

K. 4. 10 94

# TUMBUHAN HIJAU



ALIH BAHASA

*Drs. Arlis*

NO. DAFTAR	25-10-94
SUMBER BAHAN	hvd
KOLEKSI	hwi
NO. DAFTAR	112/bu/94-62(2)
NO. DAFTAR	581 gni 12

BUKU INI DIPERBANYAK DENGAN BANTUAN  
DANA SPP/DPP FPMIPA IKIP PADANG  
TAHUN 1993/1994

INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
(IKIP) PADANG  
1993

## KATA PENGANTAR

Kami panjatkan do'a dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha kuasa yang telah memberi rahmat dan kekuatan kepada kami sehingga terjemahan yang semula terdiri dari 3 Bab, sekarang menjadi 6 Bab ini dapat diselesaikan.

Kami melihat buku-buku bacaan sehubungan dengan Biologi terutama sekali mengenai Fisiologi Tumbuhan yang dalam Bahasa Indonesia kurang ditemukan pada peredaran. Hal inilah yang mendorong kami untuk menterjemahkan buku dalam Bahasa Inggris yang berjudul :

**"THE GREEN PLANT" oleh Arthur W. Galston, 1968.**

Kami menyadari bahwa dalam terjemahan ini masih banyak terdapat kelemahan-kelemahan, kejanggalan-kejanggalan serta kekurangan-kekurangan, apalagi tata bahasanya. Hal ini mungkin saja disebabkan kami sendiri belum banyak bergelimang dalam terjemahan seperti ini disamping penguasaan bahasa yang belum begitu sempurna. Karena itu kami menerima dengan segala senang hati semua tegur sapa dan kritik yang bersifat memperbaiki. Atas itu semua kami aturkan terima kasih.

Tidak lupa pula pada kesempatan ini kami mengaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu kami, terutama sekali Pimpinan jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA dan Pimpinana FPMIPA IKIP Padang, yang telah bersedia membantu membiayai perbanyakkan buku ini.

di samping itu kami berharap mudah-mudahan ada manfaatnya bagi teman seprofesi dan juga bagi pembaca lainnya.

Padang, Desember 1993

Penerjemah

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vi
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
BAB II. SEL TUMBUHAN HIJAU .....	10
- Nucleus .....	11
- Mitochondria .....	17
- Chloroplast-Pelengkap Energi Dalam Sel .....	19
- Dinding Sel .....	22
- Vacuola dan Membran .....	25
- Macam-macam Sel .....	29
- Ringkasan .....	32
BAB III. MAKANAN TUMBUHAN .....	34
- Fotosintesis ..	34
- Bahan Makanan Mineral .....	46
- Air dan Penguapan .....	37
- Pengangkutan Bahan Makanan .....	60
- Ringkasan .....	65
BAB IV. BAGAIMANA TUMBUHAN TUMBUH .....	67
- Tenaga Pertumbuhan .....	69
- Meristem dan Organisasi Jaringan .....	71
- Hormon Tumbuhan .....	78
- Penghambat Pertumbuhan .....	92
- Ringkasan .....	97
BAB V. PERKEMBANGAN TUMBUHAN .....	101
- Biakan Organ dan Jaringan .....	104
- Biakan Sel Tunggal .....	111
- Differensiasi Organ-organ Pembiakan .....	113

- Irama Endogenaus .....	123
- Ringkasan .....	125
DAB VI. TUMBUHAN DAN MANUSIA .....	129
- Komunitas Tumbuhan .....	129
- Tanaman Yang Berguna Bagi Manusia .....	137
- Ringkasan .....	146

## DAFTAR GAMBAR

Nomor dan Nama gambar	Halaman
1.1 Proses Pembentukan Glukosa .....	2
1.2 Pembentukan Energi Matahari .....	3
1.3 Cahaya Yang Dapat Dilihat .....	5
1.6 Pertambahan Penduduk Dunia .....	6
2.1 Sel Dilihat di Bawah Mikroskop .....	12
2.2 Inti Dikelilingi Oleh Dua Membran .....	14
2.3 Membran Inti Berlobang-lobang Tempat Lalu Bahan Makanan .....	15
2.4 Sel Setelah Disentrifugasi. Organel yang Berat Di Bagian Bawah (inti, mitochondria) .....	15
2.5 Peranan Enzim .....	16
2.6 Mitochondria .....	18
2.7 Kloroplast Berisi Lamella pada bagian yang Tebal Terbentuk Grana .....	20
2.8 Sel Tumbuhan Berbentuk kotak .....	23
2.9 Dinding Sel Diantara 4 Buah Sel .....	24
2.10 Vacuola pada Sel Muda kecil, Pada Sel Tua Besar .....	26
2.11 Sel yang Turgid .....	27
2.12 Macam-macam Sel Tumbuhan .....	31
3.1 Potongan Melintang Daun .....	37
3.2 Mulut Daun .....	37
3.3 Efek Tumbuhan Terhadap Hewan .....	43
3.4 Siklus Nitrogen .....	55
3.5 Penguapan Air Pada Tumbuhan .....	62
3.6 Tekanan Akar .....	63
3.7 Diagram Sirkulasi Larutan Pada Tumbuhan .....	63
4.1 Daerah Pemanjangan Sel .....	69

4.2	Biji Berisi Embryo .....	68
4.3	Kurva Pertumbuhan .....	68
4.4	Bulu Akar dan Potongan Melintang Akar .....	75
4.5	Lingkar Tahunan .....	75
4.6	Pengaruh Hormon Terhadap Pertumbuhan .....	80
4.7	Cara Menguji Jumlah Auxin .....	81
4.8	Pengaruh Cahaya terhadap Pemberian Auxin .....	84
4.9	Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Pembengkokan Cahaya dari Sebelah Kiri .....	84
4.10	Auxin Hanya Mengalir Dari Arah Ujung Batang .....	85
4.11	Pengaruh Gibberellin Pada Tumbuhan .....	90
5.1	Ganggang Fucus .....	102
5.2	Teknik Biakan Ujung Akar .....	105
5.3	Biakan Sel Tunggal .....	113
5.4	Tembakau dan Teh Yang Berbunga .....	115
5.5	Percobaan Hari Pendek Terhadap Berbunganya Tanaman....	116
5.6	Pengaruh Panjangnya Malam Terhadap Berbunganya Tanaman	118
5.7	Gangguan Panjangnya Malam Kritis Dengan Sorotan cahaya	120
5.8	Tumbuhan Ditumbuhkan Pada Tak Ada Cahaya dan Ada Cahaya	123
5.9	Gerakan Berirama Daun Kacang .....	124
6.1	Komunitas Rumput dan Pohon Yang Stabil Dalam Bentuk Keseimbangan yang Dinamis .....	130
6.2	Komunitas Hutan .....	131
6.3	Penanaman Kembali Hutan Dan Lahan Yang Rusak.....	135
6.4	Jagung Yang Mula Dikenal .....	138
6.5	Tongkol Jagung .....	138
6.6	Bermacam Tipe Jagung .....	141
6.7	Bunga Jantan .....	143
6.8	Bunga Betina .....	143



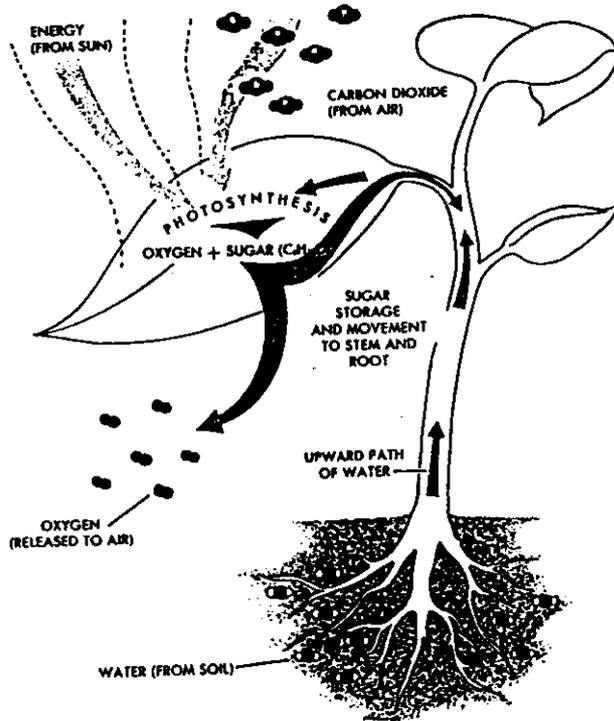
## BAB I

### PERANAN TUMBUHAN HIJAU DI ALAM

Sejarah kehidupan di dunia, seperti sejarah bumi itu sendiri, bermula dengan matahari. Matahari adalah satu-satunya sumber energi bagi hampir semua bentuk kehidupan, kecuali bagi orang sekarang yang memakai tenaga atom. Semua mesin memerlukan sumber energi untuk dapat bekerja : jam memakai energi per yang bergulung; pabrik hidrolistrik memakai energi air terjun; automobil berjalan karena gasolin yang melepaskan tenaga kimianya melalui proses pembakaran (oksidasi). Demikian pula semua sel hidup memperoleh energi dari bahan bakar yang disebut makanan.

Banyak jenis molekul makanan. Kita dapat memperoleh gambaran tentang bentuk mereka dengan memeriksa salah satu yang terpenting yaitu gula sederhana, glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ). Seperti diperlihatkan oleh rumus kimianya, glucose dibentuk oleh 6 atom karbon, 12 atom hidrogen dan 6 atom oksigen. Molekul gula sederhana ini disintesis atau dibangun dari dua bahan yang sangat umum terdapat di alam - karbondioksida dan air. Sel-sel tanaman hijau adalah "fabrik" dimana glucose dibuat dengan bantuan energi matahari (gambar 1.1)

Bila tanaman hijau tumbuh, tentu saja ia menangkap sinar matahari. Karena manusia memakan tanaman hijau atau hewan yang memakan tanaman hijau, secara tidak langsung ia juga mengambil energi matahari, bahkan gasolin, penggerak mobil juga secara tidak langsung memakai energi matahari, karena gasolin sejenis minyak yang berasal dari makhluk kecil yang menangkap energi matahari dan mati berjuta-juta tahun yang lalu. Tanpa tanaman hijau, semua kehidupan di planet kita ini secara praktis akan berhenti.



Gambar 1.1

Proses Pembentukan Glucose

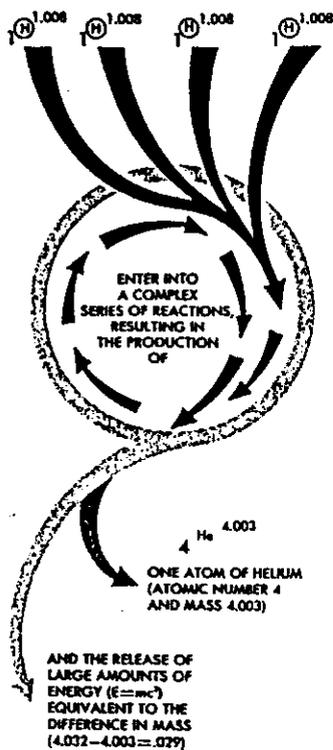
**Matahari - Sumber Energi Termonuklir.**

Mulai akhir perang dunia ke II, kita telah sadar bahwa jumlah energi yang amat dahsyat dapat dikeluarkan dari reaksi-reaksi atom. Matahari itu sendiri adalah satu jenis reaktor atom dimana hidrogen diubah menjadi helium. Ahli fisika menamakan reaksi itu reaksi "thermonuclear" sebab banyak panas yang diperlukan untuk membuat inti atom hidrogen bersatu membentuk helium. Secara essential yang terjadi adalah : empat atom hidrogen, masing-masingnya dengan massa kira-kira 1, dilebur dan membentuk satu atom helium dengan massa kira-kira 4. Keseluruhan persamaan digambarkan seperti :



Sebetulnya tiap-tiap atom hidrogen mempunyai massa 1,008, dan

4 HYDROGEN ATOMS,  
EACH WITH AN ATOMIC  
NUMBER OF 1 AND A  
MASS OF 1.008 (TOTAL  
MASS =  $4 \times 1.008 = 4.032$ )



(gambar 1.2)

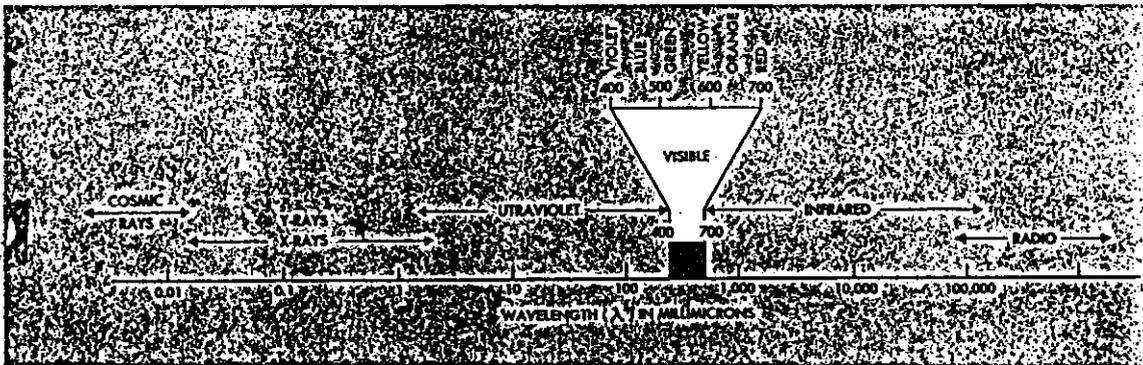
Pembentukan Energi  
Matahari

atom helium hasil dari penggabungan mereka mempunyai massa 4,003. Karena lebih banyak massa yang bereaksi ( $4 \times 1,008 = 4,032$ ) dari pada yang keluar ( $1 \times 4,003 = 4,003$ ), maka persamaan tersebut tidak seimbang. Perbedaan massa ini (0,029 unit massa) diubah menjadi energi, sesuai dengan persamaan Einstein ( $E = Mc^2$ ), dimana E adalah energi yang dihasilkan, M adalah massa dari bahan yang diubah, dan c adalah kecepatan cahaya. Persamaan memperlihatkan bahwa sejumlah besar energi dilepaskan, dengan perubahan sedikit saja massa menjadi energi. Diperkirakan bahwa sekitar 120 juta ton bahan dari matahari lenyap setiap menit diubah menjadi energi yang amat banyak dipancarkan ke permukaan.

Kira-kira sepertiga dari energi matahari yang sampai ke bumi dipakai untuk menguapkan air. Yang lainnya dipakai dipakai dalam bermacam hal. Yang sangat penting diantaranya adalah "fotosintesis"--kemampuan tanaman hijau mengubah karbondioksida menjadi gula. Walaupun tanaman hijau memakai sangat sedikit bagian energi matahari yang tersedia, fotosintesis adalah proses kimia yang sangat penting di bumi. Setiap tahun tanaman hijau mengubah 200 bilion ton karbondioksida menjadi gula. Ini adalah kira-kira 100 kali lebih banyak daripada massa semua barang-barang yang diproduksi oleh seorang manusia dalam satu tahu.

## Energi Sinar

Karena hidrogen diubah menjadi helium pada pembakaran thermonuclear matahari, banyak jenis penyinaran (radiasi) dihasilkan. Walaupun radiasi berbeda dalam banyak hal, semuanya dalam bentuk gelombang; setiap jenis mempunyai panjang gelombang yang tersendiri. Kita dapat mengukur panjang gelombang dari gelombang laut dalam kaki dengan mengukur jarak dari puncak (kepala) suatu gelombang kepada puncak gelombang yang di muka atau yang di belakangnya. Tetapi jarak antara puncak gelombang dari bermacam jenis sinar sangat pendek sehingga kita memerlukan unit ukuran yang jauh lebih kecil dari kaki atau inci. Satuan yang kita pakai adalah "millimicron". Satu mikron adalah sepersejuta meter, dan satu meter sama dengan 39,37 inci. Dengan demikian satu milimikron adalah sepersemilyar meter. Mata manusia dapat melihat panjang gelombang antara 400 sampai 700 milimikron. Sinar yang panjang gelombang diantara 400 sampai 700 milimikron disebut cahaya yang dapat dilihat (visible light). Tiap zat ada kaitannya dengan panjang gelombang. Salah satu ujung, pada 400 milimikron, adalah biru-jingga akhir spektrum. Pada ujung yang lain, pada 700 milimikron adalah ujung merah. Diantara kedua ujung itu adalah warna-warna lain, berurut dari violet, biru, hijau, kuning dan jingga tua sampai merah. Suatu hal yang menakjubkan, tanaman sensitif terhadap radiasi hampir sama halnya dengan mata manusia (gambar 1.3).



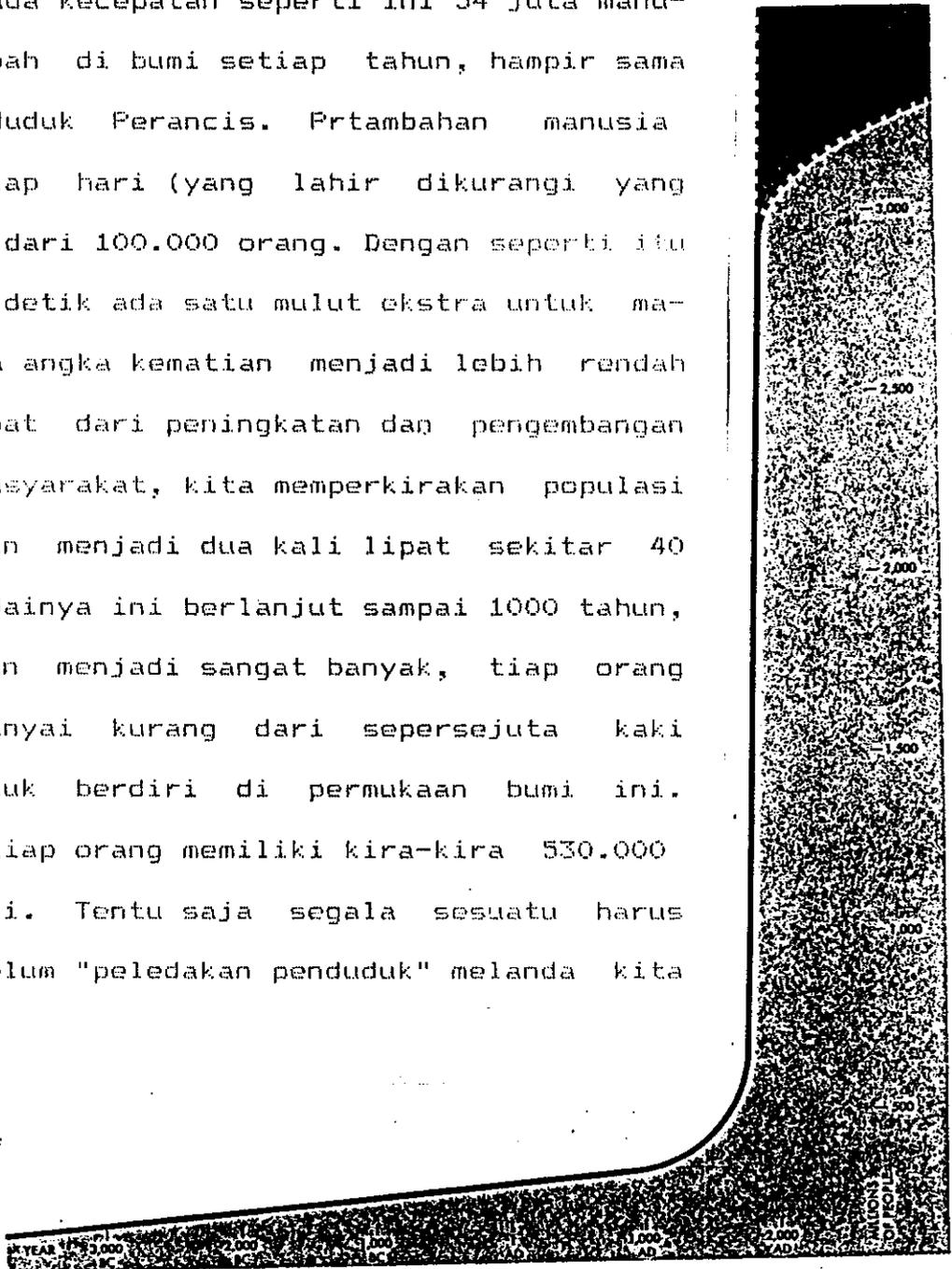
Gambar 1.3

Cahaya yang Dapat Dilihat

Atmosfir bumi menghambat beberapa sinar matahari mencapai kita di bumi. Umpamanya bentuk khusus dari oksigen, disebut "ozone" ( $O_3$ ), menyerap banyak sinar bergelombang pendek persis dekat berakhirnya spektrum violet. Sinar ini disebut sinar "ultraviolet". Untung saja banyak sinar ultraviolet diserap, karena ia dapat merusak makhluk hidup. Persis pada ujung merah spektrum adalah radiasi bergelombang panjang disebut "infrared". Ia sinar yang tak terlihat yang biasanya disebut "heat" (sinar panas). Waktu sinar ini memasuki atmosfir, banyak diserap oleh uap air (air bentuk gas) dan lebih banyak oleh karbondioksida. Uap air dan karbondioksida ikut mengontrol temperatur bumi. Cahaya matahari yang akhirnya mencapai kita di bumi kebanyakan adalah yang dapat dilihat dan infrared, tetapi juga agak banyak ultraviolet. Sinar yang memasuki atmosfir, baik secara langsung ataupun taklangsung, memberikan energi kepada semua makhluk hidup. Walaupun begitu hanyalah tanaman hijau yang dapat menumpuk energi sinar dalam proses fotosintesis (gambar 1.1).

