaya. Sebaliknya tanaman pesaing yang tumbuh tegak dan kuat pada pertumbuhan yang tumbuhnya lambat dan mendatar akan memberikan kompetisi yang kuat. Namun demikian, kenyataan di lapang, pengaruh dari cara tumbuh tanaman kompetitor ini tidaklah dapat dilihat secara terpisah. Hal ini dikarenakan pengaruh tingkat kompetisi terkait dengan kepadatan dan saat tumbuh tanaman kompetitor dalam kaitannya dengan pertumbuhan tanaman budidaya.

Kepadatan gulma atau tanaman kompetitor dalam bandingannya dengan kepadatan tanaman budidaya jelas akan berpengaruh terhadap tingkat dan saat dimulainya kompetisi terhadap cahaya. Populasi tanaman kompetitor yang lebih cepat menyebabkan kompetisi lebih cepat pula terjadi. Dalam hal ini kompetisi tidak hanya terjadi antara individu tanaman saja, tetapi kompetisi juga terjadi dengan gulma yang ada di areal pertumbuhan tersebut.

2) Kompetisi terhadap air

Air merupakan komponen penting bagi pertumbuhan tanaman dan berpengaruh pula terhadap hasil tanaman yang bersangkutan. Kemampuan gulma untuk bersaing terhadap air banyak ditentukan oleh tingkat dan efisiensi penggunaannya yang dalam hal ini sangat terkait dengan laju tumbuh gulma dan juga laju pertumbuhan akarnya. Pertumbuhan akar yang cepat dan dalam serta distribusi perakaran yang menyebar pada kebanyakan gulma atau tanaman pesaing dikotil akan menghasilkan kompetisi yang berat dan lebih awal terhadap air dan pertumbuhan yang sistem perakarannya dangkal dan tidak menyebar.

Pada kondisi kekurangan air, biasanya gulma lebih baik daya adaptasinya terhadap kekurangan tersebut daripada tanaman budidaya. Dan akibatnya kemampuan gulma untuk berkompetisi terhadap faktor-faktor lain (cahaya dan unsur hara) akan semakin besar. Lebih daripada itu kompetisi terhadap air berkaitan erat dengan kompetisi terhadap unsur hara yang disebabkan karena tidak hanya karena pertumbuhan gulma yang lebih baik akan tetapi karena absorpsi unsur hara tergantung kepada aliran air ke permukaan akar juga.

3) Kompetisi terhadap unsur hara

Pada umumnya gulma menyerap unsur hara lebih cepat dan lebih besar jumlahnya daripada tanaman budidaya, sehingga dapat mengurangi jumlah unsur hara yang tersedia bagi tanaman tersebut. Pemberian pupuk kepada tanaman akan memberikan pengaruh bila di situ banyak tumbuh gulma atau tanaman pengganggu lainnya. Hasil penelitian pada tanaman gandum menunjukkan bahwa penurunan hasil panen akan semakin besar dengan semakin meningkatnya dosis pupuk bila pada areal pertumbuhannya terdapat gulma "*black bind*" (*polygonum convolvulus*) dengan populasi yang tinggi. Contoh penelitian lain pada tanaman gandum yang berkompetisi dengan sejenis gandum liar (*Avena fatua*) dimana kedua tanaman tersebut mempunyai respon yang sama terhadap pupuk, maka dengan meningkatnya dosis pupuk yang diberikan tidak memperbesar penurunan hasilnya. Hal ini bisa dimungkinkan karena tanaman kompetitornya (*avena fatua*) hanya sedikit berkompetisi dengan tanaman budidaya.

Cara tumbuh tanaman kompetitor dan gulma juga merupakan faktor penting dalam persaingan terhadap nutrisi. Gulma yang tumbuh lemah dan horizontal pada umumnya mempunyai daya saing lebih kuat terhadap unsur N daripada gulma yang tumbuh tegak yang mempunyai daya saing kuat terhadap cahaya.

Kompetisi gulma dan tanaman kompetitor terhadap unsur P dan K pada dasarnya sama dengan unsur N, namun biasanya gulma kurang peka terhadap kandungan P dan K yang rendah dalam tanah meskipun gulma cukup respon terhadap pemberian unsur-unsur tersebut. Kompetisi gulma terhadap unsur hara merupakan hal yang kompleks dan membutuhkan penelaahan yang cermat, mengingat hal ini sering menjadi masalah serius di lapang.

Ada sejumlah bukti yang perlu mendapat perhatian kita bersama, bahwa beberapa jenis gulma merupakan pesaing kuat terhadap cahaya, air dan unsur hara sekaligus sehingga besarnya hasil dari tanaman sangat ditentukan oleh tingkat dan lamanya persaingan gulma dengan tanaman tersebut.

KESIMPULAN

1. Kompetisi adalah perebutan yang terjadi antara individu tanaman dalam populasi terhadap sumber daya yang dibutuhkan tanaman (cahaya, air dan unsur hara), dimana tingkat ketersediaan sumber daya tersebut berada di bawah tingkat kebutuhan total dari individu-individu dalam populasi.
2. Kompetisi dapat terjadi antar individu tanaman dalam spesies yang sama dan antar spesies.
3. Saat terjadinya kompetisi dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu: *kecepatan pertumbuhan tanaman, susunan atau distribusi daun dan sistem percabangan.*
4. Kompetisi antar spesies terjadi antar jenis tanaman (2 jenis tanaman budidaya atau lebih) yang ditanam secara bersamaan pada satu lahan yang sama. Kompetisi juga dapat terjadi dengan gulma yang berada di areal sekitar pertumbuhan.
5. Kompetisi yang terjadi bisa meliputi: a) Kompetisi terhadap cahaya, b) Kompetisi terhadap air, c) Kompetisi terhadap unsur hara

TUGAS MANDIRI

1. Jelaskan pengertian kompetisi yang terjadi pada areal pertumbuhan tanaman.
2. Jelaskan perbedaan kompetisi intraspesies dan antar spesies.
3. Jelaskan kompetisi yang terjadi antara tanaman budidaya dengan gulma, dan analisislah bagaimana akibatnya bagi pertumbuhan tanaman budidaya tersebut.
4. Jelaskan kapan dimulainya kompetisi pada areal tanah yang ditanami oleh dua jenis tumbuhan budidaya yang berbeda.
5. Jelaskan kapan dimulainya kompetisi terhadap cahaya, air, dan unsur hara dimulai.
6. Jelaskan mengapa karbondioksida sebagai kebutuhan utama dalam proses fotosintesis tidak menjadi unsur yang dikompetisikan.

TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah mempelajari Bab VI mengenai Hubungan Mikroorganisme Penambat Nitrogen terhadap Pertumbuhan Tanaman, diharapkan mahasiswa mampu

1. Menjelaskan pentingnya hubungan simbiosis mutualisme antara mikroorganisme penambat Nitrogen dengan pertumbuhan tanaman.
2. Menjelaskan peranan Nitrogen sebagai salah satu unsur hara makro yang kebutuhannya merupakan keharusan bagi pertumbuhan tanaman.
3. Menjelaskan alasan mengapa Nitrogen terkadang menjadi faktor pembatas pertumbuhan meskipun jumlahnya berlimpah di alam.
4. Menggambarkan proses terbentuknya bintil akar sebagai indikator terbentuknya simbiosis mutualisme antara tumbuhan dengan bakteri penambat nitrogen.
5. Membedakan proses fiksasi unsur nitrogen pada tumbuhan *legume* maupun *non legume*.

BAB VI

HUBUNGAN MIKROORGANISME PENAMBAT NITROGEN DAN PERTUMBUHAN TANAMAN

Empat unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman adalah C, H, O dan N, empat unsur tersebut juga paling banyak ditemui dalam jaringan tubuh tanaman. Tiga unsur pertama mudah tersedia bagi tanaman, terutama dalam bentuk CO₂, H₂O dan O₂. Namun nitrogen sebagai penyusun utama protein relatif tidak tersedia bagi tanaman meski molekul nitrogen ada 80% dari total unsur yang ada di atmosfer. Hal ini dikarenakan pada umumnya nitrogen di atmosfer bersifat “*inert*” dan tidak bisa langsung digunakan oleh tanaman. Sebagai pengganti, tanaman harus bergantung pada sejumlah kecil senyawa N yang terdapat dalam tanah, terutama yang berbentuk ion bagi nitrat dan amonium.

Sejumlah proses penting bagi pengakumulasian N, baik pada lingkungan darat maupun lautan, diantaranya termasuk dekomposisi batuan yang mengandung N, konversi elektronika nitrogen molekuler di atmosfer selama terjadinya petir dan fiksasi N secara hayati.

Akumulasi N tersedia, biasanya diperoleh lewat:

1. dekomposisi batuan
2. konversi elektrokimia nitrogen molekuler di atmosfer saat petir
3. fiksasi N secara hayati oleh tanaman

Fiksasi N secara hayati demikian rupa merupakan sumber pokok senyawa N. Diduga bahwa sekitar 100 juta ton senyawa N terikat di permukaan bumi setiap tahun dan 90% diantaranya difiksasi secara hayati. Dalam pengertian kepentingannya bagi produktivitas hayati, fiksasi N hanya menduduki tempat kedua setelah fotosintesis, dan seperti fotosintesis, fiksasi N hanya bisa dilakukan oleh tanaman.

Fiksasi N secara hayati telah dilaporkan terjadi pada berbagai jenis organisme, baik organisme yang hidup bebas maupun bentuk simbiosis antara jasad renik dan tanaman tinggi terutama dari jenis legume (kacang-kacangan). Dalam lingkungan ekstrim, fiksasi N telah terbukti bisa terjadi pada suhu 0⁰C di daerah Artik oleh alga biru hijau (*Nostoc*) dan pada suhu 55⁰C pada musim panas alga biru hijau (*Mastigocladus*).

Fiksasi Nitrogen Pada Organisme Yang Hidup Bebas

Organisme hidup bebas yang punya kemampuan mengikat N_2 di atmosfer termasuk berbagai jenis bakteri dan alga biru hijau. Pada umumnya, bakteri pengikat N bersifat heterotrof anaerobic, misalnya *Clostridium* dan *Derxia*. Tetapi ada pula yang bersifat heterotrof aerobic, contoh yang terkenal diantaranya adalah *Azotobakter* dan *Aerobacter*. Kebanyakan bakteri terletak di sekitar daerah *rhizosphere* yaitu lingkungan di sekitar perakaran tanaman dan memanfaatkan sisa-sisa akar serta hancuran jaringan tanaman sebagai media/substratnya.

Beberapa bakteri fotosintesis yang hidup pada endapan danau dangkal anaerobik juga bisa mengikat N, akan tetapi tidak terlalu banyak. Sumbangan bakteri hidup bebas bagi kekayaan N tanah sangat bervariasi dan perkiraan jumlah N yang diikat per tahun berkisar dari nol hingga di atas 70 kg/ha, tergantung pada kondisi lingkungan. Beberapa percobaan yang dilakukan di Brisbane Australia menunjukkan bahwa laju fiksasi tertinggi hingga 25 kg per ha per tahun terdapat di daerah perakaran rumput ternak. Jumlah ini walaupun tidak tinggi, namun amat berguna pada kondisi tertentu. Juga terdapat bukti bahwa fiksasi N oleh bakteri pada lapisan atas lantai hutan amat penting bagi keseimbangan nitrogen untuk hutan hujan tropis.

Lebih dari 40 jenis spesies alga biru hijau didapati mampu mengikat N. Semuanya berfilamen dan termasuk ke dalam ordo *N stocales* dan ordo *stigonematales*. Alga biru hijau mempunyai kepentingan khusus dalam neraca keseimbangan N di lautan dan di rawa serta daerah tergenang di daratan. Dari segi kepentingan pertanian, diketahui bahwa alga pengikat N banyak terdapat di persawahan di Indonesia dan memberi sumbangan nyata bagi penyediaan N tanaman padi. Estimasi terhadap jumlah N yang difiksasi di lahan sawah adalah sekitar 30 – 50 kg/ha/tahun.

Sebagai tambahan bagi bakteri heterotrof dan alga biru hijau, sejumlah organisme lain diantaranya: Aktinomisetes, cendawan dan ragi yang diperkirakan juga bisa mengikat N, namun masih membutuhkan penelitian lanjutan.

Fiksasi Nitrogen Secara Simbiotik Dengan Tanaman Bukan Legume

Suatu hubungan simbiotik antara dua bentuk kehidupan berarti bahwa keduanya memperoleh keuntungan dengan adanya kerjasama tersebut. Hal ini berbeda dengan hubungan parasitic dimana salah satu diantaranya meruapakan inang

sehingga merugikan tanaman yang lain. Pada simbiosis pengikatan N, salah satu organisme memberikan suatu makanan yang berupa hasil fotosintat yang cocok bagi pasangannya dan sebaliknya tanaman utama menerima N yang difiksasi. Simbiosis legume dan *Rhizobium* sedemikian jauh merupakan yang terpenting dalam konteks produksi tanaman pertanian. Namun demikian, simbiosis pengikatan N oleh tanaman bukan legume bagi keseimbangan ekosistem hingga kini tetap diakui peranannya.