## Populasi manusia dan persediaan makanan

Kita hidup pada zaman yang tidak normal. Populasi planet kita sekarang kira-kira 3 juta jiwa, dan meningkat rata-rata 1,8% pertahun. Pada kecepatan seperti ini 54 juta manusia bertambah di bumi setiap tahun, hampir sama dengan penduduk Perancis. Prtambahan manusia bersih setiap hari (yang lahir dikurangi yang mati) lebih dari 100.000 orang. Dengan seperti itu setiap satu detik ada satu mulut ekstra untuk makan. Karena angka kematian menjadi lebih rendah sebagai akibat dari peningkatan dan pengembangan kesehatan masyarakat, kita memperkirakan populasi manusia akan menjadi dua kali lipat sekitar 40 tahun. Seandainya ini berlanjut sampai 1000 tahun, manusia akan menjadi sangat banyak, tiap orang akan mempunyai kurang dari seperserjuta kaki persegi untuk berdiri di permukaan bumi ini. Sekarang setiap orang memiliki kira-kira 530.000 kaki persegi. Tentu saja segala sesuatu harus berubah sebelum "peledakan penduduk" melanda kita semua.



Gambar 1.4  
Pertambahan Penduduk Dunia

Makanan semua hewan tergantung pada energi matahari yang ditangkap oleh tumbuhan hijau, jumlah orang yang layak aman di bumi tergantung pada jumlah energi yang dapat ditangkap dengan fotosintesis. Dengan cara bagaimana kita dapat meningkatkan 200 juta ton karbondioksida ditumpuk setiap tahun melalui fotosintesis. Tak ada cara lain yang lebih baik kecuali meningkatkan luas lahan olahan dua kali lipat. Tetapi seandainya kita melipatgandakan lahan pertanian kita harus memakai tanah yang kurang baik, sebab tanah yang baik telah terpakai. Kemana berpindah ? Perkirakan produksi makanan melalui fotosintesis memperlihatkan bahwa antara 50% sampai 80% fotosintesis terjadi di lautan dan air tawar. Bukankah ini berarti bahwa kita telah bertani di lautan ? Atau dapatkan kita mengolah bermacam rumput laut untuk makanan dalam bak yang berisi kultur yang sangat subur ? Walaupun ini sangat mahal untuk dikerjakan sekarang sistem seperti itu pada suatu waktu menjadi penting. Pada jenis pertanian yang baru ini, "keterampilan" mengenai tumbuhan memegang peranan yang besar.

Cara lain untuk menaikkan produksi makanan adalah meningkatkan tanaman itu sendiri. Bertahun-tahun kita telah mengerjakan hal itu. Akhirnya pemuliaan tanaman telah memberi kita jenis tanaman unggul.

Ahli fisiologi telah mengajar kita untuk memberikan makanan yang diperlukan tanaman dan meningkatkan pertumbuhannya dengan melaksanakan dengan perlakuan secara kimia. Ahli penyakit telah mendemonstrasikan kepada kita bagaimana untuk mengontrol serangga dan jamur pengganggu. Ahli tanah telah memperlihatkan bagaimana memperkaya dan memelihara tanah secara terpadu. Barangkali pada suatu saat kita menyadari bahwa fotosintesis cukup baik untuk

mengontrol dan meningkatkan efisiensi tanaman, atau pernah menirunya dengan efisien di luar sel hidup.

Kamu ragu pada waktu yang lalu apa yang harus dilakukan sebab melipatgandakan produksi makanan, setelah 40 tahun tidak akan berarti lagi karena diimbangi oleh berlipat gandanya manusia yang makan. Jelas, kita harus pada suatu ketika menentukan berapa orang dapat hidup di permukaan bumi dengan selamat/menyenangkan. Kemudian kita harus membatasi penduduk ke arah jumlah itu. Saran seperti itu sangat memperhebat masalah dalam keagamaan, politik dan sosial (kemasyarakatan). walaupun demikian, populasi manusia harus dibatasi dengan beberapa cara. Alternatif-alternatif yang terlihat yaitu perdamaian, perencanaan pembatasan penduduk secara sukarela, atau pembatasan yang menyedihkan karena kelaparan, penyakit dan perang.

## Ringkasan

Tanaman hijau, melalui proses fotosintesis, menangkap energi cahaya matahari dan menumpuknya dalam bentuk makanan yang dimakan oleh hewan dan manusia. Energi ini, yang merupakan kebutuhan kehidupan di bumi, berasal dari matahari melalui reaksi thermonuclear, dimana 4 atom hidrogen dilebur membentuk helium, dan kelebihan massa diubah menjadi energi. Energi dipancarkan matahari melalui permukaan dengan panjang gelombang yang berbeda, sebagian diserap oleh bahan-bahan di antara bintang-bintang dan oleh komponen-komponen planet atmosfer. Energi yang sampai ke permukaan bumi hanya bagian yang dapat dilihat oleh mata manusia yang dipakai oleh tumbuhan.

Manusia berkembang dengan kecepatan yang belum pernah terjadi sebelumnya, yang melipat gandakan populasi kurang dari 40 tahun. Secara kasar 4 generasi kita akan mencapai batas kemampuan bumi menampung manusia. Karena itu kita harus mengambil tindakan untuk membatasi manusia di bumi menjadi jumlah yang layak. Akhirnya kombinasi dari peningkatan ilmu pengetahuan dan pembatasan perkembangan penduduk akan bersatu untuk menstabilkan populasi manusia di bumi.

-----

## BAB II

### SEL TUMBUHAN HIJAU

Sel merupakan unit dasar dari kehidupan. Tumbuhan dan hewan di sekitar kita dibentuk dari berjuta-juta sel, tetapi ada beberapa di antaranya yang terdiri dari satu sel. Amoeba, yang barangkali telah pernah kita melihatnya di bawah mikroskop, adalah satu contoh dari organisme tersebut. Para ahli biologi (biolog) berpendapat bahwa pengetahuan tentang sel secara otomatis menggiring (menuntun) kita kepada pengetahuan tentang organisme keseluruhan. Karena itu hampir semua ahli biologi sependapat bahwa sel adalah suatu bentuk permulaan yang logis untuk mempelajari suatu organisme. Sel-sel tersebut bervariasi ukurannya. Ukuran bervariasi mulai dari sel bakteri yang berdiameter kurang dari 1 mikron sampai pada sel yang panjangnya beberapa milimeter. Rangka yang membangun sel-sel itu terdiri dari molekul-molekul yang merupakan gabungan dari atom-atom. Bahkan satu sel bakteri yang relatif kecil terdiri dari 1.000.000.000.000,- molekul dipendekan  $10^{12}$ . Kekompletan yang menakjubkan dari satu sel memperjelas kenapa pandangan ahli biologi tentang unit dasar ini sungguh berbeda dari pandangan seorang ahli fisika atau seorang ahli kimia.

Bila kita menumbuhkan satu sel tumbuhan dalam keadaan terisolasi, biasanya ia berbentuk bola. Bila satu sel dikelilingi oleh sel-sel lain, ia dijepit dari segala arah sehingga menjadi banyak sisi. Sebuah sel batang/akar berbentuk seperti kotak sepatu. Sel seperti ini kira-kira 50 mikron panjangnya, 20 mikron lebarnya dan 10 mikron tebalnya. Jadi volumenya kira-kira 10.000 mikron

kubik ( $\mu^3$ ). Seratus juta sel seperti ini jika dibungkus dengan ketat akan bervolume satu ( $1$ )  $\text{cm}^3$ .

Sel tumbuhan mempunyai tiga bagian utama :

1. dinding\_sel, keras terdiri dari bahan tak hidup, yang dibuat dari sisa-sisa sel tersebut.
2. Protoplast, atau bahan hidup yang dibungkus oleh lapisan permukaan yang disebut "differentially permeable membrans" (selaput semi permeabel). Ini memungkinkan molekul-molekul yang berbeda yang dapat melewatinya dengan kecepatan yang berbeda pula.
3. Vacuola, "teng pengumpul" yang tak hidup, berisi larutan garam encer dan bermacam molekul yang dihasilkan oleh aktifitas-aktifitas kimia dalam sel.

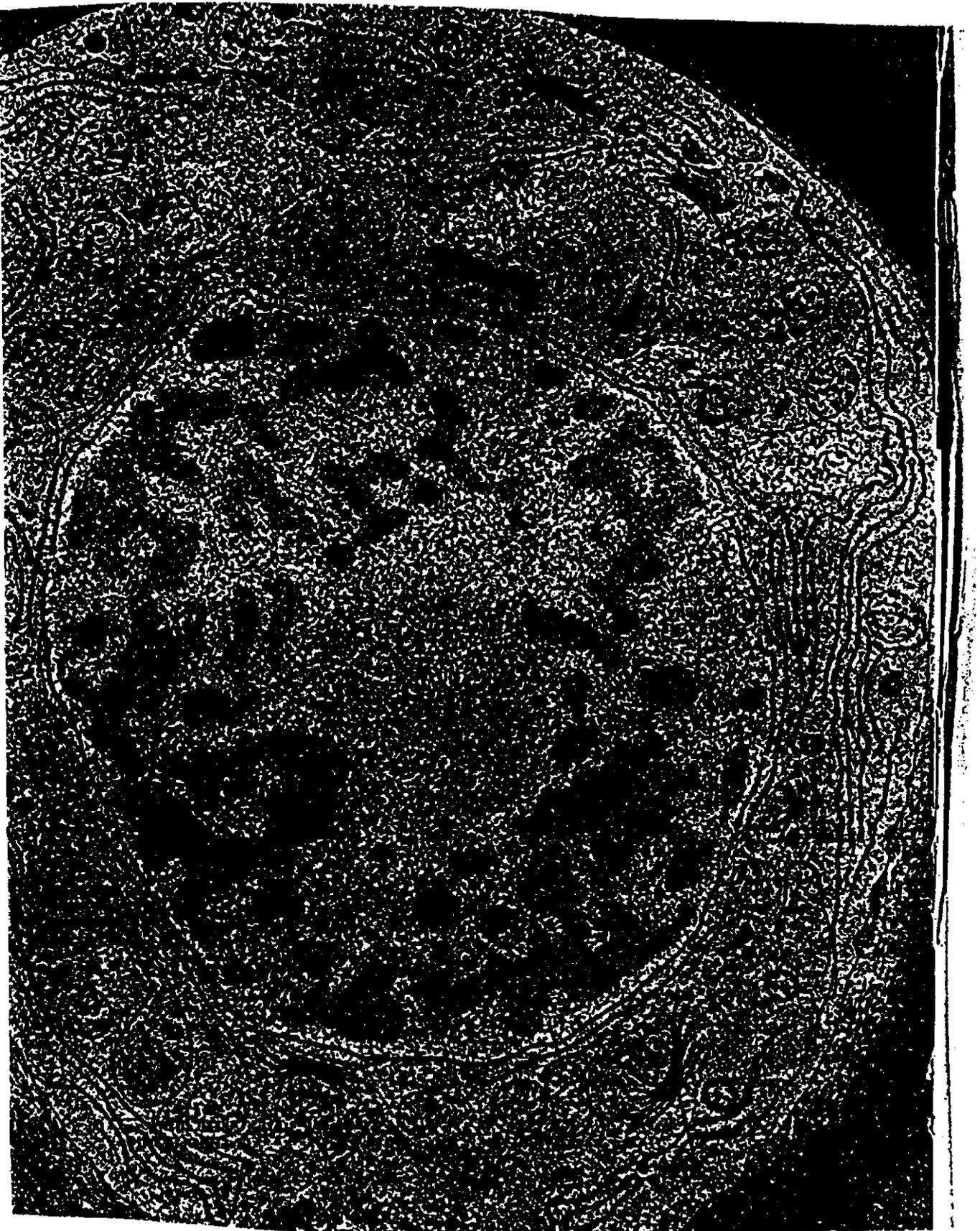
Dinding sel yang keras bermanfaat sebagai rangka bagi keseluruhan tumbuhan, menyebabkan tumbuhan kuat. Vacuola bermanfaat sebagai "excretory" atau sistem pembuangan bahan sisa. Material (bahan) yang disimpan di dalamnya tidak lama ikut dalam aktifitas kimia dalam sel. Aktifitas ini terjadi dalam protoplast, yang merupakan aktifitas yang terus menerus yang dinamakan kehidupan (gambar 2.1)

#### **NUCLEUS - PUSAT KEHIDUPAN SEL**

Dengan mikroskop terlihat bahwa protoplast sel disusun oleh banyak macam benda kecil, disebut organelle. Organelle yang besar adalah nucleus. Benda ini biasanya berdiameter 5 sampai 10  $\mu$  kron, berisi "blueprint" dasar untuk membentuk sel yang baru. Setiap kali sebuah sel membelah blueprint tersebut diturunkan pada generasi yang baru. Blueprint terdiri dari untaian bahan kimia

Gambar 2.1

Sel Dilihat di Bawah Mikroskop Elektron



yang panjang dan komplet disebut deoxyribonucleic acid atau DNA. Molekul DNA terlihat double, seperti spiral yang dijalin. Tiap molekul tersebut terdiri dari 4 bangunan balok, disebut nucleotide. Perintah nucleotide, yang berada pada rantai molekul DNA, menentukan informasi genetik yang akan diteruskan pada individu baru. Kombinasi nucleotide yang diterima dari DNA ibu dan bapak, menentukan bahwa anda akan menjadi seorang manusia lain dari pada sebatang pohon, seekor hewan atau segerombolan sel tak berbentuk (sederhana). Jika empat nucleotide itu dinyatakan dengan A, C, G dan T, rantai ACGT akan membawa blueprint atau informasi genetik yang berbeda daripada rantai AGCT atau ATCG. Turunan dari masing-masing organisme terlihat ditentukan oleh pengulangan susunan (gene) unit nucleotide dalam DNA.

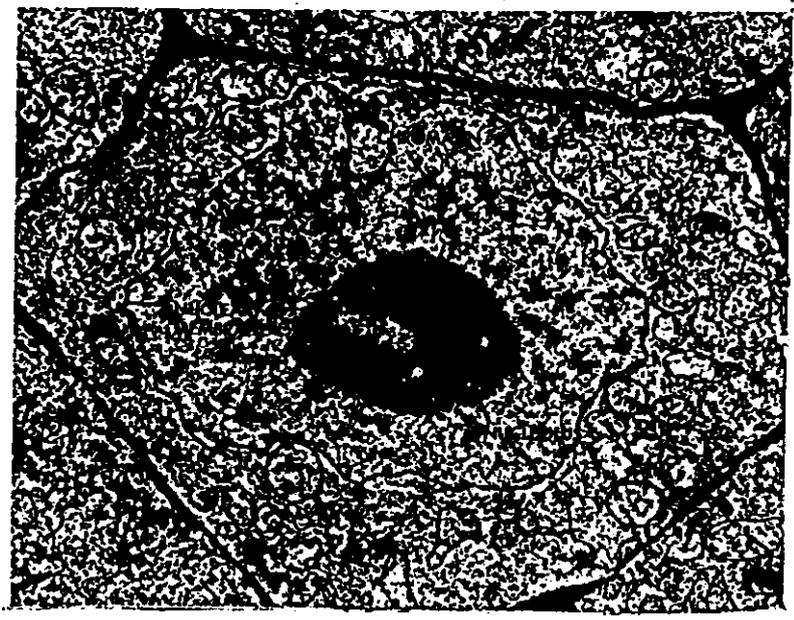
Bagi kebanyakan sel hidup nucleus dipisahkan dari sitoplasma (bagian lain daripada protoplasma) oleh nuclear membrane (membran inti). Membran ini mempunyai lobang-lobang dan tonjolan-tonjolan ke dalam sitoplasma. Tonjolan-tonjolan ini membentuk saluran yang panjang dalam sitoplasma, dinamakan endoplasmic reticulum (ER). Sebelum sel membelah, pertama kali intinya mengalami perubahan. Karena suatu hal, membran ini terlihat pecah keseluruhannya. Karena itu materi inti bercampur dengan potoplasma. Pada saat ini, satu kesatuan yang padat disebut nucleolus, menghilang.

Nucleolus disusun dari material yang disebut ribonucleic acid atau RNA. RNA berbeda dari DNA, tetapi seperti halnya DNA ia juga terdiri dari rantai yang panjang, pengulangan susunan nucleotide. DNA ditugaskan untuk membentuk RNA yang menjadi beberapa pola dasar karakter sel tertentu. Sekarang kita semua percaya bahwa kemampuan semua unit biologi untuk menyampaikan informasi

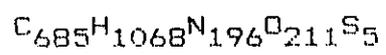
genetik dari satu unit kepada unit yang lain tergantung kepada DNA atau RNA.