Sejumlah non-legume yang selalu meningkat jumlahnya didapati turut menunjang fiksasi N simbiotik. Mereka termasuk Angiospermae maupun Gymnospermae, yang biasanya membentuk sejumlah bintil akar yang nampaknya mirip dengan bintil akar yang dibentuk oleh tanaman legume.

Walaupun beberapa simbion telah tercatat dalam kelompok tanaman pengikat N non legume, identifikasi yang teliti masih sulit dilakukan karena beberapa jenis bintil akar tidak dapat diisolir secara baik dalam kultur di laboratorium. Pada beberapa genera seperti *Alnus* dan *Myrica*, indofit bintil nampaknya berupa *aktinomicetes* berfilamen. Organisme ini menyerang daerah kortikal bintil, lebih daripada jaringan intra faskuler seperti pada legume.

Sumbangan nitrogen dari *angiospermae* penambat N non legume cukup besar dan istimewa terhadap N yang diikat oleh *Alnus* dan *Hippophae* melampaui 150/kg ha per tahun. Spesies tersebut berperan penting dalam kolonisasi awal bagi tanah yang kekurangan N seperti pada daerah tererosi dan gurun pasir. Sedangkan berdasarkan perkembangan penelitian saat ini, ternyata sumbangan N dari *Gymnospermae* termasuk kecil.

Fiksasi Nitrogen Secara Simbiotik Dengan Tanaman Legume

Simbiosis *Legume-Rhizobium* penambat N sedemikian jauh paling banyak diteliti dan dibahas. Fenomena ini juga memiliki kepentingan terbesar bagi manusia dalam produksi pertanian, karena spesies legume banyak digunakan, baik sebagai hijauan ternak maupun tanaman pangan. Peranan penting legume, baik sebagai pakan maupun pangan merupakan akibat langsung dari kemampuan menambat nitrogen. Pada sistem kultur padangan, legume ditanam bersama rumput-rumputan. Legume akan memberikan hijauan yang mengandung protein tinggi dan juga dapat memenuhi kebutuhan N nya sendiri. Banyak dari N ini yang menjadi tersedia bagi rumput-

rumpunan selama perombakan sisa legume. Oleh karenanya legume memberikan sumbangan N yang penting kepada sistem padangan rumput ternak.

Demikian pula legume berbiji dapat memberikan sumbangan N yang nyata bagi sistem pertumbuhan. Contoh, tanaman legume berbiji yang berbintil, mampu menambat kebutuhan N nya sendiri di samping menghasilkan biji yang berprotein tinggi. Sisa-sisa tanaman legume yang berupa daun, akar, batang dan bintil relative lebih kaya N akan dibandingkan tanaman non-legume seperti jagung atau shorghum. N ini kemudian dibebaskan dalam tanah melalui perombakan sisa-sisa tanaman dan memberikan sumber N yang cepat tersedia bagi tanaman berikutnya.

Laju perombakan sisa tanaman bergantung kepada sejumlah faktor seperti: kadar air tanah, suhu dan jumlah N dalam bahan tanaman. Suhu tinggi, kadar lengas tanah dan N yang tinggi mendorong aktivitas jasad renik heterotropik yang bertanggung jawab pada pemakaian selulosa dan hemiselulosa sel tanaman di dalam tanah dan kesemua faktor tersebut menunjang perombakan secara tepat. Kadar N pada sisa-sisa tanaman juga dipengaruhi oleh ketersediaan N dalam tanah segera setelah perombakan. Hasil penelitian menunjukkan:

- Untuk tanaman dengan kadar N tinggi ($> 1,5\%$ N) terurai, pelepasan bersih N berbentuk ion ammonium, serta jumlah N yang ada dalam tanah akan tersedia untuk tanaman lain, termasuk mikro flora yang ada dalam tanah.
- Untuk tanaman dengan kadar N rendah ($< 1,2\%$ N) seperti pada tanaman non legume, ketersediaan N dalam tanah rendah dan hanya diserap oleh mikro flora dalam tanah saja. Bahkan kondisi ini bisa mengurangi ketersediaan N untuk tanaman berikutnya.

Sumbangan N oleh legume berbintil bagi kultur padangan dan sistem pertumbuhan amat beragam tergantung pada spesies dan kondisi lingkungan. Pada sistem padangan iklim sedang fiksasi N berkisar antara 150 – 200 kg N/ha/tahun. Di daerah sub tropis dan tropis dimana bisa terjadi pertumbuhan sepanjang tahun dengan irigasi, diperkirakan fiksasi N jauh lebih besar yaitu lebih dari 400 kg N/ha/tahun. Masa pertumbuhan tanaman semusim lebih pendek daripada tanaman padangan dan jumlah yang ditambat lebih kecil. Perkiraan penambatan N pada kedelai misalnya, berkisar antara 80 – 160 kg N/ha/tahun.

Ada ketidakpastian tentang seberapa banyak N yang diberikan dalam tanah dari tanaman Legume yang menghasilkan biji, karena sejumlah besar N terdapat pada protein biji. Misalnya, sebanyak 200 kg N/ha dikandung biji dari 30 kg N/ha tanaman kedelai. Sekalipun demikian, jelas status N tanah lebih tinggi daripada yang diberikan oleh tanaman non-legume.

Kekhususan Legume Rhizobium

Beberapa strain bakteri Rhizobium tertentu terbatas untuk tanaman legume tertentu dengan mana bakteri bisa membentuk bintil dan umumnya bersifat khusus bagi suatu grup spesies legume yang sefamili. Akibatnya, beberapa strain *Rhizobium* telah dikelompokkan ke dalam berbagai “*spesies*” atau grup silang inokulasi, berdasarkan jenis tanaman yang dibintilkannya.