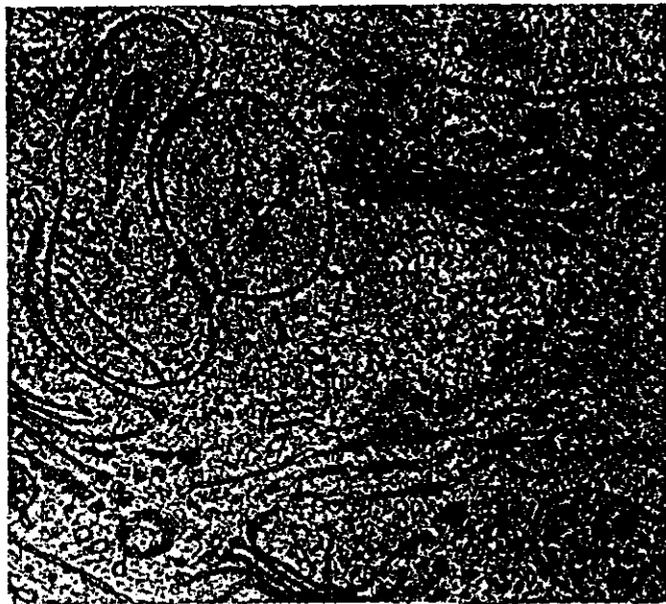
Fungsi utama dari RNA adalah untuk pembentukan protein yang merupakan bahan pokok protoplast. Protein, bahan utama untuk pembentukan makanan hewan dan tumbuhan, adalah molekul-molekul yang besar tersusun dari kira-kira 100 sampai 2000 asam amino. Ada kira-kira 20 jenis asam amino, sehingga masing-masingnya muncul banyak kali dalam tiap molekul protein. Tiap jenis protein punya susunan asam amino tersendiri. Perbedaan urutan asam amino ini menentukan jenis protein; ia tidak hanya membedakan daging babi dan daging sapi, tetapi juga kulit dan kuku jari manusia, bola mata, dan hati manusia. Di antara anda yang telah mengetahui

Gambar 2.2  
Inti Dikelilingi  
Oleh Dua Membran



sedikit tentang kimia organik akan dapat mengerti kekompletan suatu molekul, seperti protein gandum dinyatakan dengan formula :





Gambar 2.3

Membran Inti  
Berlobang-lobang  
Tempat lalu Bahan  
Makanan

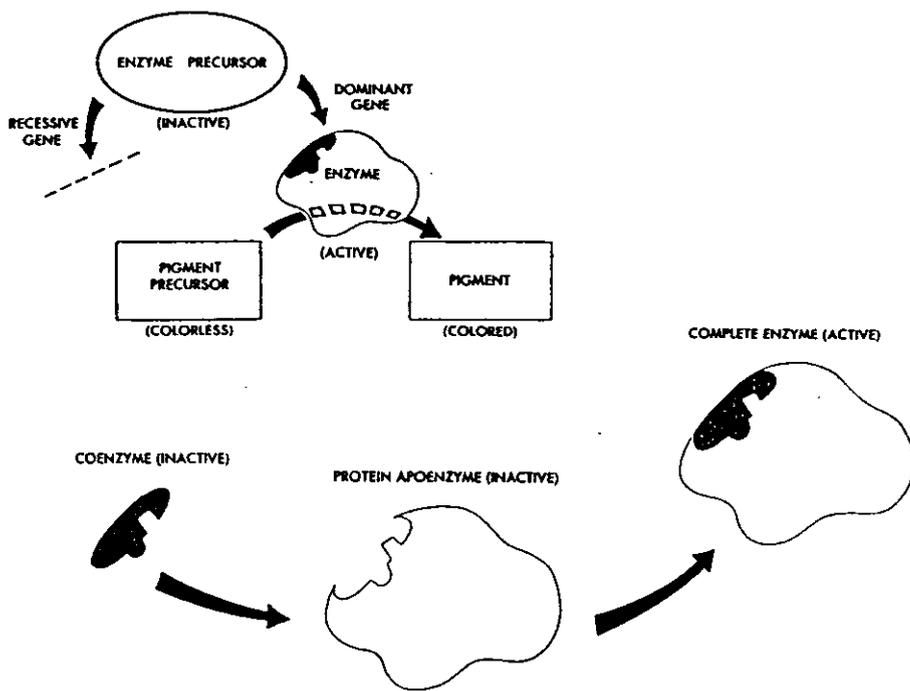
Gambar 2.4

Sel Setelah Disen-  
trifugasi. Organel  
yang Berat Di Ba-  
gian Bawah (inti,  
Mitochondria).



Banyak protein yang disintesa dalam sel berfungsi untuk meng-  
atur urutan reaksi kimia yang terjadi dalam sel. Protein-protein  
ini disebut enzim dan peranan mereka sangat penting. Pada spesies  
tumbuhan tertentu, umpunya perbedaan antara bunga merah dan bunga  
putih adalah karena sel-sel petal (corola) dari tumbuhan yang

berbunga merah berisi enzim yang dapat merubah substansi yang tidak berwarna menjadi zat warna merah. Varietas yang berbunga putih tidak mempunyai enzim tersebut, sehingga ia tidak dapat melaksanakan perubahan ini (lihat gambar 2.5) di bawah ini.



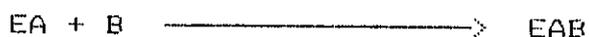
Gambar 2.5  
Peranan Enzym

Ada beratus-ratus enzim di dalam satu sel, dan tiap enzim mengontrol satu reaksi kimia atau satu group reaksi kimia yang berhubungan. Pada prinsipnya beginilah fungsi enzim.

Umpamanya dua molekul A dan B bersatu dengan perlahan dan membentuk satu molekul besar AB.



Jika enzim E mempunyai bentuk dan komposisi kimia yang cocok (tepat), A dan B keduanya akan diikat oleh enzim E.



Kemudian A dan B akan bersatu dan membentuk molekul AB, mengeluarkan enzim E tanpa berubah sama sekali.

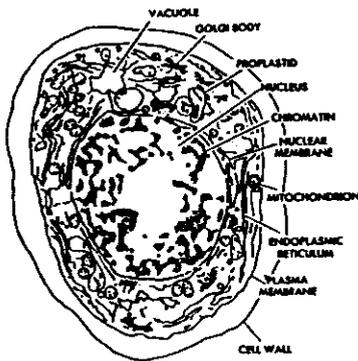


Kesimpulannya, enzim membawa molekul-molekul yang bereaksi bersama-sama, karena itu meningkatkan kecepatan reaksi. Karena enzim itu tidak dipakai dalam proses tersebut, ia dapat lagi mengerjakan pekerjaan yang sama. Itulah sebabnya jumlah enzim yang sedikit dapat bekerja secara efektif dengan sejumlah besar substansi yang bereaksi.

Enzim-enzim yang terdapat pada bermacam organel sel dan dalam daerah lainnya pada sitoplasma, adalah pengawas dari proses/reaksi kimia sel. Semua sel sebagaimana adanya, ditentukan oleh enzim-enzim mereka; bentuk enzim itu ditentukan oleh RNA dalam sitoplasma; dan jenis RNA ditentukan oleh DNA dalam inti.

## MITOCHONDRIA

Mitochondria adalah organ yang berbentuk memanjang, panjangnya satu sampai beberapa mikron. Lebarnya kira-kira setengah mikron. Mitochondria menyebabkan sel "bertenaga" karena itu mereka menyediakan energi yang dibutuhkan oleh sel untuk melaksanakan banyak kegiatan. Mitochondria melakukan ini dengan mengoksidasi suatu molekul yang kita sebut "makanan" dan mengeluarkan energi dari proses tersebut. Energi tersebut kemudian ditumpuk dalam bentuk ikatan kimia yang komplet disebut "adenosin triphosphate", atau ATP. Sel yang seperti itu mempunyai beratus-ratus mitochondria yang didistribusikan keseluruh sitoplasma. Sel-sel yang aktif mempunyai mitochondria yang lebih banyak dan lebih besar daripada yang dipunyai sel rata-rata (gambar 2.6).



Gambar 2.6  
Mitochondria

Makanan berupa gula mempunyai formula umum  $(CH_2O)_n$ . Pada reaksi yang terjadi di dalam mitochondria, gula dibakar (berarti bahwa oksigen ditambah), menghasilkan karbondioksida dan air dan mengeluarkan energi.



Proses yang sebenarnya (pernafasan) adalah lebih komplet. Tidak semua karbon tiap molekul gula dioksidasi menjadi  $CO_2$  dan air. Kadang-kadang ia dirobah menjadi ethyl alcohol, kadang-kadang ia bersatu dengan amonia ( $NH_3$ ) dan membentuk asam amino, bahan pembentuk protein. Sementara karbon gula sedang dirobah menjadi  $CO_2$  dan hasil lainnya, hidrogen dipindahkan ke oksigen untuk membentuk air.

Walaupun beberapa ATP dipakai dalam bermacam langkah di atas, energi yang dikeluarkan dari keseluruhan reaksi lebih dari cukup untuk menggantikan ATP yang dipakai itu. Kelebihan energi ini ditumpuk dalam bentuk ATP, yang tersedia sebagai *reservoir*, (persediaan) tenaga yang dapat dipakai bila diperlukannya.

#### CHLOROPLAST - PENANGKAP ENERGI DALAM SEL

Kita telah mengetahui beberapa benda yang ditemukan dalam sel tumbuhan dan hewan. Benda-benda itu disebut plastid. Plastid yang sangat penting dalam sel tumbuhan hijau adalah yang dikenal dengan chloroplast. Tiap chloroplast merupakan pusat fotosintesa. Dalam sel-sel tumbuhan tinggi, chloroplast berbentuk cakram, diameternya kira-kira 5 sampai 8 mikron, lebarnya kira-kira 3 mikron. Butir-butir ini ada kira-kira 50 buah dalam tiap sel. Tiap chloroplast dibentuk dari bahan yang disebut proplastids. Ini nampak dapat berkembang biak sendiri melalui proses pembelahan yang langsung meningkatkan jumlah mereka dalam sel, tetapi sebagian besar chloroplast yang tua tidak dapat berbiak dengan cara seperti ini.

Foto yang diambil dengan mikroskop elektron memperlihatkan bahwa chloroplast mempunyai dua (*double*) selaput. Pada beberapa tempat selaput ini lebih tebal, disebut granum (jamaknya *grana*). Dalam *grana* inilah ditemukan *chlorophyll*. Bagian yang tidak hijau pada plastid disebut *stroma*. Keseluruhan plastid ditutup oleh dua lapis membran yang mengatur pertukaran material antara plastid dan lingkungan luar.

Pada tumbuhan bunga (*angiospermae*) proplastid tidak akan berkembang menjadi chloroplast kecuali kalau tumbuhan dihadapkan pada cahaya. Tetapi pada sejenis pohon cemara (*gymnospermae*)

perubahan ini terjadi dalam keadaan gelap total. Pada Angiospermae daun-daun yang bertumbuh dalam gelap proplastidnya tidak berkembang menjadi chloroplast. Ini berarti bahwa sel tumbuhan tidak dapat membuat makanan sendiri selagi mereka tidak berchloroplast sehingga mereka menyerap makanan dari luar. Hanya bila proplastid berkembang menjadi chloroplast, dengan membukakan terhadap cahaya, barulah sel-sel dapat melaksanakan fotosintesa dan langsung membuat makanan mereka sendiri.

Beberapa ahli biologi menganggap bahwa chloroplast sebagai sejenis benda penyerbu (invasi). Secara kebetulan ia masuk ke dalam sel yang tidak hijau, karena itu memungkinkan sel tersebut



Gambar 2.7

Kloroplast berisi lamella. Pada bagian yang tebal terbentuk grana.

membuat makanan sendiri melalui fotosintesa. (Tumbuhan yang membuat makanan sendiri disebut autotrophic). Kejadian apa-apa yang dapat menyokong hipotesisi invasi ini? Jika tumbuhan satu sel

tertentu ditumbuhkan pada temperatur yang cukup tinggi selama beberapa generasi secara berturut, sebagian sel berbiak lebih cepat daripada chloroplast. Hasilnya adalah sel-sel hijau yang pucat. Kesimpulannya, karena kehilangan chloroplast atau proplastid, tumbuhan satu sel tersebut sama sekali tidak hijau. Sel-sel seperti ini tetap (permanen) tidak hijau dan tidak dapat memperoleh kembali sifat autotrophicnya. Jika mereka ingin hidup terus, mereka harus menyerap molekul makanan yang sudah siap dari luar. Tumbuhan yang memperoleh makanan dengan cara seperti ini dikatakan heterotrophic. Perkembangan chloroplast dapat juga dihalangi dengan memberikan streptomycin atau bahan kimia yang lain. Karena itu sel tumbuhan hijau dapat dicegah (dihilangkan) chloroplastnya dengan memelihara pada temperatur tinggi atau memberi bahan kimia.

Jika kita ambil chloroplast dari suatu sel selama beberapa waktu chloroplast itu dapat melaksanakan aktifitas fotosintesis secara normal. Ia mengambil  $CO_2$  dan merobahnya menjadi gula, ia juga mengeluarkan oksigen dan menghasilkan ATP. Sungguhpun demikian chloroplast tidak dapat memelihara dirinya sendiri atau berkembang di luar sel. Jika chloroplast sungguh-sungguh suatu penyerang "invasi", ia menjadi tergantung pada lingkungan sel tumbuhan dalam banyak aspek eksistensinya.

Karena beberapa sebab yang tidak diketahui, chloroplast tidak bisa berkembang dalam jaringan akar yang tidak pernah kena cahaya. Pada spesies tertentu, seperti wortel, semarak pagi (morning glory) sel akar dapat menjadi hijau bila diberi cahaya. Kenapa pada beberapa sel plastid tidak berkembang menjadi matang (tua) dalam sitoplasma, belum diketahui. Sekarang telah ditemukan

bahwa chloroplast berisi sejenis DNA. Selagi ia dapat mengontrol hereditasnya sendiri, setidaknya-tidaknya sebagian pandangan yang mengatakan bahwa ia sebagai "penyerang" yang tidak bebas, dapat diperkuat.

Dalam sel-sel tumbuhan yang lebih tinggi ada plastid selain dari chloroplast, tetapi plastid ini tidak mempunyai alat fotosintesis. Ia adalah leucoplast, tidak bewarna dan bertugas sebagai pusat penyimpanan persediaan bahan makanan sel seperti butir padi (starch grain). Yang lain yaitu chromoplast, biasanya kuning terang, orange atau mempunyai zat warna merah dinamakan carotenoid. Fungsi chromoplast belum jelas. Biasanya mereka tidak berkembang dalam sel yang mempunyai chloroplast. Dalam proses masaknya buah, umpamanya tomat, perubahan warna buah dari hijau kepada putih atau merah, mencerminkan tiga tangga perkembangan :

1. Penonjolan (dominannya) chloroplast
2. Penyusutan chloroplast
3. Peningkatan carotenoid yang berisi chromoplast.

Sebab dari semua ini belum diketahui.

#### DINDING SEL

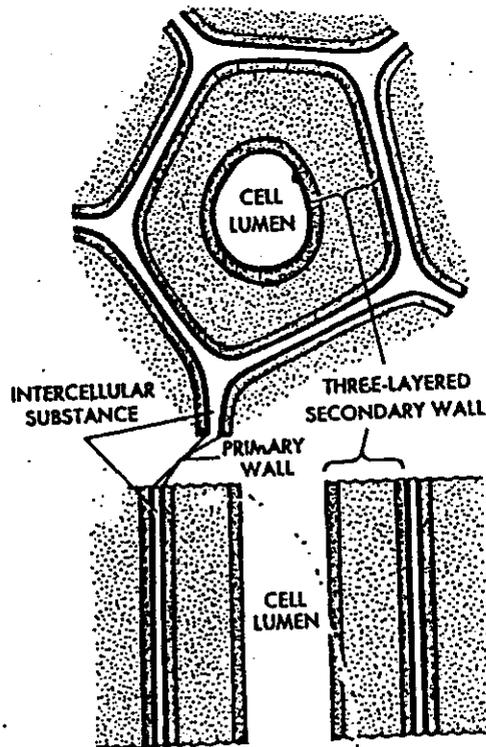
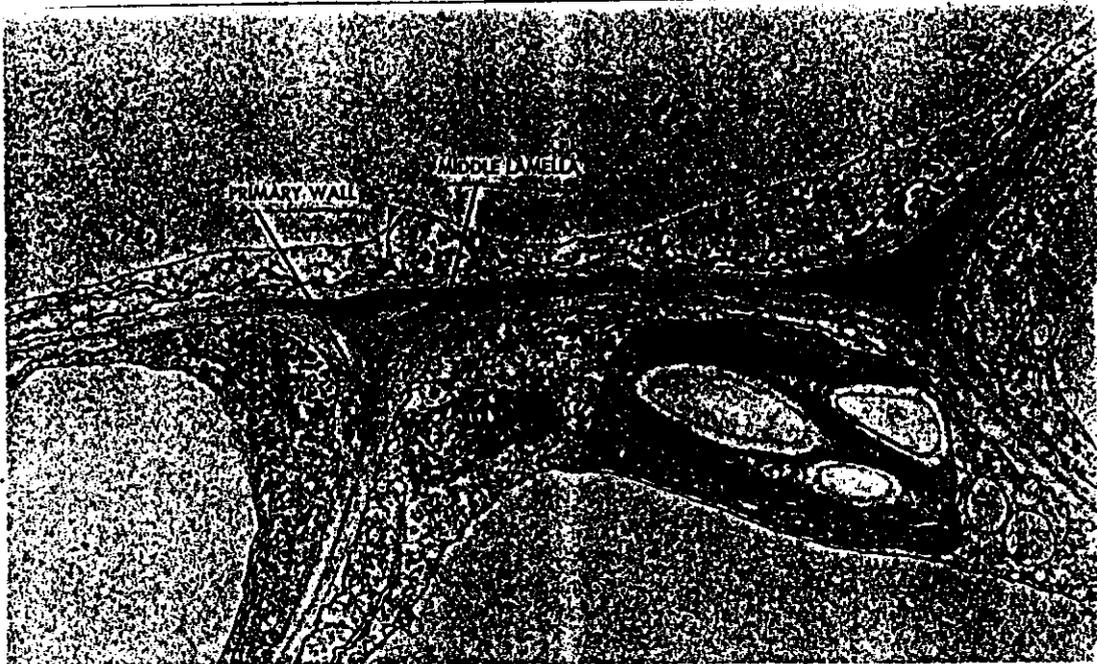
Sel tumbuhan berbeda dari sel lainnya karena mempunyai bagian luar yang cukup kaku sehingga menyerupai sebuah kotak. Tidaklah terlalu dibesar-besarkan jika dikatakan bahwa "sel tumbuhan hidup dalam sebuah kotak kayu", karena dinding sel termasuk bahan yang menyebabkan ketegangan dan kekuatan kayu. Diperlihatkan pada gambar 2.8

Dinding sel nampak tidak hidup dan tidak ambil bagian secara aktif dalam proses kimia yang berlangsung pada sel. Ia dihasilkan



Gambar 2.9

Dinding sel di antara 4 buah sel



mengakibatkan volumenya makin lama makin kecil. Pada beberapa sel dinding menjadi sedemikian tebal sehingga menempati hampir seluruh volume sel. Jika terjadi, sel itu mati, meninggalkan dindingnya untuk berperan sebagai rangka atau untuk berperan sebagai barisan pipa pembawa cairan tumbuhan. Pada dinding sel (sel yang masih hidup) ada lobang-lobang, melaluinya untaian sitoplasma lewat. Untaian sitoplasma ini menghubungkan protoplast sel-sel yang bertetangga, sehingga bergabung ke dalam satu kelompok yang besar. Mereka juga dengan lebih mudah melalukan material dari satu sel kepada sel yang lainnya melalui saluran sempit pada sitoplasma tersebut.

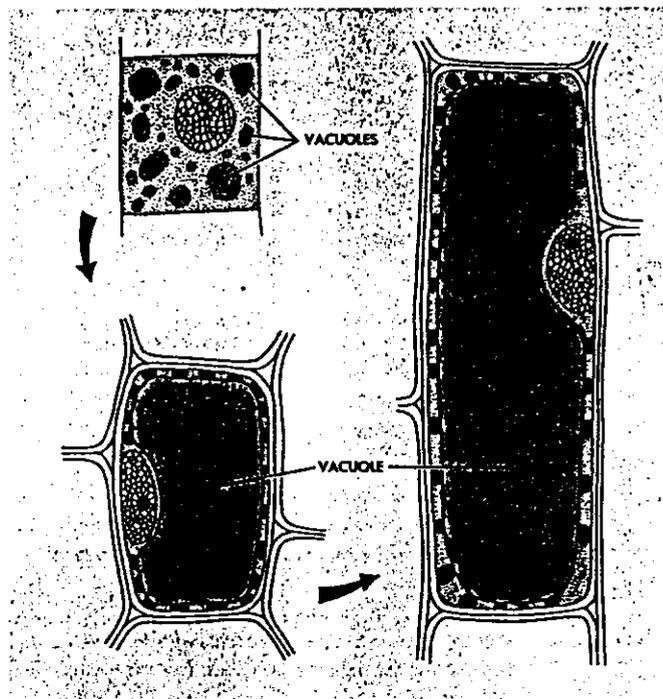
Karena kekuatannya, dinding inilah yang menentukan bentuk suatu sel tumbuhan dan langsung bertindak sebagai rangka. Sel-sel yang berdinding tebal yang mempunyai jumlah lignin yang besar, menentukan bentuk sel tanpa bantuan tenaga lain, seperti halnya pada kayu. Sel-sel yang berdinding tipis, seperti halnya pada daun, dinding selnya terlalu lemah untuk membuat bentuk sel-sel tersebut tidak berubah(konstan) tanpa sokongan dari isi sel. Bila kurang penyokong ini, sel menjadi timpang dan mengkerut. Jaringan seperti ini kelihatannya layu.