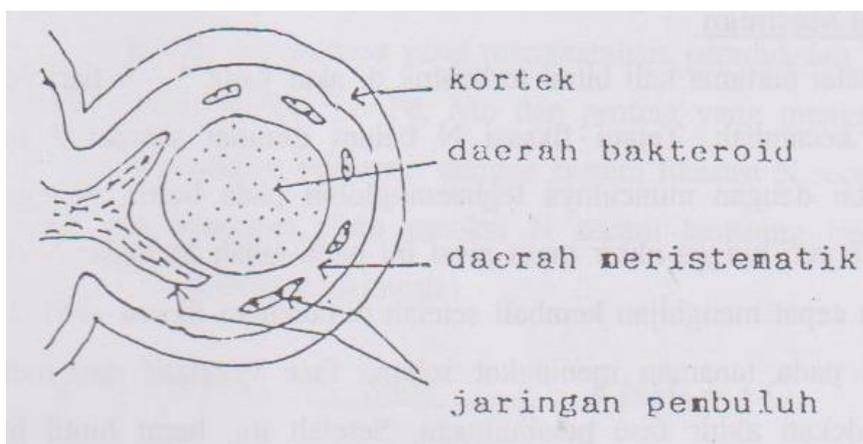
Tabel 8. Pengelompokkan Rhizobium Berdasarkan Jenis Tanaman yang Dinodulasi

GRUP	Sp. RHIZOBIUM	Sp. LEGUME
Lucerne	<i>Rh. Meliloti</i>	Lucerne (Medicago), Sweetclover (Melilotus)
Kapri	<i>Rh. Leguminosarum</i>	Kapri (Pisum), Kacang babi (Vicia), Beans (Lathyrus)
Kedelai	<i>Rh. Japonicum</i>	Kedelai (Glicine)
Bean	<i>Rh. Phaseoli</i>	Beberapa sp. Beans (Phaseolus)
Kacang panjang	<i>Rhizobium sp</i>	Kacang panjang, kacang hijau, kacang tanah, kacang gude, akasia

Ada beberapa contoh dimana beberapa strain *Rhizobium* bersifat “campuran”, karena mampu menodulasi jenis legume yang berada di luar grup silang inokulasinya. Misalnya, *Rhizobium japonicum* adalah spesifik untuk kedelai, namun ada beberapa laporan tentang sejumlah bintil kecil yang dibentuk oleh Rhizobium kacang panjang pada akar kedelai, meskipun nodulasi efektif pada kedelai tetap memerlukan kehadiran *Rhizobium japonicum* dalam tanah. Oleh karenanya diperlukan inokulasi benih kedelai dengan kultur *Rhizobium japonicum* sebelum ditanam pada suatu lahan dimana tidak pernah ditanami kedelai berbintil. Namun demikian, sekali bakteri ini bisa hidup di dalam tanah, maka bakteri tersebut akan bertahan selama beberapa tahun meskipun tanpa tanaman kedelai dan mempertahankan kemampuannya untuk menodulasi tanaman berikutnya.

Infeksi Akar dan Pembentukan Bintil Akar

Penginfeksi beberapa legume daerah sedang (misal: kedelai) terjadi melalui rambut akar, walaupun pada sejumlah legume tropis infeksi bisa langsung terjadi melalui sel epidermis.

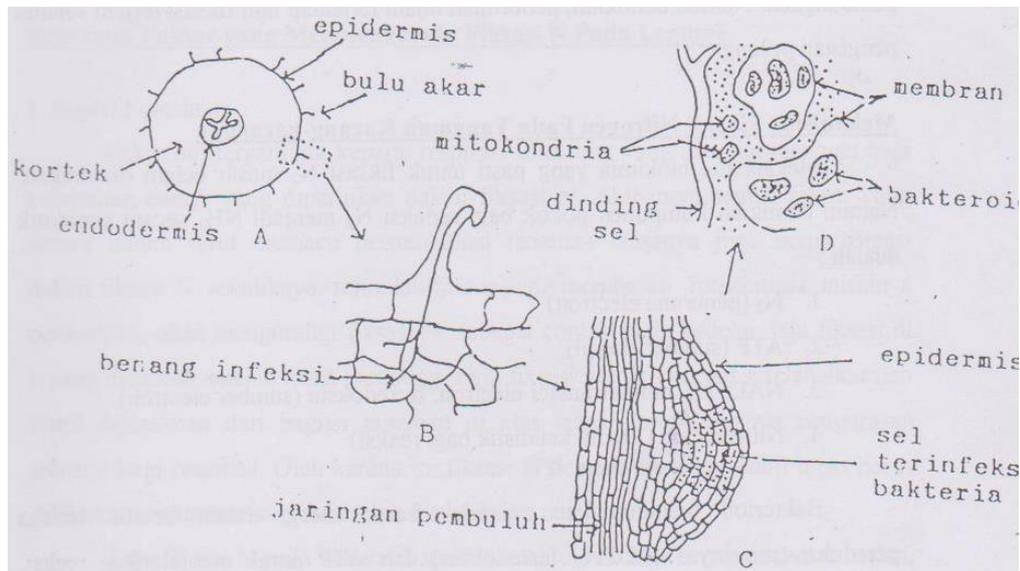


Gambar 20. Penampang Membujur Bintil Akar Tanaman Kedelai

Infeksi pada rambut akar (Gambar 20) biasanya di dahului dengan penggandaan *Rhizobia* yang terdapat dekat diujung akar diikuti dengan pengkerutan ujung guna membentuk semacam “kait”. Di sebelah dalam lekukan dinding sel rambut akar merenggang guna membentuk semacam benang infeksi serupa hifa melalui jalan dimana *Rhizobia* melintas. Selanjutnya benang infeksi tumbuh ke bawah melalui pangkal sel akar rambut dan masuk serta menyabang menuju sel-sel korteks akar.

Rhizobia dilepaskan ke dalam sitoplasma sel korteks yang kemudian mengalami proses hipertropi dan pembentukan sel yang mengakibatkan terjadinya bintil. Setelah lepas, *Rhizobium* berkembang biak dan memenuhi sel inang dan terpecah di seluruh bintil pada saat sel inangnya bermitosis. Pada tahap awal infeksi, bakteri *Rhizobium* berbentuk batang khas. Namun pada tahap akhir, bakteri *Rhizobium* berbentuk batang menjadi bakteroid yang berongga dan bisa bercabang atau berbentuk bintang pada beberapa spesies. Pada bintil kedelai, 4 – 6 bakteroid dikelompokkan bersama dalam suatu selaput yang berasal dari sel inang dan yang memisahkan bakteroid dari sitoplasma sel inang. Pigmen leghaemoglobin yang kemerahan menyelubungi bakteroid di dalam pembungkus ini. Bintil yang terbentuk

dicirikan oleh 4 daerah/bagian yang berlainan: *korteks bintil*, *daerah pembuluh*, *daerah meristematik* dan *daerah bakteroid* yang merupakan tempat berlangsungnya fiksasi N (gambar 21).



Keterangan:

- A = Penampang melintang akar muda
- B = bulu akar dengan benang infeksinya
- C = nodul yang baru terbentuk
- D = bakteroid dalam nodul yang sudah dewasa

Gambar 20. Perkembangan Nodul (bintil) pada Tanaman Kedelai

Pola Fiksasi Musiman

Pada kedelai pertama kali bintil terbentuk di akar pada 5 – 7 hari pertama setelah muncul kecambah. Tetapi fiksasi N belum dimulai sampai 2 minggu kemudian, disertai dengan munculnya *leghaemoglobin* pada bintil. Penguningan sementara bisa terjadi hingga akhir masa awal ini pada tanah berkadar N rendah, tetapi daun akan cepat menghijau kembali setelah dimulainya fiksasi aktif. Jumlah dan berat bintil pada tanaman meningkat selama fase vegetatif dan mencapai maksimum mendekati akhir fase pembungaan. Setelah itu, berat bintil hampir konstan hingga sebelum kemasakan dimana proses penuaan dan perombakan bintil terjadi secara cepat. Laju fiksasi N meningkat secara eksponensial selama masa dan sebelum saat berbunga, sesuai dengan kenaikan dalam produksi bahan kering tanaman pada saat itu. Puncak laju fiksasi tercapai hingga pada akhir pembungaan.

Namun demikian, penurunan tajam terhadap laju fiksasi terjadi selama pengisian polong pada kedelai.

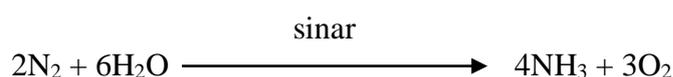
Mekanisme Fiksasi Nitrogen Pada Tanaman Kacang-kacangan

Mekanisme biokimia yang pasti untuk fiksasi N₂ masih belum ditemukan. Namun demikian komponen pokok bagi reduksi N₂ menjadi NH₃ secara simbiotik adalah;

1. N₂ (penerima elektron)
2. ATP (sumber energi)
3. NADPH₂, rantai transfer elektron, ferredoksin (sumber elektron)
4. Nitrogenase (Enzim katalistik bagi reaksi)

Bakteroid membutuhkan sejumlah besar energi dalam bentuk tenaga pereduksi (misalnya NADPH₂, ferredoksin) dan ATP untuk menjalankan reaksi. Energi ini diperoleh dari fotosintat yang disuplai oleh tanaman inang. Sukrosa, glukosa dan beberapa asam organik diangkut menuju bintil dan oksidasi tersebut di dalam bakteroid menghasilkan energi dasar (*oksidasi fosforilat*). Kesemua reaksi respirasi tersebut memerlukan O₂ tinggi, yang mempertegas peran *leghaemoglobin* disekitar bakteroid. Serupa dalam darah hewan menyusui, *leghaemoglobin* juga bertindak selaku “*carrier*” untuk mengikat O₂ secara bolak balik dan menunjang difusi O₂ menuju bakteroid.

Enzim *nitrogenase* yang mengkatalisis pereduksian N₂ tersusun atas 2 komponen, yakni protein ber-Fe, Mo dan protein yang mengandung Fe-Sulfida. *Nitrogenase* tampaknya berkaitan dengan sistem fiksasi N secara hayati. Namun demikian ada pendapat, foto reduksi N secara langsung bisa terjadi (contoh: fotoreduksi CO₂ selama fotosintesis):



Hasil penelitian menunjukkan bahwa NH₃ yang ditambat selama reduksi N₂ muncul pertama kali dalam asam glutamate. Oleh karenanya rangkaian C dimana NH pertama kali dilekatkan adalah ketoglutarat, yang terbentuk dari piruvat melalui siklus *krebs*.

Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Fiksasi N Pada Legume

1. Suplai fotosintat

Bakteroid tergantung pada respirasi fotosintat yang disuplai tanaman bagi kebutuhan energi yang diperlukan dalam fiksasi N. Akibatnya semua faktor yang secara umum turut memacu pertumbuhan tanaman biasanya juga berpartisipasi dalam fiksasi N. Sebaliknya, sejumlah faktor yang membatasi fotosintesis, misalnya panauangan, akan mengurangi fiksasi N. Sebagai contoh pada kedelai, laju fiksasi di lapang menurun setelah masa mendung. Laju fiksasi menurun cepat setelah akar dan bintil dipisahkan dari bagian tanaman di atas tanah karena adanya pengurasan substrat bagi respirasi. Oleh karena itu fiksasi N dengan memakai bintil lepas harus dilakukan sesegera mungkin setelah diambil dari tanah.

Laju fiksasi N pada beberapa spesies telah dibuktikan beragam secara harian, dimana puncaknya dicapai di awal siang hari sedangkan laju terendah terjadi saat sebelum matahari terbenam. Keragaman ini amat sesuai dengan adanya perubahan harian dalam laju fotosintesis.

2. Aerasi

Fiksasi N sangat peka terhadap kondisi tanah yang anaerobik karena terdapat kebutuhan akan O_2 yang besar bagi respirasi dalam bintil. Dibawah kondisi tergenang air, fiksasi N segera menurun setelah beberapa hari tanaman akan mengalami penguningan dan gejala kekurangan N yang lain. Setelah masa tergenang air yang panjang, bintil menua dan akan hancur seluruhnya. Beberapa bintil baru biasanya akan terbentuk segera setelah kondisi tanah yang aerobik dipulihkan, meskipun hal ini memerlukan persiapan selama tidak ada N yang difiksasi.

3. Suhu

Pengaruh suhu pada laju fiksasi N belum sepenuhnya diketahui. Namun demikian suhu ekstrim pada tanah di daerah bintil telah diketahui menghambat fiksasi. Pada legume daerah sedang suhu optimum bagi fiksasi berada dalam kisaran $20 - 25^{\circ}C$, mirip dengan kisaran optimum untuk pertumbuhan akar. Untuk beberapa legume tropis menunjukkan bahwa suhu optimum pada umumnya lebih tinggi, yakni berkisar antara $25 - 30^{\circ}C$.

Suhu ekstrim biasanya hanya berpengaruh pada beberapa centimeter lapisan tanah teratas. Legume ternodulasi nampaknya dapat meniadakan sejumlah pengaruh yang berkaitan dengan suhu ekstrim ini karena kumpulan bintil terdapat di bawah lapisan permukaan ini. Respon ini juga dapat mengurangi resiko kerusakan bintil selama masa kekeringan.