#### **VACUOLA DAN MEMBRAN**

Vacuola-vacuola berfungsi sebagai "teng" di dalam sitoplasma. Mereka dalam kenyataannya dikelilingi oleh membran yang permeabel, berisi larutan garam encer dan hasil pembuangan sel. Vacuola-vacuola ini menjaga sel supaya tidak keriput dan layu. Ketika sel muda, ia mempunyai banyak vacuola kecil. Pada permulaannya vacuola-vacuola ini menempati hanya sebagian kecil volume sel. Setelah sel matang, vacuola-vacuola menjadi lebih besar dan

akhirnya bersatu, membentuk satu vacuola sentral yang besar. Vacuola ini mungkin menempati 90% atau lebih dari keseluruhan volume sel. Selaput permeabel pada permukaan vacuola disebut tonoplast. Selaput ini membiarkan molekul air dan bahan-bahan tertentu melaluinya dengan cepat, tetapi ia juga melambatkan jalannya kebanyakan molekul-molekul lain, menjaga supaya beberapa di antaranya berada di luar. Dengan demikian ia memungkinkan vacuola itu mendesak sitoplasma sekelilingnya dan dinding sel. Tenaga pendesak (yang mendesak) ini datang dari energi molekul-molekul air yang bergerak, untuk jelasnya lihat gambar 2.10 di bawah ini.

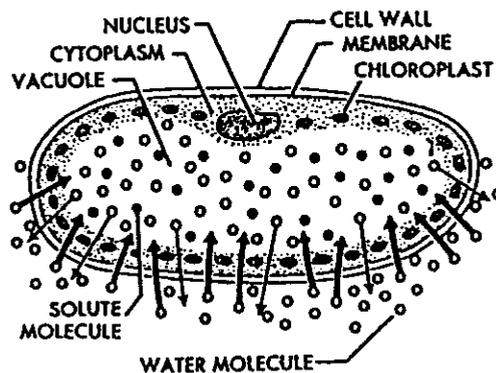
Gambar 2.10  
Vacuola pada sel muda kecil  
pada sel tua besar



Untuk melihat bagaimana proses ini berjalan, marilah kita teliti sebuah sel dengan sebuah vacuola sentral yang berisi

1941  
1942

garam, gula, asam amino dan material lainnya. Bayangkan/anggaplah bahwa sel sedang berada dalam sebuah teng air yang didestilasi. Sebagaimana diketahui, molekul-molekul semua substansi tetap dalam bergerak cepat. Untuk memulai, marilah kita perhatikan gerakan dari molekul air. Selagi vacuola sel berisi sejumlah besar molekul air dibandingkan dengan unit volume yang dipunyai air murni di luar sel, ini berarti bahwa dalam satu membran lebih banyak molekul air yang akan masuk dari pada yang keluar dalam suatu waktu tertentu. Dua jurusan lalu lintas air yang tidak sama kecepatan ini meningkatkan volume vacuola. Karena vacuola membengkak, ia menekan sitoplasma ke arah dinding sel. Tekanan seperti ini disebut "tekanan turgor", dan sel seperti ini dikatakan menjadi turgid.



Gambar 2.11  
Sel yang Turgid

Tetapi berapa lama air dapat terus masuk vacuola ? Ia terus masuk sampai tekanan di dalam vacuola menjadi cukup tinggi untuk menghalangi air masuk lebih lanjut. Banyak kesamaannya dengan kita memompa udara ke dalam sebuah ban. Kita menyatel (memasang)

pengatur pada pompa udara itu, umpamanya tertulis 30 pound. Jika tekanan di dalam ban kurang dari pada itu, udara mengalir ke dalam ban sampai 30 pound dan untuk seterusnya udara tidak dapat masuk lagi. Kembali pada vacuola tadi, jumlah molekul air yang masuk sel akhirnya menjadi sama dengan jumlah yang keluar. Ini terjadi, sehubungan dengan perbedaan konsentrasi molekul air, sebab tekanan di dalam sel secara efektif mempercepat pemboman/benturan membran oleh molekul-molekul air di dalam sel. Pada tahap ini air isi sel tidak dapat meningkat lebih lanjut walaupun molekul-molekul air masih bergerak dengan cepat melalui membran pada kedua arah (ke dalam dan ke luar). Gerakan air melalui membran permeabel dari daerah yang konsentrasi airnya lebih tinggi ke daerah yang konsentrasi airnya lebih rendah dikenal sebagai osmosis.

Umpamakan kita menempatkan sel dalam suatu larutan dimana jumlah molekul air per unit volume lebih rendah dari pada jumlah molekul air per unit volume pada vacuola. Sekarang vacuola akan kehilangan air, sehingga air merembes ke dalam medium sekelilingnya. Dengan segera sel akan kehilangan tekanan turgornya dan menjadi layu. Jika proses ini terus berlangsung, volume vacuola akan mengkerut sedemikian banyak sehingga sitoplasma akan terlepas dari dinding sel. Proses ini dikenal sebagai plasmolisis. Ini adalah suatu keadaan yang terjadi hampir setiap hari pada daun tumbuhan yang sedang tumbuh dimana terjadi kekurangan air.

Bagaimana organel-organel yang terpisah pada satu sel mengatur pertukaran material mereka? Masing-masing dibungkus oleh suatu membran permeabel dan dipisahkan dari organ-organ sekitarnya dengan jarak yang relatif besar. Jika material tidak bertukar,

sel tidak akan berfungsi. Sebagian jawabannya adalah bahwa isi sel tumbuhan dalam keadaan bergerak dengan kecepatan cukup tinggi, dikenal sebagai aliran sitoplasma (cytoplasmic streaming). Keseluruhan sitoplasma bergerak sekeliling permukaan dalam dinding sel, membawa bermacam organel. Pada contoh tertentu untaian aliran sitoplasma dapat menembus vacuola. Dalam beberapa sel hijau, chloroplast yang berbentuk cakram dapat bergerak dengan bebas dan terlepas dari permukaan mereka pada permukaan daun. Biasanya mereka melakukan hal ini untuk memberikan respon terhadap perubahan intensitas cahaya, tetapi macam gerak yang bagaimana yang dibuat mereka tidak diketahui dengan pasti.

Sekarang kita telah memperhatikan struktur sel secara umum, marilah kita ingat kembali tiga bagian sel tumbuhan hijau :

1. Chloroplast, memungkinkan sel untuk merubah energi cahaya menjadi energi kimia. Pada waktunya memungkinkan sel membuat makanannya sendiri melalui fotosintesis.
2. Dinding sel, berfungsi sebagai rangka tubuh tumbuhan. Ia membungkus protoplast dalam kerangka yang kaku dan memungkinkan tekanan turgor yang besar.
3. Vacuola sentral, yang menempati 90% atau lebih isi sel tumbuhan, mengumpulkan hasil pembuangan sel. Vacuola sendiri juga menyerap air secara osmosis dan menyebabkan turgor pada sel.

## MACAM-MACAM SEL

Satu batang tumbuhan adalah kumpulan dari banyak macam sel dengan bentuk dan fungsi yang berbeda. Proses yang menyebabkan timbulnya perbedaan merupakan teka-teki besar dalam biologi. Bebe-

rapa perkembangan yang tidak diketahui, mungkin dari luar inti, dan di luar sel itu sendiri, menentukan peranan apa yang akan dilaksanakan oleh sel apakah ia akan menjadi sel reproduktif atau sel penyokong dan sebagainya. Jika sebuah sel berubah dan beradaptasi pada satu peranan tertentu, ia biasanya tidak dapat diubah kembali kepada peranan semula atau mengambil peranan baru.

Ditinjau dari sudut fungsi, satu tumbuhan terdiri dari macam macam sel berikut : (gambar 2.12).

#### Sel Meristematik

Sel ini mempunyai kesanggupan untuk membelah berulang kali dan meningkatkan jumlah sel-sel baru pada tumbuhan. Pada umumnya sel-sel meristematik berbentuk kubus, kecil, berdinding tipis dan mempunyai banyak vacuola. Intinya besar dibandingkan dengan bagian lainnya.

#### Sel Parenchym

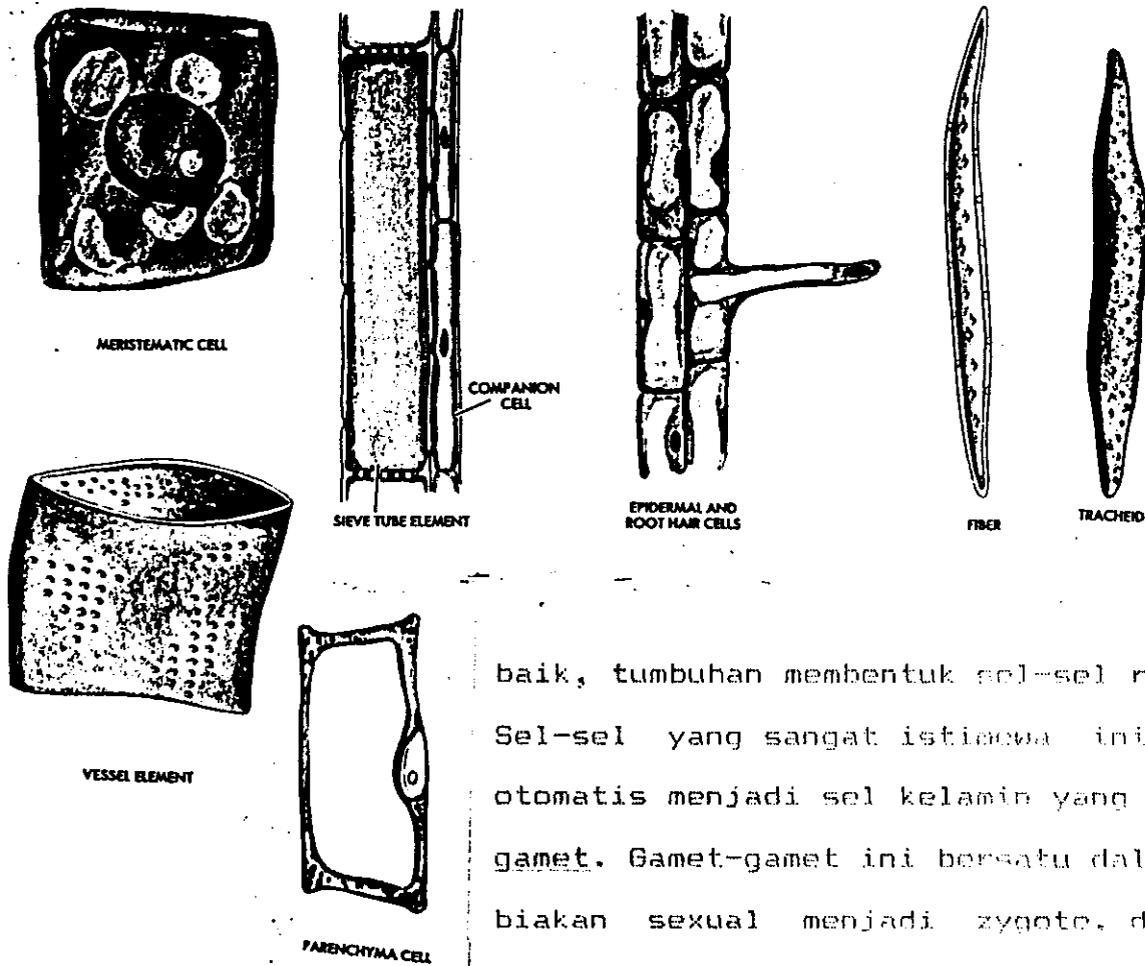
Sel ini besar, biasanya berdinding tipis, berisi banyak, isinya tetap hidup. Mereka secara relatif tidak berbeda, membentuk sebagian besar bagian tumbuhan yang lebih lunak, sebagian besar dari buah, bagian yang lunak pada batang dan daun dan sebagainya. Mereka berisi chloroplast atau beradaptasi untuk menyimpan air dan menyimpan makanan seperti pati.

#### Sel-sel reproduksi

Bila temperatur dan kondisi lainnya sepanjang hari demikian

Gambar 2.12

Macam-macam Sel Tumbuhan



baik, tumbuhan membentuk sel-sel reproduksi. Sel-sel yang sangat istimewa ini secara otomatis menjadi sel kelamin yang disebut gamet. Gamet-gamet ini bersatu dalam pembiakan seksual menjadi zygote, dari mana turunan yang baru berkembang.

Sel itu merupakan bentuk (struktur) yang komplet. Organel-organel yang banyak itu berhubungan dan tergantung satu sama lain. Bagianya yang bermacam-macam itu dibentuk dari aktifitas yang terus menerus (tak henti-hentinya), tanpa aktifitas itu sel akan mati. Sel-sel tertentu mempunyai kesanggupan yang luar biasa untuk membuat turunan mereka yang komplet berkembang dan menggantikan mereka sendiri. Yang lain berubah menjadi bentuk struktur dan fungsi yang khusus. Sehubungan dengan perkembangan yang sangat menakjubkan dalam mempelajari sel dan organel-organel, para biolog masih sangat jauh dari pengertian yang terperinci terhadap fungsi yang komplet ini.

## RINGKASAN

Tumbuhan dan hewan dibangun dari unit dasar disebut sel, yang sangat bervariasi ukuran dan kekompletannya, tergantung kepada makhluknya. Sel bakteri yang sederhana, barangkali berisikan lebih dari satu milyar molekul. Tiap sel tumbuhan terdiri dari tiga bagian pokok, dinding sel, materi/bahan hidup (protoplast) dan vacuola. Di dalam protoplast ada bermacam organel, benda mikroskopis dengan fungsi tertentu. Yang terbesar dan terpenting adalah inti, yang berisi informasi hereditas dalam bentuk suatu kode kimia. Kode ini tergantung pada order dari cetakan molekul dasar, yang disebut nucleotide, dalam satu molekul yang panjang disebut deoxyribonucleic acid atau DNA. DNA ini dapat menghasilkan kopi/duplikatnya sendiri, yang kemudian disebar ke dalam semua sel yang baru, yang dihasilkan dari pembelahan sel.

Keadaan tubuh sel tergantung pada jenis proteinnya yang langsung mengontrol aktifitas kimia, dasar kehidupan. Molekul yang besar ini terbuat dari kira-kira 20 jenis asam amino yang terhentuk dari kerja sama aktifitas kimia pada beberapa jenis molekul ribonucleic acid (RNA) yang berada di luar inti. Kode kimia di dalam molekul DNA menentukan sifat RNA, yang nanti menentukan pula jenis protein. Melalui proses pemindahan informasi dari DNA kepada RNA terus ke protein, secara langsung inti menentukan keadaan sel.

Organel lain yang penting adalah chloroplast, tempat fotosintesis berlangsung dan mitochondria tempat makanan dioksidasi (dibakar) dan energi dikeluarkan dan ditumpuk dalam bentuk mole-

kul adenosin triphosphate (ATP). Dalam molekul ini tersedia energi dan dapat diberikan kepada proses kimia atau proses fisik dalam sel.

Dinding sel dibuat oleh protoplasma. Ia disusun dari bahan pectic (lunak seperti selai), tetapi kemudian dikeraskan dengan menambahkan cellulose dan lignin yang bersifat kayu. Ia menumpang berdirinya tumbuhan, bertindak sebagai rangka yang tersebar luas. Vacuola adalah teng pusat cairan encer, biasanya menempati lebih dari 90% dari keseluruhan volume sel. Ia berisi cairan bahan mentah dan hasil-hasil pembuangan sel. Seperti lapisan luar protoplast, ia dikelilingi oleh selaput permeabel yang menentukan urutan molekul-molekul yang berbeda masuk dan keluar sel. Karena air dapat melalui membran ini lebih mudah dari bahan-bahan lainnya, dan karena bahan yang diolah di dalam air vacuola sangat sukar bergerak, air cenderung merembes ke dalam vacuola (osmosis), membentuk/menyebabkan tekanan turgor yang besar, yang menyebabkan kokohnya tumbuhan.

Tumbuhan mempunyai banyak macam sel, tetapi kita tidak tahu kenapa dan bagaimana sel-sel yang mempunyai bentuk genetik yang sama menjadai berbeda. Di antara sel-sel yang berada pada satu jenis tumbuhan, sel meristematik menghasilkan sel-sel baru, sel-sel pelindung, sel-sel penyokong (penumpang) dan penghubung, sel-sel penyimpan makanan dan air dan akhirnya gamet, sel-sel khusus untuk pembiakan seksual, yang dibentuk hanya pada waktu tertentu dalam siklus hidup tumbuhan.

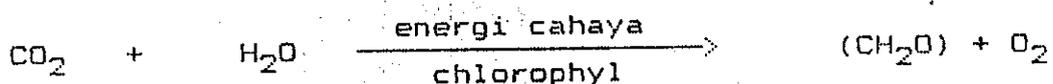
### BAB III

#### MAKANAN TUMBUHAN

Sebagaimana halnya semua organisme, tumbuhan hijau membutuhkan tiga jenis bahan gizi; bahan makanan, mineral dan air. Seperti kita lihat pada bagian terdahulu, tumbuhan hijau berbeda dari kebanyakan organisme dalam hal membuat makanan. Mereka membuat makanan dengan merubah karbondioksida menjadi gula dengan bantuan energi cahaya dan alat fotosintesis yaitu chlorophyl yang berada dalam chloroplast. Dalam fasal ini akan dikemukakan bagaimana tumbuhan hijau melaksanakan fotosintesis dan memenuhi bermacam kebutuhan makanan mereka.

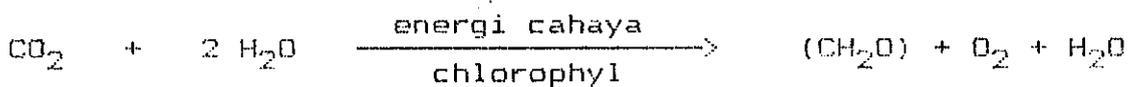
#### FOTOSINTESIS

Ketika cahaya matahari diserap oleh chloroplast, karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air dirobah menjadi gula dan oksigen. Jumlah  $\text{O}_2$  yang dikeluarkan sama dengan volume  $\text{CO}_2$  yang dipakai. Tumbuhan adalah penting dalam keseimbangan alam karena mereka mengeluarkan kembali  $\text{O}_2$  ke udara yang dibutuhkan oleh sebagian besar organisme. Marilah kita pakai formula  $\text{CH}_2\text{O}$  untuk menunjukkan unit dasar dari satu molekul karbohidrat (C = karbon, H = hidrogen dan O = oksigen). Enam unit ini ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) akan menghasilkan :  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  atau glucose. Dengan demikian persamaan reaksi fotosintesis adalah seperti di bawah ini :

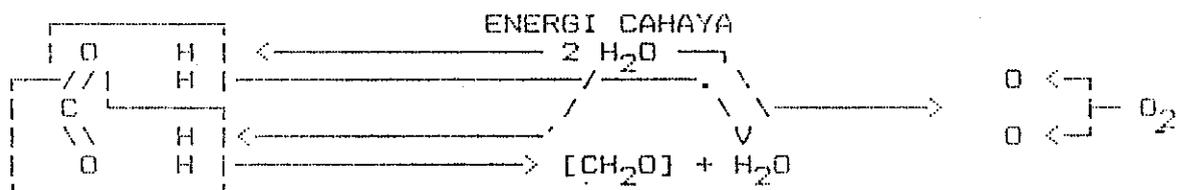


Persamaan ini mula-mula seimbang (berarti bahwa jumlah atom oksigen, hidrogen dan atom karbon di sebelah kiri sama dengan di

sebelah kanan), tetapi ia memberikan suatu ide yang tidak benar ditinjau dari cara reaksi yang berlangsung. Melihat kepada persamaan tersebut kita akan mengira  $O_2$  yang disebelah kanan berasal dari  $CO_2$  yang di sebelah kiri, tetapi bukanlah demikian. Oksigen bebas yang dikeluarkan fotosintesis berasal dari air ( $H_2O$ ) bukan dari  $CO_2$ . Energi cahaya dipakai untuk memisahkan atom-atom hidrogen dari atom oksigen dalam satu molekul air. Ini terlihat merupakan kunci dari keseluruhan proses fotosintesis, karena ia menunjukkan satu pandangan dimana energi cahaya bertugas untuk mengerjakan pekerjaan kimia. Jika kita perhatikan persamaan itu kembali, kita akan melihat bahwa ada dua atom oksigen bebas di sebelah kanan, tetapi hanya ada satu atom oksigen dalam satu molekul air di sebelah kiri. Karena oksigen bebas berasal dari molekul air, kita harus punya paling kurang dua molekul air di sebelah kiri. Untuk menulis persamaan keseimbangan yang betul terjadi pada keseluruhan reaksi, kita harus menambah satu molekul air kepada setiap sisi (kedua belah) persamaan. Dengan demikian persamaan tersebut menjadi :



Karena dua molekul air di sebelah kiri dipisah secara komplet oleh energi cahaya, molekul air yang baru terbentuk di sebelah kanan, harus merupakan hasil dari kombinasi baru antara atom oksigen dan hidrogen. Skema di bawah ini akan menolong untuk memperlihatkan apa yang terjadi :



Ini memperlihatkan bahwa cahaya memecah kedua molekul air itu, mengeluarkan dua atom oksigen yang bersatu membentuk satu molekul oksigen. Keempat atom hidrogen bersatu kembali dalam dua cara :

(1) dua di antara mereka bersatu dengan satu atom oksigen dan satu atom karbon dari  $\text{CO}_2$  membentuk  $\text{CH}_2\text{O}$ ;

(2) dua yang lainnya bersatu dengan atom oksigen yang lainnya (sisa), menghasilkan molekul air yang baru.