4. Air

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa fiksasi N dalam bintil amat peka terhadap cekaman air dan dalam kondisi lapang yang gersang, bintil bisa non aktif. Hasil percobaan menunjukkan bahwa dibutuhkan air yang cukup untuk memindahkan N terasimilasi dari bintil, karena keterbatasan air yang sangat lama akan dapat menimbulkan akumulasi ammonia serta penghambatan sintesis nitrogen.

5. pH tanah

Pembentukan bintil termasuk peka terhadap pH tanah pada beberapa jenis legume. Pada umumnya, legume daerah sedang lebih toleran terhadap tingkat pH tinggi, sedangkan legume tropis lebih toleran pada kondisi tanah masam. Legume daerah sedang biasanya dinodulasi oleh *Rhizobium* yang “cepat berkembang”, sedangkan legume tropis oleh *Rhizobium* yang “tumbuh lambat” walaupun terdapat beberapa perkecualian. Daya tahan kelompok “lambat tumbuh” pada umumnya lebih perkasa daripada kelompok “cepat tumbuh” pada kondisi tanah masam. Namun demikian, penelitian terakhir menunjukkan bahwa beberapa efek negatif pH tanah terhadap fiksasi N legume, baik daerah sedang maupun tropis tidak sesuai dengan dugaan semula.

Beberapa jenis kedelai dinodulasi oleh *Rhizobium* dari kelompok yang “lambat tumbuh” dan pH optimum bagi nodulasi dan fiksasi N adalah sekitar 6,5. Nodulasi dihambat, baik oleh kondisi tanah yang sangat masam ($\text{pH} < 4,5$) maupun sangat basa ($\text{pH} > 7,5$).

6. Ketersediaan Senyawa Nitrogen

Semua tahapan asosiasi simbiotik antara legume dan *Rhizobia*, termasuk inisiasi bintil, perkembangan bintil dan laju fiksasi N dihambat oleh meningkatnya ketersediaan N anorganik dalam tanah. Tanaman mengganti anorganik dari dalam

tanah untuk proses metabolismenya. Akibatnya legume kurang respon terhadap pemberian N dibandingkan yang terjadi pada spesies non-legume. Tetapi legume tak berbintil berespon positif terhadap N dan menunjukkan gejala kekurangan N, kecuali jika tersedia sejumlah cukup N anorganik dalam tanah.

Dua senyawa yang terdapat dalam bintil yang esensial bagi fiksasi N adalah *leghaemoglobin* dan enzim *nitrogenase* yang keduanya bertumpu pada ion anorganik dalam tanah untuk memfungsikannya.

Leghaemoglobin muncul awal dalam pembentukan bintil dan memberikan warna ungu yang khas pada bintil yang aktif. *Leghaemoglobin* mungkin bersifat carrier (seperti halnya haemoglobin dalam darah) yang mendorong suplai O₂ cukup bagi bakterioda untuk respirasi dan akibatnya dapat memberikan suplai ATP untuk fiksasi N. Suatu penyusunan *leghaemoglobin* yang penting adalah besi (Fe).

Enzim *Nitrogenase* yang mereduksi NO³⁻ menjadi NH⁴⁺ mengandung sulfida, Fe dan Mo. Suatu defisiensi dari beberapa unsur tadi akan mengurangi suplai enzim *nitrogenase* dan akibatnya membatasi fiksasi nitrogen.

Fosfor juga memiliki peran langsung dalam fiksasi N karena sumber energi bagi fiksasi adalah adenosine trifosfat (ATP). Sebagai tambahan defisiensi beberapa unsur lain yang mengurangi sintesa karbohidrat yang disuplai ke bakterioda, akan dapat menurunkan laju fiksasi N.

KESIMPULAN

1. Nitrogen sebagai penyusun utama protein relatif tidak tersedia bagi tanaman meski molekul nitrogen ada 80% dari total unsur yang ada di atmosfer, disebabkan nitrogen di atmosfer bersifat “*inert*” dan tidak bisa langsung digunakan oleh tanaman.
2. Fiksasi N secara hayati demikian rupa merupakan sumber pokok senyawa N.
3. Pola hubungan untuk mendapatkan sumber N dilakukan secara simbiotik mutualisme antara bakteri penambat N dengan tumbuhan legume maupun non legume.
4. Beberapa faktor yang mempengaruhi fiksasi N pada legume adalah a) Suplai fotosintat, b) Aerasi, c) Suhu, d) Air, e) pH tanah, dan f) Ketersediaan Senyawa Nitrogen
5. Terdapat banyak jenis strain rhizobium yang mampu menodulasi akar sehingga akan terbentuk bintil untuk melakukan fiksasi Nitrogen bagi kebutuhan tanaman.

TUGAS MANDIRI

1. Jelaskan pentingnya nitrogen bagi proses pertumbuhan tanaman.
2. Apakah yang dimaksud dengan fiksasi unsur N, dan jelaskan bagaimana proses fiksasi dapat dilakukan.
3. Jelaskan peranan bakteri *rhizobium* yang banyak berperan dalam pemenuhan kebutuhan nitrogen bagi pertumbuhan tanaman budidaya.
4. Gambarkan mekanisme terbentuknya bintil akar, sehingga tumbuhan terutama kedelai akan memiliki kemampuan untuk melakukan mekanisme fiksasi nitrogen.

TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah mempelajari Bab VII mengenai Atmosfir dan Pertumbuhan Tanaman, diharapkan mahasiswa mampu

1. Menjelaskan penyebab tingginya polusi yang terutama banyak terjadi di perkotaan
2. Menjelaskan kerusakan sehingga mengganggu proses pertumbuhan yang dialami oleh tumbuhan akibat tingginya polusi yang terjadi.
3. Menyampaikan solusi tepat berdasarkan teori cara efektif mengatasi masalah polusi yang dihadapi kota besar.

BAB VII

ATMOSFIR DAN PERTUMBUHAN TANAMAN

7.1. Pengertian dan Pemahaman tentang Atmosfir

Adaptasi tanaman terhadap lingkungan merupakan rekayasa secara khusus sifat-sifat karakteristik anatomi dan fisiologi untuk memberikan peluang keberhasilan menyesuaikan kehidupan di habitat tertentu. Oleh karena itu adaptasi anatomi dan fisiologi dapat dijadikan indikator terhadap perubahan lingkungan hidup tanaman (Soerodikusuma dan Hartika, 1989). Namun demikian jenis tumbuhan yang berbeda menunjukkan sensitifitas yang berbeda pula terhadap perubahan lingkungan bahkan terhadap bahan pencemar khususnya logam berat.