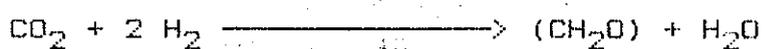
Demikianlah kejadiannya. Sebetulnya banyak langkah yang terjadi dalam setiap reaksi di atas, sebagian telah diketahui dan sebagian belum.

Mempelajari fotosintesis yang dilakukan oleh mikro organisme membantu kita untuk memperlihatkan bahwa urutan proses yang terjadi pada tumbuhan tinggi ini secara dasar adalah benar. Sebagai contoh bakteri yang melaksanakan fotosintesis memakai hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) sebagai pengganti  $\text{H}_2\text{O}$ . Jika oksigen yang dibebaskan selama fotosintesis tumbuhan hijau datang dari  $\text{CO}_2$ , tentu saja oksigen juga akan dibentuk oleh bakteri, karena mereka juga memakai  $\text{CO}_2$  dalam fotosintesis. Tetapi nyatanya tidak ada oksigen yang dihasilkan sebagai penggantinya adalah sulfur. Persamaan reaksinya adalah :



Hal yang sama dapat dicobakan dengan sejenis alga mikroskopis yang memakai hidrogen ( $\text{H}_2$ ) pengganti air, untuk merubah  $\text{CO}_2$  menjadi ( $\text{CH}_2\text{O}$ ). Dalam hal ini ternyata tidak ada oksigen dikeluarkan.

Reaksinya adalah :



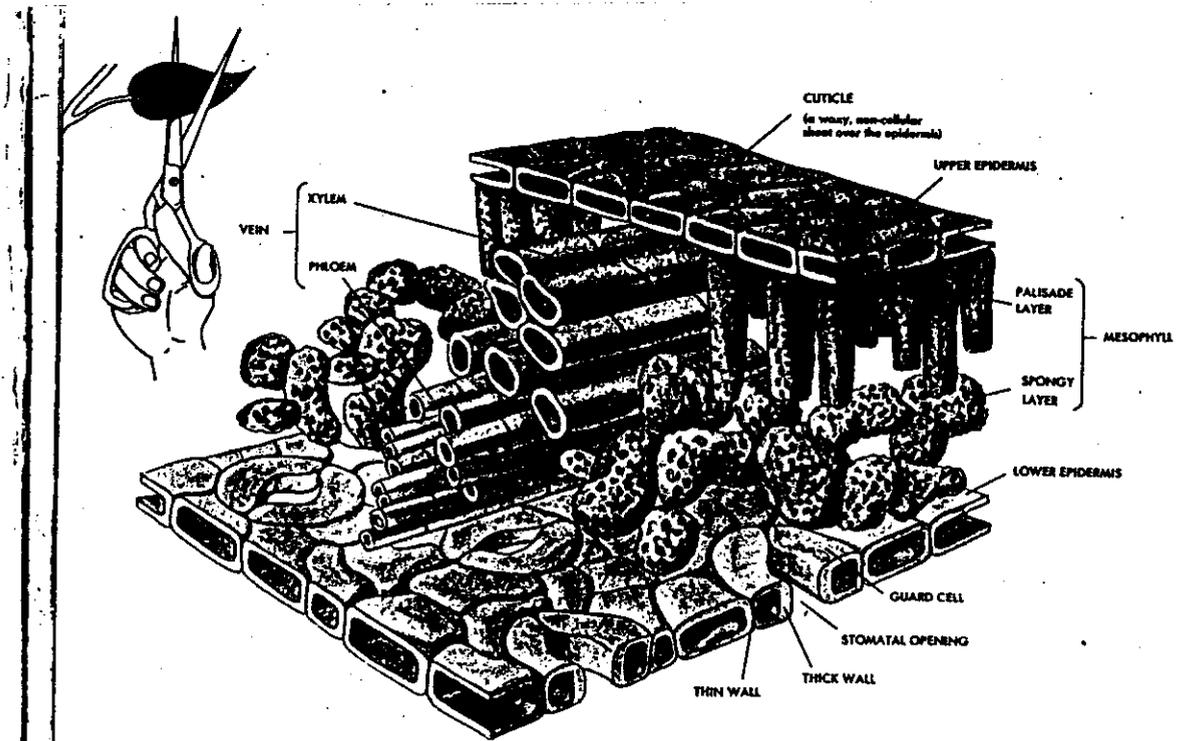
Dalam skema ini, seperti juga pada yang lain, jelas bahwa energi cahaya memecah molekul yang berisi hidrogen, sehingga beberapa

hidrogen yang dikeluarkan dipakai untuk merubah  $CO_2$  menjadi  $(CH_2O)$

### Bahan Mentah Fotosintesis

$CO_2$  yang ikut dalam fotosintesis masuk ke dalam sel-sel hijau pada daun dan batang tumbuhan hijau melalui lobang kecil pada permukaan daun yang disebut stomata. Stomata menuju ke satu sistim percabangan saluran-saluran udara. Setiap daun mempunyai beberapa lapis sel yang secara selektif mengadakan fotosintesis. Keseluruhan lapisan ini disebut mesophyll. Epidermis yang mengelilingi daun melindungi mesophyll. Elemen penghubung (tulang daun) memungkinkan daun untuk mengadakan dua arah pengangkutan. Mereka membawa bahan mentah ke daun dan membawa hasil fotosintesis serta hasil-hasil lainnya dari daun. Tulang daun bercabang-cabang sedemikian banyaknya sehingga tidak ada sel mesophyll yang terhindar dari tulang daun.

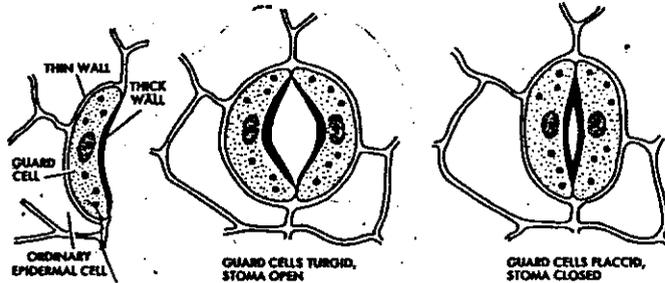
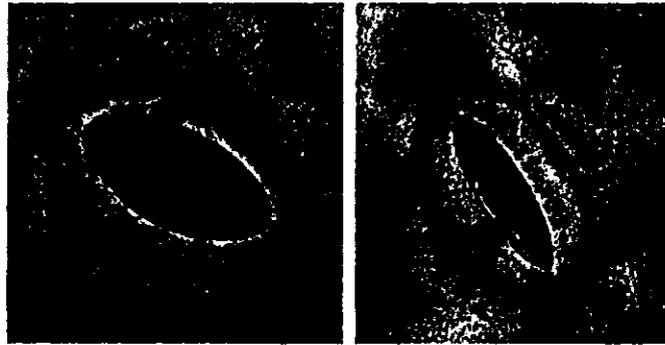
Stomata terbuka dan tertutup sebagai akibat dari tekanan turgor guard cells (sel pengawal) yang berbentuk setengah ling-



Gambar 3.1  
Potongan Melintang Daun

karan yang mengelilinginya. Dinding dalam sel-sel pengawal ini lebih tebal daripada dinding luarnya. Bila sel pengawal dalam keadaan berturgor tinggi dinding luar yang lebih lemah mengembang keluar dan membawa dinding dalam yang lebih kuat bersamanya. Kejadian ini menyebabkan lobang stomata terbuka. Bila sel pengawal menjadi layu (ketika hari panas), dinding dalam yang tebal dan elastis menarik bagian lainnya menuju ke arah dalam lobang, sehingga lobang menutup. Pengontrolan terhadap membukanya stomata menolong menghalangi terlalu banyaknya uap air yang hilang.

Gambar 3.2  
Mulut Daun



Molekul-molekul  $CO_2$  yang memasuki stomata mengalir melalui saluran udara yang berhubungan satu sama lain ke mesophyll. Bila ia sampai pada permukaan lembab pada sebuah sel, ia larut dalam air dan membentuk persediaan  $CO_2$  yang dapat dipakai kemudian untuk fotosintesis. Oksigen yang dihasilkan selama fotosintesis meninggalkan mesophyll, mengalir melalui saluran udara dan sto-

mata ke luar.

Bila stomata ditutup, terjadi pengurangan aliran  $\text{CO}_2$  ke mesophyll dan pengurangan jumlah oksigen yang meninggalkan mesophyll. Bila ini terjadi, oksigen mungkin diserap kembali dalam pernafasan. Persis seperti yang kita lakukan, tumbuhan memakai oksigen dalam pernafasan.  $\text{CO}_2$  yang dikeluarkan dapat dipakai lagi untuk fotosintesis lebih lanjut.



Menutupnya stomata tidak menghalangi fotosintesis atau pernafasan, tetapi ia sangat menghalangi pertukaran gas dengan dunia luar. Fotosintesis pada kondisi normal dapat terjadi 10 sampai 20 kali lebih cepat daripada pernafasan, tetapi tidak lebih cepat dari pernafasan bila stomata ditutup. Jelaslah bahwa penutupan stomata yang terjadi karena kelayuan, menyebabkan sangat merendahnya keseluruhan aktifitas fotosintesis pada tumbuhan. Air yang dibutuhkan fotosintesis dan aktifitas lainnya pada daun diserap dari tanah oleh akar. Secara difusi, air masuk ke dalam sel, diangkut melalui xylem yang berada pada bagian pusat akar, dan bergerak ke atas ke tulang-tulang daun. Pada ujung tulang daun, air merembes ke dalam sel mesophyll di sampingnya, dari satu sel ke sel yang lain. Sejumlah air menguap dari permukaan sel mesophyll dan keluar dari stomata melalui saluran udara. Jumlah air yang dibutuhkan dalam fotosintesis hanya sebagian kecil dari jumlah air yang diserap dan yang diuapkan oleh tumbuhan. Supaya derajat fotosintesis tertinggi, daun harus berturgor dan stomata terbuka. Air yang tersimpan merendahkan, demikian juga penutupan stomata mengganggu fotosintesis, sebab membatasi masuknya  $\text{CO}_2$  ke daun.

Gula dan bahan organik lain yang dihasilkan pada fotosintesis dikumpulkan dengan segera dalam sel-sel mesophyll. Sebagian dari gula dirobah menjadi tepung (satu molekul yang besar terdiri dari beberapa ribu unit glukosa yang bersatu). Putir tepung dapat dibentuk langsung dalam chloroplast, atau dalam leucoplast pada jaringan yang tak hijau. Kebanyakan dari gula yang tersedia yang dibentuk selama fotosintesis dirobah menjadi sukrosa, yang terdiri dari satu molekul gula sederhana, glukosa dan fruktosa. Sukrosa adalah gula yang utama diangkut pada tumbuhan. Ia masuk ke dalam phloem dan melalui phloem ini dengan cepat diangkut ke seluruh bagian tumbuhan. Karena pada tumbuhan yang berkayu banyak phloem hanya ditemukan pada daerah kulit, maka melalui kulit (oleh benang-benang, kawat penahan dan sebagainya) dapat memutus aliran gula. Ini dapat menghalangi pertumbuhan tumbuhan atau membunuhnya.

Jika batang utama suatu pohon dilingkungi (dikorset), ia akan mati karena matinya (kelaparan) sistem akar. Jika sebuah dahan dikorset, gula yang diangkut ke luar akan tertahan. Karena penumpukan gula, daun-daun atau buah pada dahan itu akan cenderung untuk berkombang lebih besar dari yang seharusnya. Teknik ini dipakai untuk menghasilkan buah yang luar biasa besarnya pada suatu dahan. Sebaliknya gerakan air terjadi pada bagian yang mati yaitu bagian tengah tracheid dan vesel sel. Gerakan gula melalui phloem tergantung pada aktifitas kimia sel-sel tabung pengayak phloem. Jika aktifitas ini dihentikan, maka terlalu banyak gula dan tepung tertumpuk di dalam mesophyll daun dan menurunkan fotosintesis.

Supaya terjadi tingkat fotosintesis yang tinggi harus diberikan jumlah cahaya, air dan karbondioksida yang cukup ke daun dan harus diutamakan penguatan hasil fotosintesis yang memadai dari daun.

Kita dapat mengerti segala sesuatu tentang fotosintesis dengan mencoba menjawab tiga pertanyaan pokok berikut :

- 1). Bagaimana energi cahaya ditangkap dan kemudian bagaimana berlangsungnya reaksi kimia ?
- 2). Melalui proses apa karbondioksida dirobah menjadi gula ?
- 3). Melalui proses apa oksigen dikeluarkan dari air.

### Reaksi Cahaya

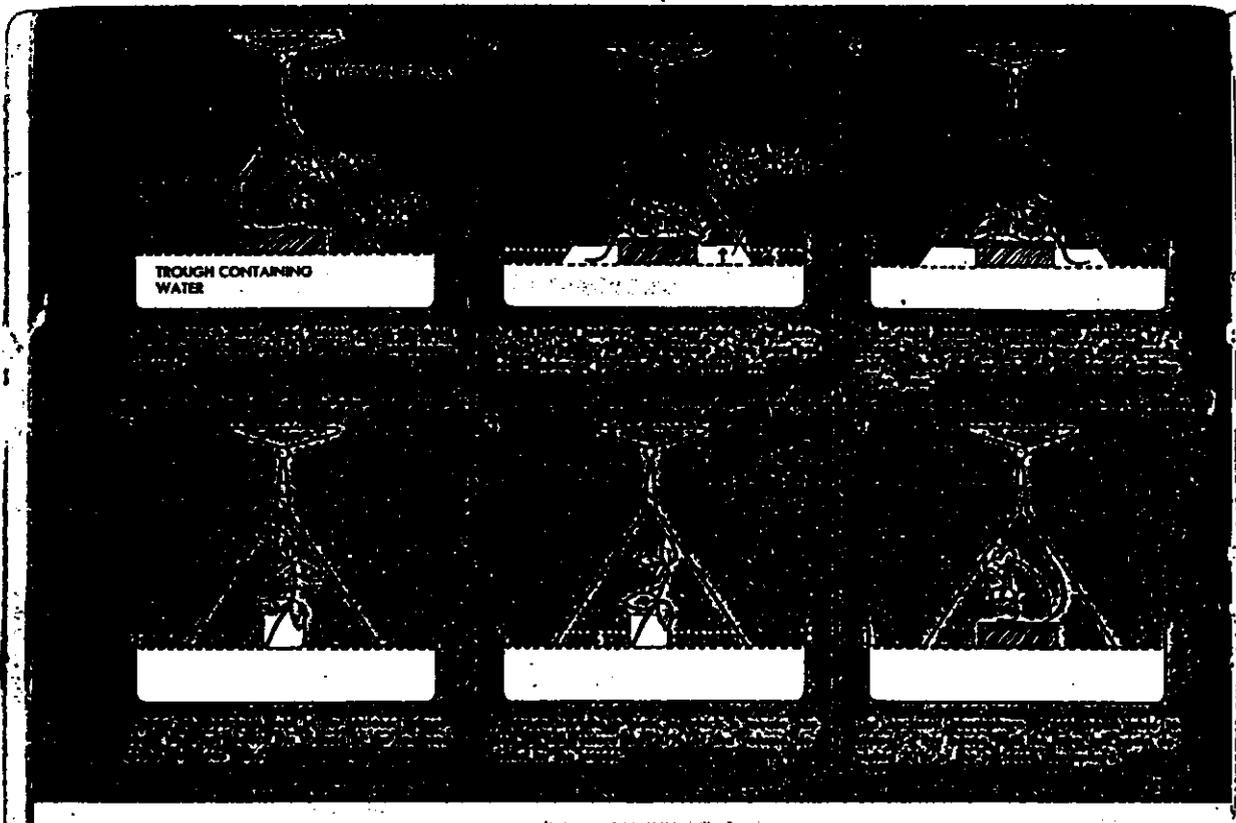
Untuk berlangsungnya fotosintesis cahaya harus diserap oleh tumbuhan. Bila itu terjadi barulah reaksi-reaksi kimia yang banyak dapat berjalan/berlangsung. Mata rantai yang pertama dalam rantaian reaksi itu dikerjakan oleh molekul-molekul yang berpigmen dimana kloropillah yang utama. Bila molekul yang berpigmen menyerap cahaya, ia berubah dengan segera dan dikatakan menjadi aktif.

Dalam fasal pertama dikatakan bahwa tumbuhan sensitif terhadap semua rangsangan cahaya yang dapat dilihat. Sekarang kita dapat memperbaiki statemen itu. Bayangkan pada suatu waktu kita menyinarkan cahaya yang berbeda panjang gelombangnya pada sehelai daun yang hijau dan mengukur tingkat fotosintesis yang terjadi. Jika betul-betul kita lakukan, kita akan menemukan bahwa cahaya biru dan cahaya merah menimbulkan tingkat fotosintesis yang tertinggi, dan cahaya hijau menimbulkan tingkat fotosintesis yang rendah.

Jika kita urutkan warna-warna spektrum yang dapat dilihat, spektrum yang panjang gelombangnya lebih pendek (biru) adalah disebelah kiri dan yang panjang gelombangnya lebih panjang (merah) terletak di sebelah kanan dan kemudian digambar sebuah kurva yang memperlihatkan setiap panjang gelombang serta tingkat fotosintesis yang terjadi, kita memperoleh spektrum nyata (action spectrum). spectrum nyata yang digambarkan di sini memperlihatkan urutan keefektifan relatif tiap panjang gelombang dari 400 mikron ( $\mu$ ) sampai 700  $\mu$ . Walaupun cahaya merah dan biru diperlihatkan yang terefektif, kuning juga terlihat meningkatkan tingkat fotosintesis. Ternyata bahwa pigmen carotenoid kuning, yang berada dalam jumlah besar dalam chloroplast, juga menyerap cahaya yang berguna dalam fotosintesis. Karena carotenoid tidak dapat melakukan fotosintesis bila chlorophyll tidak ada, diasumsikan bahwa energi yang diperoleh carotenoid dengan menyerap cahaya diteruskan pada chlorophyll. Chlorophyll itu kemudian melaksanakan fotosintesis yang sesungguhnya.

Dengan menyinarakan cahaya dari tiap panjang gelombang melalui larutan chlorophyll, kita dapat menghasilkan suatu spektrum penyerapan (absorption spectrum) yang memperlihatkan bahwa cahaya yang terpanjang panjang gelombangnya sangat efektif diserap oleh chlorophyll. Dengan membandingkan spektrum penyerapan untuk chlorophyll dan spectrum kerja kita akan dapat menjelaskan bahwa chlorophyll adalah zat warna pokok yang menerima cahaya untuk fotosintesis.

Beberapa tahun yang lalu ahli botani menemukan bahwa kombinasi cahaya merah dan biru menghasilkan kecepatan fotosintesis yang lebih tinggi daripada cahaya merah sendiri. Ini menjurus kepada teori bahwa ada dua jenis chlorophyll yang berbeda dan kedua



Gambar 3.3

Efek Tumbuhan Terhadap Hewan

nya harus diaktifkan oleh cahaya untuk melaksanakan fotosintesis yang berkecepatan tinggi.

Spektrum aktif pada fotosintesis algae/ganggang merah, ganggang biru, ganggang hijau, ganggang coklat sangat berbeda daripada daun hijau. Tetapi pada setiap kasus ada pigmen yang mempunyai spectrum serap cocok dengan kerja fotosintesis dari organisme itu. Beberapa organisme, pigmen fotosintesis ditemukan dalam chloroplast yang telah bermodifikasi, atau tubuh-tubuh kecil yang dinamakan chromatophores. Pada semua contoh di atas cahaya memecah molekul air atau material lain yang berisi hidrogen, lalu membebaskan atom hidrogen untuk merubah karbondioksida menjadi gula.

Energi matahari merangsang reaksi kimia dalam tumbuhan hijau yang menghasilkan gula dan oksigen bebas. Pada waktu itu energi

telah melaksanakan pekerjaan fotosintesis, yang telah berubah banyak sekali. Kita dapat menyimpulkan perubahan energi ini menurut lima langkah berikut :

- 1). Energi cahaya matahari mengaktifkan molekul pigmen.
- 2). Pigmen yang diaktifkan ini kehilangan satu elektron. Karena elektron ini diberi tanda negatif, lobang diberi tanda positif, ditinggalkan dalam chloroplast. Elektron yang hilang ini ditangkap oleh penerima elektron yang kemudian dapat memberikan elektron tersebut kepada penerima elektron yang lain dan sebagainya.
- 3). lobang tanda positif dalam chloroplast memindahkan sebuah elektron dari molekul air (tepatnya dari satu unit  $\text{OH}^-$  yang disebut hidroxyll ion).
- 4). Gerakan elektron ini menimbulkan sejenis arus listrik. Energi yang dihasilkan dipakai untuk membentuk ikatan fosfat yang berenergi tinggi seperti ATP, dari yang berenergi rendah seperti ADP.
- 5). Energi kimia ATP dipakai untuk merubah  $\text{CO}_2$  menjadi gula. Pada tingkat ini energi cahaya yang asli dari matahari telah menjadi energi kimia potensial tersimpan dalam molekul gula.

Dengan cara ini energi cahaya dirobah menjadi energi fisik yang tidak stabil pada pigmen yang diaktifkan, kemudian menjadi suatu aliran elektron, kemudian energi kimia pada molekul-molekul yang stabil (gula). Berarti peranan yang dimainkan cahaya dalam fotosintesis sempurna bila ATP telah terbentuk. Semua reaksi-reaksi berikutnya (subsequent) dapat terjadi dalam gelap.

## Perubahan CO<sub>2</sub> menjadi Gula

Dalam tahun akhir-akhir ini kita telah banyak mempelajari tentang perubahan CO<sub>2</sub> menjadi gula melalui fotosintesis. Salah satu bahan yang dipakai oleh ahli biologi adalah satu bentuk karbon yang disebut Carbon 14. Sebuah atom karbon biasa mempunyai 6 proton dan 6 neutron pada nucleus, tetapi Carbon 14 mempunyai 6 proton dan 8 neutron. Hal ini membuat atom itu tidak stabil, karena itu ia radio-aktif. Karena karbon 14 radio-aktif kita dapat menentukannya dalam suatu substansi dengan memakai alat penghitung radiasi (geiger counter).

Kita dapat membuat karbon radio-aktif menjadi CO<sub>2</sub> dan kemudian memberikan CO<sub>2</sub> radiopaktif itu kepada sel-sel yang sedang mengadakan fotosintesis. Kemudian dengan memecah sel itu kita dapat menemukan ikatan kimia apa yang telah dibentuk dari karbon radio-aktif. Ternyata bahwa hasil yang pertama dibentuk dari karbon radioaktif adalah 3-phosphoglyceric acid, dipendekkan PGA.

Dengan pertolongan ATP dan penerima elektron yang dibentuk selama reaksi cahaya, PGA dirobah menjadi gula. Gula ini dapat ditumpuk dalam bentuk pati, atau dirobah menjadi cellulose, asam organik, asam lemak dan asam amino. Karena itu gula yang dibuat dari CO<sub>2</sub> melalui fotosintesis adalah molekul organik yang utama yang dipakai oleh sel-sel tumbuhan tinggi untuk membuat blok bangunan yang dibutuhkan oleh sel itu.

## Pengeluaran Oksigen

Pertanyaan terakhir yang harus kita jawab tentang biokimia fotosintesis yang belum diselesaikan adalah : dengan jalan apakah

oksigen dihasilkan ? Tahap pembentukan gula dari  $\text{CO}_2$  telah dimengerti dengan baik, tetapi kita belum menemukan tahap pembentukan /penghasilan oksigen.

Kebanyakan para penemu sekarang merasa bahwa tiap molekul air pertama kali dipecah menjadi ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$ . Dalam fotosintesis sebuah elektron dikeluarkan dari ion  $\text{OH}^-$ , sehingga menjadi hidroksil ( $\text{OH}$ ) yang tidak bermuatan tetapi tak stabil. Ikatan  $\text{OH}$  kemudian bersatu dan membentuk peroxide, seperti  $\text{HO.OH}$ . Peroxide itu dapat kemudian dipecah dengan satu cara hingga oksigen bebas dikeluarkan. Hanya melalui penyelidikan lebih lanjut akan diketahui proses yang terperinci. Proses fotosintesis telah diperlihatkan pada halaman muka.

#### BAHAN MAKANAN MINERAL

Selain dari bahan organik yang dihasilkan melalui fotosintesis, tumbuhan membutuhkan banyak macam elemen mineral. Elemen-elemen ini diserap dari dalam tanah oleh sistem perakaran dan diangkut ke atas melalui xylem dan ke bawah melalui phloem. Tumbuhan memakainya untuk membangun bagian yang baru dan untuk melaksanakan aktifitas kimia yang besar, yang berlangsung di dalam sel. Semua elemen ini kecuali satu yaitu nitrogen, berasal dari karang yang membentuk tanah. Nitrogen diambil dari atmosfer, terutama sekali melalui proses "nitrogen fixation". Elemen essensial adalah elemen yang tanpanya tumbuhan tidak dapat mengompletkan siklus hidupnya. Untuk menemukan elemen mana yang essensial, kita dapat menanam perbenihan dalam bejana kaca (gelas keras), gelas porselen atau pot plastik, berisi pasir kuarsa murni yang telah dicuci bersih. Kemudian kita beri larutan makanan garam murni dan air yang telah didestilasi. Sangat perlu sekali, dengan jelimet

mengeluarkan kotoran organik, makhluk mikroskopis dan debu yang kesemuanya itu mungkin membawa elemen mineral. Kadang-kadang pada biji tumbuhan yang besar seperti kacang kebun, kita harus membuang bagian yang disebut "cotyledon", karena ia mungkin berisi tumpukan elemen yang cukup sehingga tidak perlu menyerap dari luar, setidaknya-tidaknya untuk satu generasi.

Bila kita menumbuhkan tumbuhan percobaan dalam suatu medium makanan mineral yang berisi semua elemen essential, ia akan berkembang dengan baik dan normal. Ini memperlihatkan bahwa tumbuhan hijau dapat mensintesis semua molekul organik yang ia butuhkan, termasuk vitamin dan hormon. Kenapa akhirnya kita juga memakai pupuk organik ?

Jawaban tidak terletak pada tanaman sendiri, tetapi pada keadaan tanah. Tanah itu suatu medium yang komplet untuk pertumbuhan tumbuhan. Ia terdiri dari :

- 1). Pasir kasar, lumpur yang baik dan partikel tanah liat yang amat baik, semuanya pecahan karang;
- 2). Bahan organik, secara umum sisa pelapukan tumbuhan dan hewan;
- 3). Bermacam jenis organisme hidup termasuk bakteri, jamur, ganggang, protozoa, cacing, serangga dan hewan yang lebih besar;
- 4). Cairan tanah (berisi materi organik dan anorganik dalam air) yang membentuk lapisan yang tipis sekeliling partikel karang;
- 5). Udara, campuran dari gas oksigen, nitrogen, karbondioksida, sisa gas-gas dari atmosfer.

Pertumbuhan yang sangat baik terutama sekali tergantung pada kondisi fisik tanah. Jika partikel tanah berlekatan sangat dekat sekali, tidak akan mengandung udara yang cukup. Tanpa oksigen,

akar tidak dapat melaksanakan pernafasan. Pengisapan mineral oleh akar juga tergantung pada adanya oksigen. Suatu tanah dikatakan dalam keadaan baik bila ia mempunyai struktur repih-repih yang baik, berarti bahwa partikel tanah yang baik itu berlokatan bersama-sama untuk membentuk repih-repih yang lebih besar yang terbungkus longgar, membentuk satu kesatuan medium yang beraerasi (aliran udara) yang baik. Terlihat bahwa pupuk organik dapat meningkatkan tanah, karena proses pembentukan repih-repih disempurnakan oleh mikroorganisme tertentu yang menghasilkan satu jenis perekat air (mucilage). Organisme ini hidup pada bahan organik pupuk organik itu. Pupuk organik dibutuhkan hanya jika kondisi fisik tanah buruk. Pada kondisi pertumbuhan yang ideal, seperti dalam pasir kasar yang beraliran udara yang baik disirami dengan larutan garam mineral, pupuk organik tidak menghasilkan tambahan pertumbuhan. Juga tidak ada kejadian bahwa penambahan pupuk organik terhadap tanah meningkatkan kualitas tumbuhan untuk makanan manusia atau hewan daripada yang dihasilkan oleh tumbuhan pada tanah dengan keseimbangan larutan mineral yang baik. Kenyataan ini harus diingat bila seseorang mendengar tuntutan "perkebunan organik" (organicgardening) yang mengagumkan.

Jika kita menumbuhkan satu tumbuhan dalam suatu larutan mineral yang kekurangan beberapa elemen esensial dari jumlah yang seharusnya, tumbuhan tersebut tidak akan sehat. Ia memperlihatkan tanda-tanda khusus (symptoms) yang menyatakan bahwa elemen adalah pemberian buat sementara. Seorang ahli botani yang skill/terampil dapat mempelajari bermacam-macam tanda khas dari kekurangan masing-masing elemen pada tumbuhan. Ia dapat memperbaiki situasi itu dengan memberikan tambahan mineral yang cocok kepada

tanah atau medium tumbuhan tersebut ditanam. Cara yang ideal supaya tumbuhan tetap sehat adalah dengan memotong bagiannya sedikit-sedikit, pada setiap saat dan menganalisisnya secara kimia. Suatu elemen yang ditemukan dalam keadaan sedikit (short supply) kemudian ditambahkan ke tanah atau larutan, dengan cepat meningkatkan kegiatan tumbuhan. Larutan makanan mineral yang pertama dipersiapkan oleh ahli botani untuk tumbuhan tinggi hanya berisi tiga macam garam : Kalsium nitrat  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , kalium fosfat  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  dan magnesium sulfat  $\text{MgSO}_4$ . Enam elemen pokok ini, bersama karbon, hidrogen dan oksigen yang ikut dalam fotosintesis, semuanya dibutuhkan oleh tumbuhan tinggi dalam jumlah besar. Kebanyakan tumbuhan dapat memakai nitrogen yang terikat dalam amoniak ( $\text{NH}_3$ ) bahkan lebih baik daripada nitrogen dalam nitrat, seperti kalsium nitrat. Fosfor dapat diberikan dalam bentuk larutan dalam air.

Ketika ahli botani melakukan percobaan dengan garam-garam mineral yang lebih murni, bertambah jelas bahwa tiga larutan garam di atas belum betul-betul komplet. Banyak elemen lain dibutuhkan tumbuhan tetapi dalam jumlah yang lebih sedikit dari pada enam elemen tersebut. Elemen-elemen tambahan ini disebut elemen mikro (micro nutrient elements). Di antara mereka termasuk besi, mangan, tembaga, molibdenum, boron dan klor. Beberapa ahli botani juga mengira bahwa tumbuhan mungkin membutuhkan jumlah yang sangat sedikit dari elemen tambahan, seperti timah, vanadium, stronsium dan iodine. Sebaliknya sel-sel tumbuhan tertentu mempunyai kebutuhan yang sangat khusus. Umpamanya, organisme satu sel yang disebut diatoms membutuhkan silikon untuk membangun dinding sel silikat mereka.

Bila tumbuhan tidak membutuhkan elemen-elemen tertentu, pertumbuhan dan kegiatan mereka ditingkatkan oleh adanya elemen-elemen di atas. Umpamanya weat yang tumbuh pada tempat yang tak ada sliken lebih banyak diserang jamur daripada tumbuhan weat yang tumbuh pada tempat yang ada sliken. Tumbuhan weat yang ditanaman pada tempat yang ada sodium menghasilkan akar yang lebih besar dan lebih berdaging daripada yang ditanam pada tempat tanpa sodium. Sehubungan dengan fakta elemen-elemen seperti itu, tidak dapat dikatakan dengan tegas essensial bagi tumbuhan. Sekarang kita berkesimpulan, tumbuhan memerlukan 16 elemen. Empat (C, H, O dan N) diambil secara langsung dari udara. Yang lainnya 12 elemen (K, Ca, Mg, P, S, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, B, Cl) diambil dari tanah.

GROUP	THE PERIODIC TABLE										IB	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII								
PERIOD	METALLOIDS AND NONMETALS																																			
1	TRANSITION METALS																		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
3	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		
4	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104		
5	LANTHANIDES (Rare Earth Metals)		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111			
6	ACTINIDES		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119			

Gambar 3.4  
Tabel sistem Periodik

## Pengambilan Mineral-Mineral Dari Dalam Tanah

Untuk memasuki tumbuhan, elemen mineral dalam tanah harus pertama-tama melewati selaput semipermeabel sel. Biasanya sel penyerap berada pada akar, tetapi ini tidak selalu demikian. Pupuk yang diberikan pada daun mudah diserap, yang berguna bagi tumbuhan yang sedang tumbuh.

Perjalanan mineral melalui selaput semipermeabel sel merupakan proses yang komplet dan baru sedikit diketahui. Bahkan baru baru ini kita telah bermaksud mempelajari aspek-aspek tertentu dari problem itu. Membran kelihatannya mempunyai banyak tempat melalui mana mineral-mineral tertentu masuk dalam bentuk ion. Potasium dan lithium umpamanya masuk melalui tempat yang sama, dimana mereka bercampur satu sama lain. tetapi sodium masuk pada tempat yang berbeda. Ion adalah group atom yang bermuatan listrik. Dalam bentuk yang normal sebuah atom hidrogen adalah netral. Protonnya yang tunggal membuat nucleus mempunyai muatan positif satu, dan sebuah elektron yang mengelilinginya bermuatan negatif satu. Dua muatan ini meniadakan satu sama lain. Jika elektron itu dipindahkan, atom menjadi  $H^+$ , disebut kation. Sebuah anion adalah sebuah atom atau group atom yang mempunyai muatan negatif, karena mempunyai kelebihan elektron dari proton. Satu contoh adalah klorida ( $Cl^-$ ), karena memperoleh elektron dari hydrogen mendapat muatan negatif ekstra. Molekul yang terbentuk disebut hydrogen chloride ( $HCl$ ), terdiri dari  $H^+$  dan  $Cl^-$  bergabung bersama karena muatan listrik mereka yang berlawanan.

Tumbuhan terlihat memakai energi ketika mereka menyerap ion. Kita kira ini adalah keadaan yang sebenarnya, sebab jika kita perlambat pernafasan tumbuhan, penyerapan ion juga menurun. (Per-

nafasan adalah proses pembebasan energi yang utama pada tumbuhan). Beberapa senyawa atau elemen dapat dikumpulkan dalam sel dengan melawan konsentrasi yang tinggi atau muatan listrik yang cenderung menolak mereka ke luar. Ini dapat dilakukan hanya dengan pengeluaran energi. Jika pernafasan diturunkan, ion-ion yang terkumpul ke luar dari sel.

Kadang-kadang sel-sel akar mengeluarkan ion-ion ke medium luar melalui pertukaran dengan ion-ion yang diserap. Umpanya ion  $H^+$  dalam sel sering ditukar dengan ion  $K^+$  dari medium luar. Pengeluaran ion-ion  $H^+$  ini membuat medium lebih asam. Hal yang sama yaitu penyerapan anion, seperti  $NO_3^-$ , mungkin mengganti kerugian pengeluaran bicarbonate ( $HCO_3^-$ ) atau anion asam organik.

Kebanyakan penyerapan mineral terjadi dekat ujung akar utama atau akar cabang, pada tempat dimana kebanyakan pertumbuhan akar terjadi. Bagian akar yang tua cenderung dilapisi dengan bermacam materi yang menghalangi air masuk (pemasukan air).

### Pengikatan Nitrogen

Kita tahu bahwa pengikatan nitrogen terjadi bila gas nitrogen dirobah menjadi suatu bentuk sehingga tumbuhan dapat memakainya. Pengikatan nitrogen adalah salah satu reaksi yang amat penting dalam semua proses biokimia. Nitrogen atmosfer yang jumlahnya kira-kira 78% dari udara yang kita pakai untuk bernafas adalah molekul yang sangat stabil, terdiri dari dua atom ( $N_2$ ). Molekul ini dengan cara bagaimanapun harus dibuat menjadi tidak stabil, dan dipecah sebelum ia dapat dirobah menjadi satu bentuk yang dapat dipakai oleh tumbuhan. Pekerjaan ini dikerjakan oleh bakteri tertentu yang hidup pada bahan organik dalam tanah. Ia juga dilakukan oleh bakteri yang hidup pada bengkakan-bengkakan

akar tumbuhan tertentu yang disebut nodule. Bakteri nodule ini adalah genus *Rhizobium* dan tumbuhan inang biasanya famili leguminosae.

Baru-baru ini telah ditemukan tumbuhan yang dapat mengikat nitrogen dengan bantuan bakteri selain dari leguminosae. Tambahan lagi ganggang biru dan bakteri fotosintesis dapat juga mengikat nitrogen atmosfer.

Kerjasama dua organisme saling menguntungkan disebut simbiosis. Karena tidak bakteri sendiri, juga tidak tumbuhan inang sendiri yang dapat membentuk nitrogen atmosfer menjadi betuk yang dapat dipakai berupa amonia  $\text{NH}_3$ , kehidupan bersama pada nodule harus dikatakan sebagai suatu kerjasama simbiosis. Akhirnya ahli botani menemukan bahwa bakteri penyerang memasuki tumbuhan inang melalui sel-sel akar rambut yang membengkak dengan aneh. Hasil akhir dari infeksi ini adalah pertumbuhan sel-sel akar yang berlebihan menyebabkan kulit benjol-benjol, disebut nodules.