Polusi dapat berupa emisi gas ataupun berupa partikulat. Selain itu, polusi juga dapat berupa energi panas atau radiasi sinar, dan kebisingan. Salah satu partikulat dari emisi kendaraan bermotor adalah timbal (Pb). Tanaman mampu mengabsorpsi beberapa jenis polutan dengan efektif, sehingga dapat berperandalam membersihkan atmosfer dari polusi. Polutan terabsorpsi terikut dalam proses metabolisme. Namun demikian, keefektifan tanaman dalam menyerap polutan akan semakin berkurang dengan peningkatan konsentrasi polutan. Dampak lanjutannya adalah terganggunya fungsi tanaman dalam lingkungan, sehingga ketahanan tanaman terhadap tingkat polutan menjadi faktor yang penting dalam pemilihan jenis tanaman pereduksi Pb.

7.2. Respon Tanaman terhadap Udara Tercemar Pb.

Kondisi udara yang terpolusi akan mempengaruhi lingkungan, termasuk vegetasi pada lanskap yang ditanam untuk menjerap polutan. Menurut Mansfield (1976), sebagian besar bahan-bahan pencemar udara mempengaruhi tanaman melalui daun. Jaringan daun terdiri dari epidermis, mesofil, dan berkas pembuluh. Mekanisme tanaman untuk bertahan dari zat pencemar udara adalah melalui pergerakan membuka dan menutup stomata dan proses detoksifikasi. Masuknya partikel Pb ke dalam jaringan daun karena ukuran stomata yang cukup besar dan ukuran partikel Pb yang lebih kecil daripada ukuran stomata.

Timbal (Pb) masuk ke dalam daun melalui proses penjerapan pasif. Akumulasi Pb di dalam jaringan daun akan lebih besar daripada bagian lainnya. Jumlah kandungan Pb dalam suatu jenis tanaman bervariasi menurut organ (Dahlan, 1989). Partikel yang menempel pada permukaan daun berasal dari tiga proses yaitu (1) sedimentasi akibat gaya gravitasi (2) tumbukan akibat turbulensi angin, dan (3) pengendapan yang berhubungan dengan hujan. Celah stomata mempunyai panjang sekitar 10 μm dan lebar antara 2 – 7 μm , sedangkan ukuran Pb

yang demikian kecil, yaitu kurang dari 4 μm dan rerata 0,2 μm maka partikel Pb akan masuk ke dalam daun lewat celah stomata serta menetap dalam jaringan daun dan menumpuk di antara celah sel jaringan pagar/ palisade atau jaringan bunga karang (Smith, 1981).

Partikel Pb tidak larut dalam air, maka senyawa Pb dalam jaringan terperangkap dalam rongga antarsel sekitar stomata (Gambar 1). Logam Pb bersifat *amfoter* dan dalam suasana asam, Pb berupa ion Pb^{2+} dan sebaliknya pada suasana basa akan berubah menjadi $\text{Pb}(\text{OH})_4^{4-}$. Karena bersifat amfoter, maka Pb akan lebih berbahaya pada daerah yang mempunyai keasaman air hujan tinggi. Pada suasana asam, Pb larut membentuk ion Pb^{2+} dan menjadi lebih mobil jika dibandingkan ketika Pb saat masih dalam bentuk partikel. Tiap pohon mempunyai respon yang berbeda terhadap pencemarpencemar udara yang berbentuk gas atau partikel. Perbedaan tersebut tergantung jenis pohon dan juga susunan genetiknya. Faktor lain yang ikut berperan adalah tingkat pertumbuhan pohon, jarak terhadap sumber pencemar, konsentrasi bahan pencemar, dan lama terpapar. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pencemaran udara mengakibatkan menurunnya pertumbuhan dan produksi tanaman serta diikuti dengan gejala yang tampak (*visible symptoms*).

Kerusakan tanaman karena pencemaran udaraberawal dari tingkat biokimia (gangguan proses fotosintesis, respirasi, serta biosintesis protein dan lemak), selanjutnya tingkat ultrastruktural (disorganisasi sel membran), kemudian tingkat sel (dinding sel, mesofil, pecahnya inti sel) dan diakhiri dengan terlihatnya gejala pada jaringan daun seperti klorosis dan nekrosis.

Kerusakan tumbuhan oleh polutan pada umumnya meningkat seiring dengan peningkatan intensitas cahaya, kelembaban tanah dan kelembaban nisbi udara, suhu dan keberadaan polutan udara yang lain. Ozon yang terserap oleh daun melalui stoma menyebabkan kerusakan membran sel pada jaringan palisade dan jaringan yang lain. Misalkan zat *Peroxiasil nitrat* yang ada di udara jika terserap tumbuhan menyebabkan kerusakan jaringan parenkim pada daun.

Polusi udara yang terdapat di atmosfer sekitar tanaman antara lain dapat berupa: a. Sisa-sisa pembuangan dari kendaraan bermotor dan industri yang mengandung: CO_2 , debu, CO, SO_2 , NO dan NO_2 , b. *Smog*, yang berasal dari asap atau kabut yang banyak mengandung SO_2 dan O_3 , dan c. Residu dari penggunaan herbisida yang terbawa angin.

Begitu pentingnya masalah polusi udara ini di Indonesia, karena pada tahun 1985 saja di kota besar seperti Jakarta, Surabaya dan Bandung telah tercapai kadar CO dan SO₂ di udara yang melebihi batas toleransi yang diijinkan. Permasalahan polusi udara akibat penggunaan herbisida yang salah pernah pula terjadi dengan kerugian yang cukup besar dialami oleh suatu perusahaan perkebunan di Indonesia karena penggunaan herbisida oleh perkebunan lain tetangganya.

Beberapa kerusakan tanaman akibat polusi antara lain:

- a. Fotosintesis berkurang secara drastis setelah polusi terjadi selama 24 jam karena klorofil rusak. Terdapat bercak-bercak kuning kemudian coklat pada daun dan akhirnya daun akan gugur. Tanaman jeruk dan alpukat merupakan jenis yang peka terhadap polusi.
- b. Respirasi meningkat secara cepat (dijumpai pada tanaman jeruk).
- c. Pada tanaman kentang terbukti adanya gangguan terhadap permeabilitas membran sel dan bahkan membran pecah.
- d. Pertumbuhan tanaman secara keseluruhan akan terhambat.