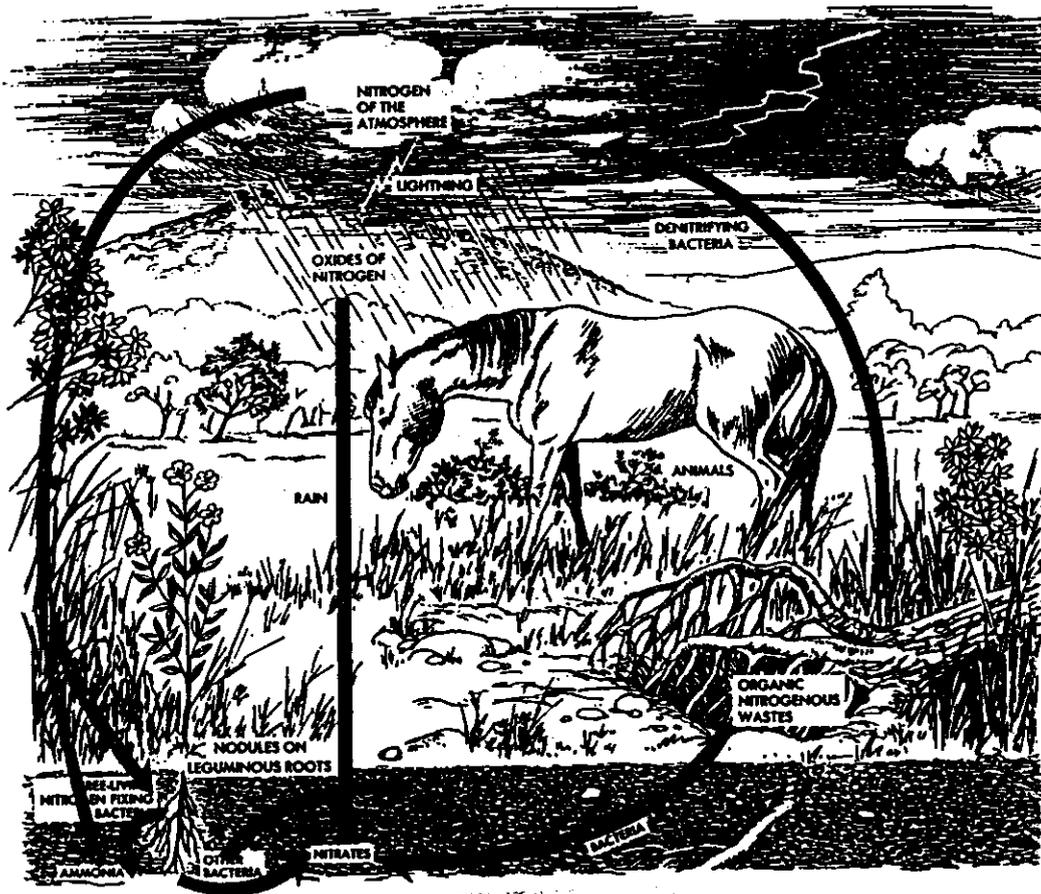
Nodule leguminosae sering berisi pigmen merah yang disebut leghemoglobin, yang dekat sekali hubungannya dengan hemoglobin hewan (sel darah merah). Ini terlihat ikut serta dalam pengikatan nitrogen. Dikira ini adalah betul sebab nodule-nodule yang kekurangan leghemoglobin tidak dapat mengikat  $\text{N}_2$ , tetapi nodule yang berisi pigmen itu dapat mengikat  $\text{N}_2$ . Ferredoxin, suatu substansi yang berisi besi, juga ikut serta dalam pengikatan nitrogen. Dengan bantuannya pengikatan nitrogen sekarang dapat dilaksanakan dalam sebuah test tube. Sebagaimana telah kita ketahui, hasil pengikatan yang sangat stabil adalah amonia, tetapi cara memproduksi dari nitrogen atmosfer masih belum diketahui.

Seperti kita lihat pada halaman muka, kebanyakan tumbuhan

menyerap dan memakai nitrogen dalam bentuk nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), umpamanya dalam bentuk kalsium nitrat. Baru-baru ini ahli Biokimia telah menemukan enzim yang dinamakan nitrate reductase, yang menolong merubah nitrat menjadi amonia. Dengan demikian, sebagai tambahan terhadap masalah pengikatan nitrogen, bakteri mensuplai tumbuhan dengan nitrogen yang dapat dipakai dalam bentuk amonia, enzim nitrate reductase juga pemberi amonia.

Keseluruhan siklus nitrogen di alam dapat diringkas sebagai berikut: nitrogen bebas dalam tanah dirobah menjadi amonia oleh bakteri pengikat nitrogen. Amonia langsung disuplai kepada tumbuhan dari dalam tanah. Sebagai amonium dalam tanah dirobah menjadi nitrat oleh mikro organisme tanah. Nitrat itu kemudian diserap oleh tumbuh-tumbuhan dan dirobah kembali menjadi amonia. Tumbuh-tumbuhan menggabung amonia itu dengan substansi tertentu yang akhirnya menuju kepada pembentukan protein. Dengan demikian, kita dapat mengatakan bahwa bahan dasar pembentukan protein tumbuhan adalah titik akhir dalam siklus nitrogen. Seperti semua siklus lainnya di alam, siklus ini juga tidak berakhir.

Protein tumbuhan dimakan oleh hewan dan dirobah menjadi protein hewan. Nitrogen dikembalikan ke tanah lagi dalam urea, dan asam urea berupa hasil buangan dari hewan. Akhirnya hewan dan tumbuhan mati dan hancur dalam tanah. Materi yang bernitrogen ini dipakai terus-menerus oleh makhluk hidup. Juga nitrogen itu dapat dikembalikan ke atmosfer sebagai molekul nitrogen bebas ( $\text{N}_2$ ) melalui aktifitas-aktifitas bakteri pemecah nitrat.



Gambar 3.4  
Siklus Nitrogen

Fungsi Masing-Masing Elemen Bagi Tumbuhan

Karbon, hydrogen dan oksigen merupakan elemen pokok yang ikut serta dalam fotosintesis, ditambah dengan nitrogen dan fosfor merupakan bahan utama pembangun tubuh tumbuhan. Dinding sel yang merupakan rangka tumbuhan hampir semuanya terdiri dari C, H dan O. Protein yang membentuk sebagian besar bahan organik cytoplasma, terutama sekali disusun dari C, H, O dan N. Asam inti yang merupakan sebagian besar inti dan sebagian cytoplasma disusun dari C, H, O, N dan P. Disamping itu lemak dan karbohidrat yang membentuk sebagian besar cytoplasma sel tumbuhan disusun dari C, H dan O.

Dari 12 elemen yang dibutuhkan tumbuhan, 4 diantaranya dipakai untuk membentuk rangka :

1. Sulfur (belerang) ditemukan dalam beberapa asam amino, bahan pembentuk protein. Walaupun hanya sedikit jumlah sulfur dibutuhkan oleh sel-sel tumbuhan, tetapi ia menjalankan fungsi yang penting. Tanpa sulfur yang merupakan inti asam amino, banyak protein penting pada sel tidak dapat dibuat sama sekali.
2. Kalsium menjalankan beraneka ragam fungsi. Kebanyakan ditemukan dalam dinding sel di mana ia bersatu dengan substansi lain dan menyebabkan dinding sel kaku. Sebagian besar kalsium juga dipakai untuk menetralkan dan mengendapkan sisa-sisa asam organik, yang kemungkinan besar berbahaya, dalam vacuola.
3. Magnesium adalah essensial untuk molekul chlorophyl. Jika tumbuhan tidak memperoleh jumlah magnesium yang cukup, penyakit kekurangan chlorophyl (chlorosis) terjadi di daun. Magnesium juga dibutuhkan untuk mengaktifkan beberapa enzim yang berada dalam semua sel.
4. Phosphor terutama sekali bagian dari DNA, dan sebagai bahan pembentuk lemak yang disebut phospholipids. Phospholipids dikira memegang peranan utama (essensial) dalam pembentukan rangka membran sel. Jika tumbuhan tidak memperoleh cukup fosfor, materi genetic yang baru dalam inti dan cytoplasma tidak dapat dibentuk, dan juga membran baru sekeliling permukaan dalam dari sel dan sekeliling bermacam organel tidak dapat dibentuk. Fosfor juga sangat penting untuk kebanyakan tahap perubahan energi yang terjadi dalam sel. Seperti senyawa ATP yang merupakan pusat penumpukan energi pada sel, mempunyai tiga group fosfat yang berhubungan. Bila group-group fosfat pada satu

molekul ATP dipecah, sejumlah besar energi dikeluarkan untuk melangsungkan bermacam reaksi kimia ; umpamanya untuk menggabungkan dua molekul asam amino.

Walaupun fosfor, magnesium, kalsium dan sulfur mempunyai peranan tambahan dalam sel, peranan mereka sebagai pembentuk rangka adalah sangat penting.

Elemen yang lainnya (K, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl) memainkan peranan utama mereka sebagai bagian yang esensial dari enzim. Molibdenum, umpamanya untuk ikut serta dalam mengaktifkan enzim nitrate reductase, sebagaimana telah kita ketahui di muka, merubah nitrat menjadi amonia. Chlor, dalam bentuk chlorida, diketahui memainkan beberapa peranan dalam pembentukan ATP selama fotosintesis, tetapi peranannya yang pasti belum pernah ditemukan. Jika tumbuhan tidak mempunyai boron yang cukup , sel-sel meristematiknya mati. Sel-sel ini sebagaimana kita ketahui mempunyai kesanggupan untuk membelah berulang-ulang dan meningkatkan jumlah sel-sel baru pada tumbuhan. Dalam kondisi tertentu boron mempercepat jumlah gula mengalir dalam tumbuhan.

#### AIR DAN PENGUAPAN

Air merupakan 90% atau lebih dari berat kebanyakan jaringan tumbuhan. Bahan biji dan spora yang kering dan biji dormand sedikit-tidaknya mempunyai 15% uap air. Tumbuhan terus-menerus menyerap air dari tanah. Pada waktu yang sama, melalui proses yang disebut transpirasi, mereka kehilangan air ke udara melalui penguapan. Jumlah air lewat melalui stomata tumbuhan selama waktu tertentu, lebih besar dari jumlah isinya sendiri. Penguapan berpengaruh terhadap iklim keseluruhan daerah geografi.

Transpirasi pada kebanyakan tumbuhan terjadi di daun dan bagian-bagian lainnya yang berada di udara. Secara essensial, daun adalah lapisan penghalang dari sel-sel berair yang dengan aktif melaksanakan fotosintesis. Ia dilengkapi dengan tulang-tulang daun dan ditutup dengan selaput yang hampir tak tembus air tetapi berlobang-lobang, disebut epidermis. Sel-sel mesophyll yang berair menguapkan jumlah air yang besar ke dalam saluran udara antar sel. Molekul uap air bergerak sepanjang saluran udara, terus ke stomata dan ke dunia luar. Bila kelembaban tinggi dan udara masih lembab, air yang hilang dari sehelai daun sangat berkurang. Daun-daun kekurangan air terbanyak waktu hari kering berangin, bila udara bergerak di atas permukaan daun dengan cepat memindahkan uap air di sekelilingnya.

Pada kebanyakan tumbuhan, sel-sel epidermis ditutup dengan lilin sebagai penghalang, lapisan tak tembus air disebut cuticula (kutikula). Air yang hilang pada tumbuhan yang mempunyai kutikula hampir keseluruhannya berlangsung melalui stomata (mulut daun). Jika mulut daun tertutup transpirasi berhenti sama sekali atau sangat berkurang. Kita telah menjelaskan bahwa membukanya mulut daun dikontrol oleh tekanan turgor sel-sel pengawal (guard cells). Bila tumbuhan kekurangan air, sel-sel pengawal cenderung menjadi layu, sekaligus menutup stomata dan menghentikan uap air keluar (hilang).

Walaupun tumbuhan mempunyai cukup air, sel pengawal dapat juga menjadi layu dan menyebabkan stomata menutup. Dalam tahun-tahun belakangan ini, ahli botani telah menemukan bahwa jumlah  $CO_2$  dalam saluran udara penghubung pada beberapa tumbuhan adalah pengatur pembukaan stomata yang penting. Jika dalam keadaan normal

konsentrasi  $\text{CO}_2$  menjadi di bawah 0,03%, sel-sel pengawal menjadi turgid (berturgor) dan stomata terbuka. Ini biasanya terjadi bila tumbuhan disinari dengan baik dan fotosintesis berjalan aktif. Hasilnya adalah jumlah  $\text{CO}_2$  rendah di udara. Di dalam laboratorium kita dapat mengeluarkan  $\text{CO}_2$  dari udara yang lewat di atas daun. Pengontrol oleh  $\text{CO}_2$  ini menolong menerangkan bagaimana stomata terbuka dengan normal sepanjang siang hari dan tertutup waktu malam. Pola pembukaan stomata dan penguapan biasanya berjalan seperti ini: mulai fajar sekonyong-konyong terjadi peningkatan pembukaan stomata dan penguapan dan mencapai maksimum pada waktu hampir siang (noon). Segera sesudah siang terjadi penurunan karena di bagian luar tumbuhan telah kering sedikit. Kemudian turgornya meningkat sedikit setelah stomata menutup dan penguapan bertambah menurun lagi setelah gelap. Kelakuan stomata dan penguapan keduanya dikontrol oleh tiga hal secara simultan : pemberian air, cahaya pada tumbuhan dan jumlah  $\text{CO}_2$  pada atmosfer.

Tumbuhan yang beradaptasi untuk kehidupan di daerah kering (xerophytes) cenderung mempunyai lebih sedikit stomata per unit luas dari pada tumbuhan yang hidup di daerah yang turun hujan normal (mesophytes). Kebanyakan tumbuhan mempunyai banyak stomata pada permukaan bawah. Daun labu mempunyai lebih dari 400.000 stomata perempat persegi inch, tetapi beberapa rumput mempunyai sekitar 50.000. Bila semua terbuka, stomata akan menempati sebanyak 1% sampai 3% dari seluruh permukaan daun. Ini menyebabkan sejumlah besar air hilang oleh tumbuhan yang disiram baik, yang tumbuh dalam cuaca terang dan panas.

Semua air yang telah menguap dari daun dan bagian lain dari tumbuhan datang dari dalam tanah. Tanah adalah tempat persediaan

air, kemungkinan besar penuh atau kosong. Selama hujan, air bergerak ke arah bawah dalam tanah. Sesudah hujan, tanah dikatakan dalam kapasitas penuh. Selama keadaan seperti ini akar-akar akan dapat mengambil air dari dalam tanah dengan mudah. Tetapi ketika tanah berangsur kering, penyerapan air oleh akar menjadi lebih sukar. Akhirnya tumbuhan tidak sanggup mensuplai dirinya sendiri dengan air yang cukup untuk membatasi kekeringan/layu. Persentase air dalam tanah pada saat ini disebut "tingkat kekeringan" dan sangat bervariasi antara tanah yang satu dengan yang lain. Rendah pada tanah pasir yang besar, tinggi pada tanah liat yang baik. Walaupun tanah liat mengikat lebih banyak air daripada pasir, tanah liat menahan air dengan suatu cara sehingga tumbuhan hanya sedikit dapat memakainya.

#### **PENGANGKUTAN BAHAN MAKANAN**

Mekanisme pengangkutan air ke puncak kayu yang tinggi telah lama merupakan rahasia bagi ahli fisiologi tumbuhan. Proses itu masih belum komplet diketahui. Tekanan atmosfer hanya menaikkan air kira-kira 300 kaki tingginya. Proses yang perlu dalam memindahkan ke tempat yang demikian tinggi harus setara dengan tekanan kira-kira 10 atmosfer. Sekarang ini teori yang sangat tersohor oleh ahli fisiologi adalah teori kekuatan tarik-menarik transpirasi. Ia memperkirakan bahwa penguapan air dari sel mesophyl berbuat seperti "pompa isap". Pengaruh pompa itu dilewatkan dari sel ke sel sampai ke xylem. Bila ia mencapai suatu sistem pipa terbuka seperti tracheid dan pembuluh, daya tarik menarik kolom air mengangkat air dalam pipa-pipa ini. Tenaga yang dibutuhkan untuk menaikkan air dalam xylem berasal dari penguapan molekul-

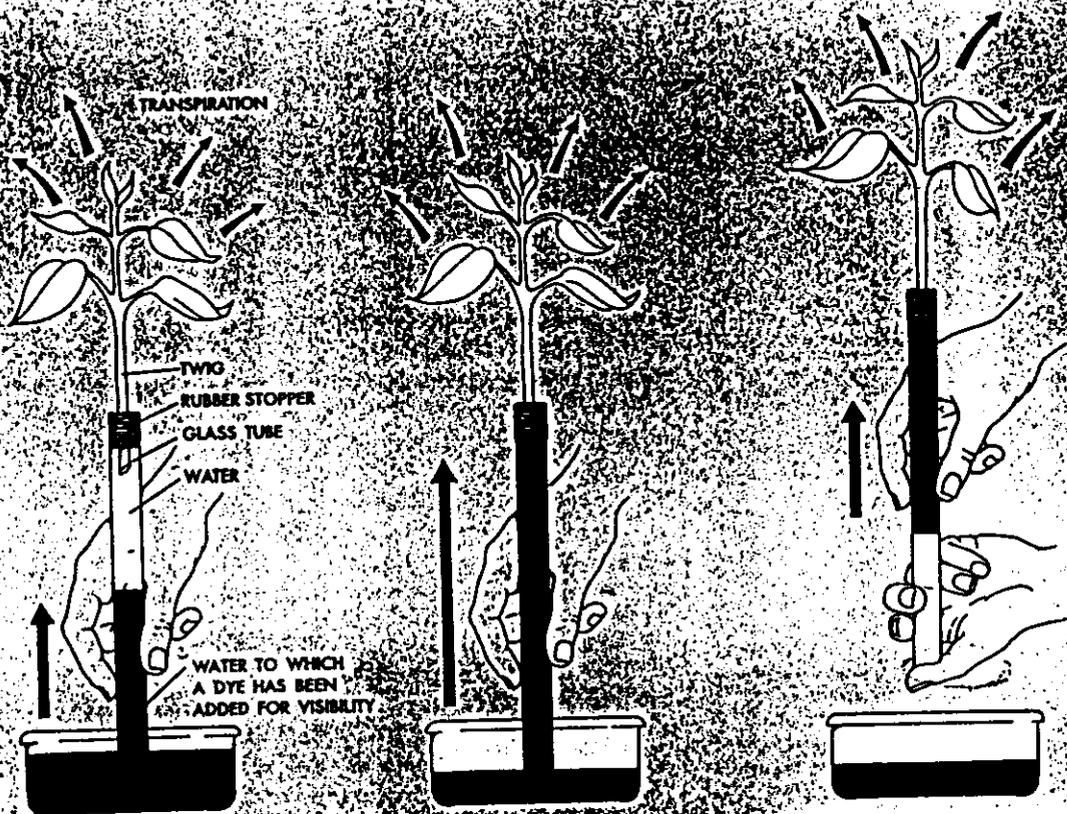
molekul air pada daun dan air naik bebas dari aktifitas-aktifitas hidup.

Teori ini disokong oleh setidaknya-tidaknya 4 macam kejadian :

- 1). tumbuhan yang hidup membuat tekanan pengangkat beberapa atmosfer;
- 2). tegangan dalam batang ditemui selama transpirasi;
- 3). bagian yang tidak hidup sama sekali tidak dapat dibuat untuk bekerja dengan cara yang sama dan;
- 4). pembuluh sel-sel batang tidak terganggu kesanggupan mereka untuk mengalirkan air oleh uap dan racun.