Angin sebagai komponen atmosfer, dapat berpengaruh positif dan negatif terhadap tanaman tergantung pada kecepatan dan kondisi angin tersebut. Pengaruh positif, karena angin dapat membawa tepung sari dan membantu penyebaran biji, buah dan spora. Angin dapat membantu proses transpirasi juga. Angin lembab yang banyak mengandung uap air akan menguntungkan tanaman seperti tanaman cengkeh. Namun bila kecepatan angin terlalu tinggi, maka proses transpirasi bisa berlangsung berlebihan dan akibatnya tanaman akan kekurangan air. Keadaan ini juga menyebabkan stomata menutup pada siang hari, absorpsi CO₂ terhambat dan proses fotosintesis berkurang. Pertumbuhan tanaman terhambat dan hasil panen menurun. Kecepatan angin yang lebih tinggi lagi (angin kencang: 62 – 74 km/jam, badai : 89 – 102 km/jam, topan atau prahara : lebih dari 118 km/jam) dapat menyebabkan kerusakan fisik, misalnya daun robek, ranting dan dahan patah, batang tanaman roboh dan bahkan tercabut bersama dengan akarnya. Kerebahan pada tanaman padai sering terjadi karena pengaruh angin ini.

Perkiraan penurunan hasil sebagai akibat pengaruh angin yang berlebihan sulit dihitung di lapang. Akan tetapi dari hasil percobaan menunjukkan bahwa pada tanaman serelia (biji-bijian) yang diberi pelindung angin hasilnya meningkat antara

10 – 30 persen dibanding dengan tanaman yang tidak diberi pelindung. Percobaan yang sama pada tanaman kentang dan kedelai dapat meningkatkan hasil masing-masing antara 11 – 50 persen dan 4 – 22 persen.

Angin juga menyebabkan terjadinya erosi tanah pada musim kemarau. Pada tanah-tanah yang bertekstur ringan, kehilangan tanah karena erosi juga sering dibarengi oleh terbawanya benih tanaman dan kecambah. Hal ini sering terjadi pada daerah-daerah dekat pantai. Untuk menghindari hal ini, pemberian bahan kimia sering digunakan agar permukaan tanah menjadi stabil.

KESIMPULAN

1. Polusi udara yang terdapat di atmosfer sekitar tanaman dapat berupa: a. Sisa-sisa pembuangan dari kendaraan bermotor dan industri yang mengandung: CO₂, debu, CO, SO₂, NO dan NO₂, b. *Smog*, dan c. Residu penggunaan herbisida yang terbawa angin.
2. Beberapa kerusakan tanaman akibat polusi adalah, a) Fotosintesis berkurang secara drastis, b) Respirasi meningkat secara cepat, c) Gangguan permeabilitas membran sel, d) Pertumbuhan tanaman secara keseluruhan terhambat.
3. Faktor utama pembawa polusi sehingga menyebar dan mempengaruhi pertumbuhan tanaman adalah angin.

TUGAS MANDIRI

1. Jelaskan proses terjadinya polusi yang ada di atmosfer sehingga mampu mempengaruhi pertumbuhan tanaman.
2. Jelaskan kerusakan yang dapat terjadi pada tumbuhan apabila terpapar oleh zat-zat berbahaya akibat adanya polusi.
3. Jelaskan satu solusi yang menurut anda dapat mengatasi polusi meskipun tidak secara drastis mampu mengatasi masalah polusi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, E.J. 1978. Plant Density. In. P.M. Hartis (Edt). The Potato Crop. P. 279 – 326. Chapman and Hall. London.
- Aslam, M., S.B. Lowe, and L.A. Hunt. 1977. Effect of Leaf Age on Photosynthesis and Transpiration of Cassava CIAT, Centro de Documentacion.
- Awai, J. 1981. Inoculation of Soybean in Trinidad. Tropical Agric. (Trinidad). 58 : 313 – 318.
- Bagnal and King. 1991. Response of Peanut to Temperature. Photoperiode and irradiance. I & II. Field Crops Res. 26 : 263 – 293.
- Begg, J.E. 1979. Difference in Response of plant grow in controlled conditions and in the field. Phytotronic Newsletter. 18 : 81 – 84.
- Carlos, Peters. 1980. The Biology of Crop Productivity. Academic Press. New York, London, Toronto, Sydney, San Fransisco.
- Cowan, I.R. 1988. The Interception and absorpsion of radiation in plant stands. J. Appl. Ecol. 26 : 637 – 645.
- Donald, C.M. 1963. Competition Among Crop and Pasture Plants Advances in Agronomy. 15 : 1 – 118.
- Fagaria, N.K. 1989. Effect of Phosporus on Growth, Yield and Nutrition Acumulation in the Common Bean. Tropical agricul. (Trinidad). 66 : 249 – 255.
- Jumin, Hasan Basri. 1989. Ekologi Tanaman. CV Rajawali. Jakarta.
- Larcher, W. 1980. Physiological Plant Ecology. Second Edition. Springer – Verlag. Berlin Heidelberg, New York.
- Lukitasari, M. (2012) Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max*). Laporan penelitian.tidak dipublikasikan. IKIP PGRI Madiun.
- Lemour, R. 1983. Effect of Spatial Leaf Distribution on Penetration and Interception of Direct Radiation in Unesco (Edition). Ecology and Conversvation. 5. Proc. Uppsala. Symp. P. 349 – 355.



MARHENY LUKITASARI,

Lahir di Madiun pada 14 Mei 1974. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Klegen II Madiun, dilanjutkan di SMPN 1 Madiun, dan SMAN 1 Madiun. Pendidikan Sarjana ditempuh di Universitas Brawijaya Malang dan lulus tahun 1999. Penulis menjadi dosen sejak tahun 2000 dan masih aktif hingga sekarang di jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP PGRI Madiun. Penulis melanjutkan studi Pasca Sarjana di Universitas Negeri Malang dan lulus sebagai Magister Pendidikan Biologi di tahun 2011. Saat ini penulis sedang melanjutkan studi Doktor di Universitas yang sama. Selama menjadi dosen penulis aktif melakukan kegiatan ilmiah dengan mengadakan penelitian secara mandiri maupun teman sejawat. Penulis pernah lolos penelitian Dosen Muda yang diselenggarakan Dikti di tahun 2007 dan 2008 serta berperan aktif membimbing mahasiswa di ajang Program Kreatifitas Mahasiswa (PKM).

ISBN 978-979-19031-2-7



9 789791 903127