Teori yang lain adalah teori tekanan akar. Ahli biologi yang suka kepada pandangan ini menjelaskan bahwa bila batang tumbuhan tertentu dipotong tepat di atas garis tanah, banyak cairan ditekan ke luar dari permukaan potongan. Alat pengukur tekanan (disebut manometer) yang dipasang pada batang yang dipotong ini, memperlihatkan bahwa akar menghasilkan tekanan beberapa atmosfer. Walaupun demikian tekanan yang terlihat pada pohon kayu tidak cukup untuk mengangkut air ke puncak pohon yang tinggi. Lebih lanjut tekanan akar terlihat menjadi terendah bila tingkat transpirasi tertinggi yaitu bila pohon-pohon memerlukan air terbanyak. Kebanyakan ahli botani merasa bahwa tekanan akar bukanlah penyebab utama naiknya air dalam pohon (gambar 3.6)

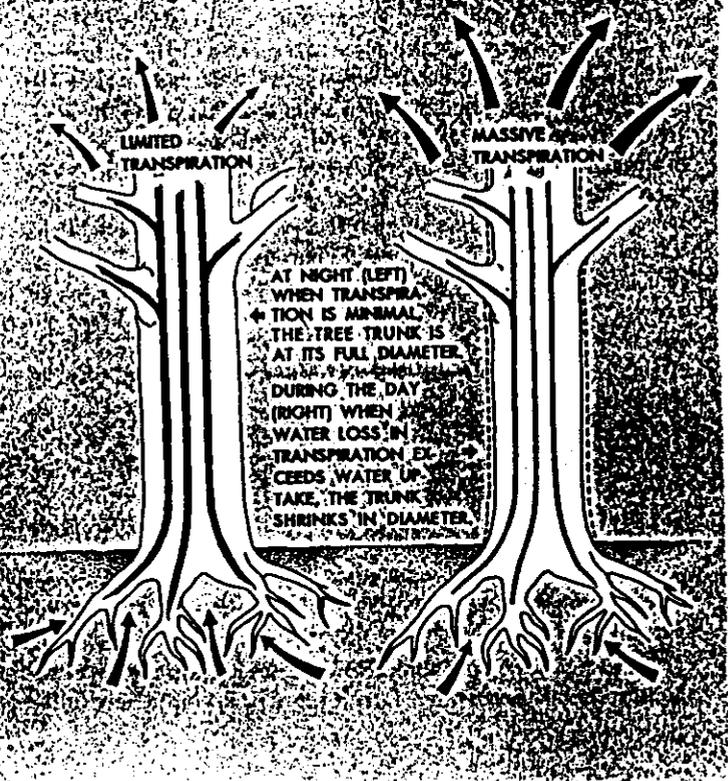
Garam-garam yang diserap oleh akar masuk ke dalam xylem dan diangkut ke atas dengan arus penguapan air atau mereka dapat jalan ke atas dalam tabung penyaring (sieve tube) phloem. Banyak substansi-substansi bergerak dalam phloem dalam kecepatana beberapa sentimeter per jam. Kecepatan ini jauh lebih tinggi dari pada yang

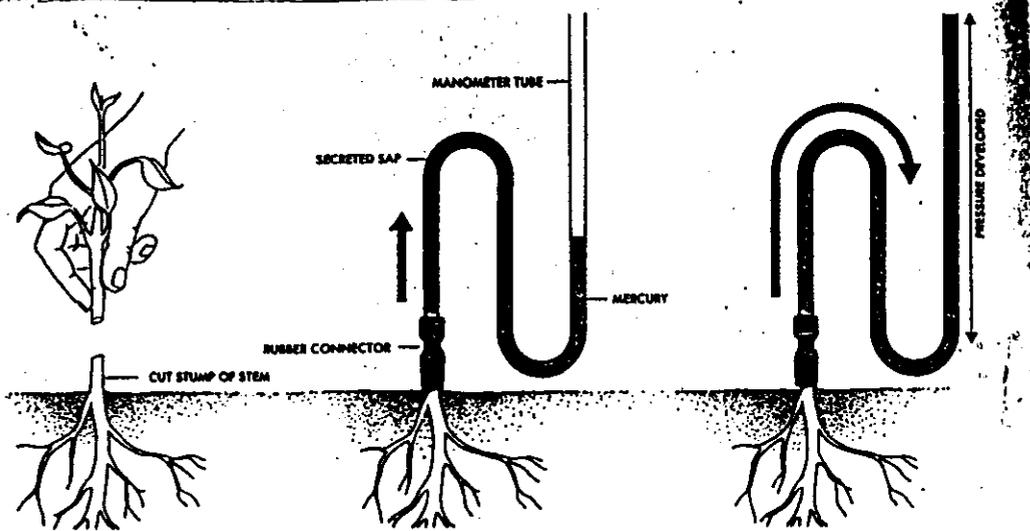


Gambar 3.5

Penquapan Air

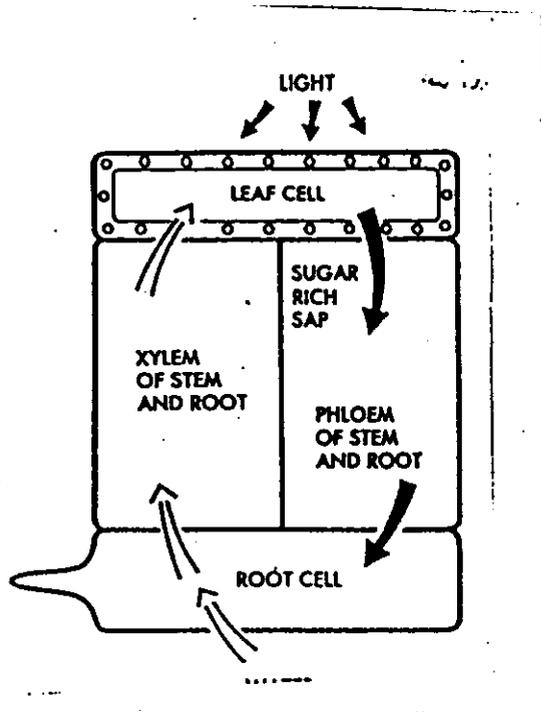
Pada Tumbuhan





Gambar 3.6

Tekana Akar



Gambar 3.7

Diagram Sirkulasi  
Larutan Pada Tumbuhan

Diagram aliran dalam tumbuhan. Gula yang dibuat di sel-sel daun menyebabkan nilai osmotik sel naik. Ini menyebabkan tekanan turgor tinggi, mendorong cairan sel melalui pembuluh ayak ke akar. Akar menyerap air dan dibawa ke daun dengan tenaga gabungan antara tekanan akar dan tenaga yang dihasilkan oleh penguapan. Proses ini mengkompletkan sirkulasi bahan makanan dalam tumbuhan.

diharapkan oleh diffusi itu sendiri. Tambahan lagi bermacam substansi dapat bergerak ke atas dan ke bawah dalam phloem pada waktu yang bersamaan. Walaupun tidak perlu melalui tabung penyaring yang sama. Mekanisme dari gerakan ini belum diketahui dengan jelas. Sebagian orang percaya bahwa sel-sel fotosintesis daun mempunyai tekanan turgor yang tinggi sebab kadar gula mereka yang tinggi menyebabkan pemasukan air yang berlebih-lebihan secara osmosis. Ini akan menyebabkan tekana yang tinggi pada sel-sel phloem yang berdampingan. Gerakan ke bawah kemudian akan terjadi sebagai akibat dari tekanan dari atas dan hasilnya pengangkutan sejumlah besar gula dari atas ke bawah pada tumbuhan.

Ahli botani telah mengobservasi bahwa cytoplasma sel-sel pengayak/tapis mengalir dengan cepat, ada yang menurut arah jarum jam dan ada yang berlawanan dengan jalan jarum jam. Mereka merasa bahwa pengaliran ini adalah sangat penting bagi pengangkutan bahan-bahan menurut dua arah dalam phloem. Penelitian lebih lanjut diperlukan sebelum masalah ini dapat diselesaikan.

## RINGKASAN

Tumbuhan hijau memerlukan tiga jenis makanan : makanan organik, mineral dan air. Tumbuhan hijau adalah autotroph sempurna dan dapat mensintesa semua senyawa organik yang mereka perlukan, melalui fotosintesis dan proses lain yang ada hubungannya. Mineral-mineral dan air diserap secara normal oleh akar dari dalam tanah.

Fotosintesis dilaksanakan keseluruhannya dalam chloroplast, yang dapat dipindahkan dari sel dan dapat berfungsi dalam keadaan terisolasi. Dalam proses ini, cahaya merah atau biru diabsorpsi (diserap) oleh chlorophyll atau zat warna lain dalam chloroplast, menyebabkan terlemparnya sebuah elektron dari chlorophyll dalam chloroplast. Elektron ini kemudian diganti oleh sebuah elektron yang berpindah dari air. Ini menyebabkan oksidasi air dan oksigen bebas dikeluarkan. Elektron yang terlempar ini bersama dengan proton (hydrogen) air dirobah oleh enzim menjadi senyawa karbon dengan  $\text{CO}_2$  yang diambil dari udara. Ini merupakan pengikatan  $\text{CO}_2$  untuk asam organik (phosphoglyceric acid), kemudian menjadi gula 3-karbon dan akhirnya menjadi gula 6-karbon yang stabil yaitu glukosa. Untuk proses reduksi ini diperlukan energi dalam bentuk ATP. ATP ini dibuat secara langsung dalam chloroplast dengan proses fotofosforilasi (photophosphorylation).

$\text{CO}_2$  masuk ke daun melalui stomata yang terbuka, dikelilingi oleh sel pengawal yang berbentuk sausage. Bila sel-sel pengawal ini mempunyai turgor yang tinggi stomata terbuka, bila mereka lembek stomata tertutup. Air yang diperlukan untuk fotosintesis diangkut dari akar ke daun melalui pembuluh xylem batang. Gula dan hasil fotosintesa yang lain dibawa dari daun melalui pipa

buluh pengayak/tapis pada phloem.

Tumbuhan memerlukan 13 elemen mineral, sebagian besar diserap dari tanah melalui akar. Hanya satu elemen yakni nitrogen yang tidak berasal dari tanah tetapi diambil dari atmosfer. Dalam proses penyerapan nitrogen, bakteri tanah yang hidup bebas seperti nodule-nodule akar tertentu yang berisi bakteri yang bekerja sama, merubah nitrogen bebas dari udara, yang tidak dapat dipakai oleh makhluk hidup, menjadi amonia, yang berguna oleh tumbuhan. Dalam proses ini substansi yang penting adalah yang berisi besi peroksida.

Setiap elemen essential mempunyai fungsi tertentu pada tumbuhan. Kalsium dan belerang adalah kerangka yang utama, yang lain seperti besi dan tembaga adalah bagian dari enzim dimana mereka berfungsi menjadikan oksidasi berbalik dan berkurang. Masih ada yang lain seperti potasium, fungsinya belum diketahui walaupun kita tahu bahwa mereka adalah essential. Pengisapan elemen dari dalam tanah atau larutan memerlukan energi yang dihasilkan tumbuhan. Elemen-elemen ini dialirkan hampir seluruhnya melalui xylem. Sebagian besar air yang diserap oleh tumbuhan keluar ke atmosfer melalui stomata dalam proses transpirasi. Beberapa tumbuhan (xerophytes) beradaptasi supaya sedikit air yang keluar/ hilang karena itu dapat hidup pada iklim yang sangat kering.

Naiknya air ke puncak kayu yang tinggi barangkali terjadi karena penguapan pada daun menghasilkan suatu tenaga/tarikan terhadap air dalam saluran xylem dimana tiang air yang berpadu dinaikkan. Tekanan akar mungkin juga diikuti sertakan. Tekanan yang dihasilkan di daun menyebabkan penyerapan air mengikuti fotosintesis yang berlebihan, juga penting untuk menyebabkan aliran makanan organik turun ke bawah melalui phloem.

#### BAB IV

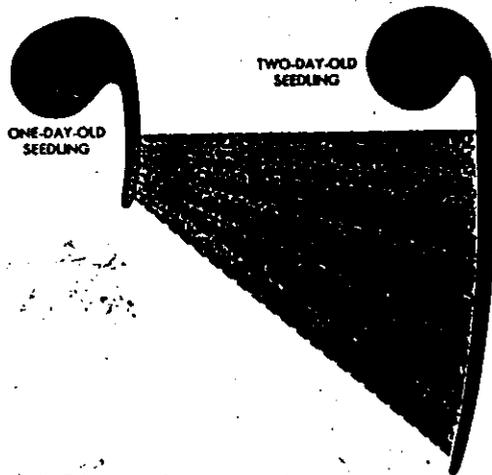
### BAGAIMANA TUMBUHAN TUMBUH

Perkembangan dari sebuah biji menjadi tumbuhan adalah suatu proses yang sulit (dahsyat). Ia melaksanakan pertumbuhan dengan pembelahan dan pembesaran sel, differensiasi dari organ-organ baru seperti akar, batang, daun dan bunga dan urutan perubahan-perubahan kimia yang komplet. Bentuk akhir dari tumbuhan itu adalah campuran dari sifat bawaan "blueprint" dan modifikasi karena efek-efek lingkungan.

Biji berisi sebuah embryo, dikelilingi dan dilindungi oleh kulit biji dan dilengkapi dengan tumpukan bahan makanan yang disebut endosperm. Embryo ini berisi satu titik tumbuh akar dan satu titik tumbuh pucuk dan daun embrionik yang disebut Cotyledon. Cotyledon berbentuk panjang, tipis seperti daun. Untuk pertumbuhan embryo pertama kali mereka mencerna tumpukan makanan pada jaringan endosperm, sesudah itu mereka berkembang menjadi seperti daun yang dapat berfotosintesis. Pada tumbuhan lain cotyledon merupakan organ yang berdaging di atas atau di bawah tanah, yang menyerap endosperm sebelum biji tua. Cotyledon seperti ini, jarang menjadi seperti daun atau berfotosintesis.

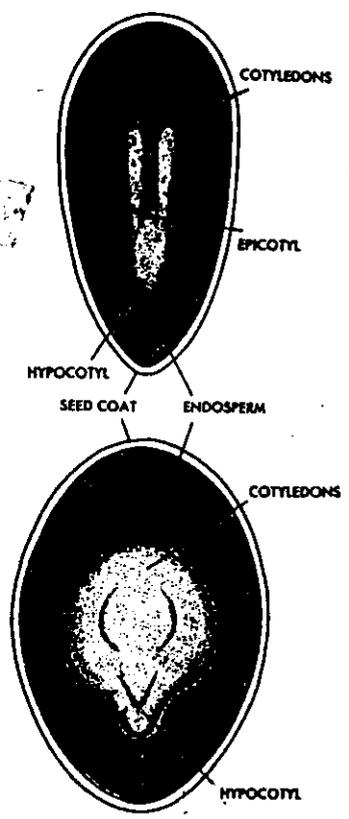
Bila biji mulai berkecambah atau tumbuh, ia menyerap sejumlah air dan sel titik tumbuh mulai membelah. Kita belum mengerti kenapa akar hampir selalu mulai berkembang sebelum titik tumbuh pucuk mulai tumbuh. Pada ujung akar dan pucuk, sel-sel baru dibentuk oleh bagian yang merismatik pada titik tumbuh, diikuti oleh pembesaran dan differensiasi sel-sel. Pembelahan, pembesaran dan differensiasi pada akar terjadi secara overlap. Karena akar bergerak menuju ke bawah melalui tanah, titik tumbuhnya yang

halus harus dilindungi supaya jangan rusak. Pelindung dibentuk oleh satu grup sel yang disebut tudung akar (root cap). Tudung akar yang tua selalu rusak dan diganti dengan yang baru.



Gambar 4.1  
Daerah Pemanjangan sel (B,C dan D)

Satu perbedaan di antara tumbuhan dan hewan adalah bahwa pertumbuhan pada tumbuhan terjadi hampir seluruhnya dekat meristematik, hewan cenderung mempunyai pertumbuhan pada seluruh tubuh. Kita dapat melihat batas pertumbuhan pada tumbuhan dengan menandai permukaan akar atau batang dengan garis-garis yang jaraknya sama. Setelah beberapa hari kita akan melihat bahwa daerah tepat di belakang ujung adalah bagian yang pertumbuhannya tercepat. Daerah ini adalah daerah pembesaran sel. Pembelahan sel itu sendiri tidaklah banyak berbuat untuk meningkatkan ukuran tubuh tumbuhan, yang ia lakukan adalah mempersiapkan sel-sel baru, yang membesar pada beberapa waktu kemudian.



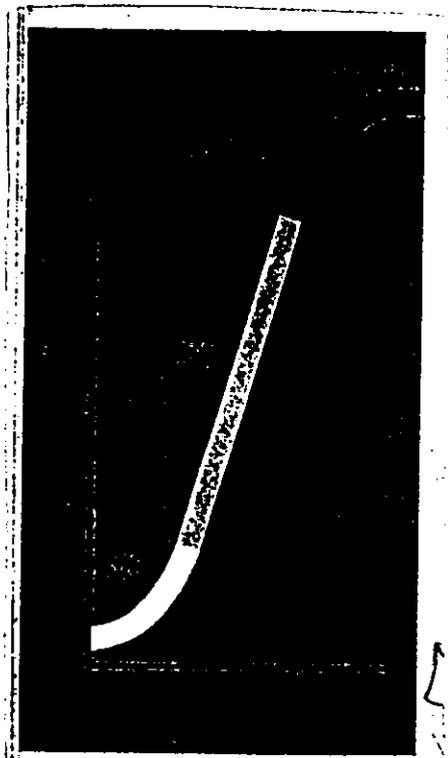
Gambar 4.2  
Riji Berisi Embryo

## TENAGA PERTUMBUHAN

Jika kita mengukur ukuran tumbuhan setelah ia berkecambah pada waktu-waktu yang berbeda dan kemudian ukuran potongannya itu sebagai fungsi waktu dalam hari, kita mendapatkan satu kurva yang menarik, seperti diperlihatkan di bawah ini. Bentuk S atau sigmoid (kurva bentuk S) ini adalah tipe pertumbuhan semua organ tumbuhan, populasi tumbuhan atau hewan, bahkan juga populasi manusia. Kurva ini sekurang-kurangnya 4 bagian yang utama :

1. periode lag, selama fase ini yang terjadi adalah mempersiapkan organisme untuk bertumbuh,
  2. fase log, selama mana tingkat pertumbuhan cepat.
  3. fase selama fase ini tingkat pertumbuhan berangsur-angsur berkurang,
  4. satu titik dimana organisme mencapai kematangan dan pertumbuhan berhenti.
- Jika kurva itu diperpanjang lebih lanjut sampai pada ketuaan dan kematian organisme. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.3 di sebelah.

Menjadi tua dan mati yang terjadi pada semua hewan sebagai satu bagian dari perkembangan mereka, terlihat tidak menjadi bagian yang penting dari siklus perkembangan tumbuhan. Kita telah mengetahui bahwa ada beberapa pohon pinus, po-



Gambar 4.3  
Kurva Pertumbuhan  
Berbentuk

lon Sequoia pada bagian Barat Amerika Serikat mencapai umur lebih dari 3.000 tahun. Nyatanya pada suatu saat juga mati, barangkali karena infeksi atau karena kelemahan mekanis. Seandainya ada beberapa cara untuk menghalangi kondisi seperti itu, tentu pohon itu terus tumbuh selama-lamanya.

Jaringan tumbuhan yang dipelihara dalam larutan buatan memperlihatkan potensi ketidak matian sel. Pada tahun 1937, seorang peneliti Perancis memindahkan potongan akar kubis dan menempatkannya dalam bahan makanan kimia. Hasilnya menunjukkan kecepatan pertumbuhan tidak berbeda. Berikutnya, jaringan itu dibagi lagi dan dipindahkan ke tempat yang baru dengan bermacam interval. Pertumbuhan terus sampai pada tingkat yang konstan dan setelah 30 tahun tidak memperlihatkan tanda penurunan. Tumbuhan dari mana jaringan kubis yang asli diambil tentu telah mati beberapa tahun lebih dahulu. Pertumbuhan yang normal terhenti karena beberapa efek penghalang. Jika kita tahu apa penghalang itu, dan jika kita dapat memindahkannya atau mencegahnya, maka kita akan dapat menghasilkan suatu tumbuhan yang kemungkinan tidak akan mati.

Kurva pertumbuhan memperlihatkan kejadian pertumbuhan fisiologi dari bermacam segi. Dengan meneliti panjangnya periode lag, kita akan memperoleh petunjuk-petunjuk tentang perubahan-perubahan yang harus terjadi sebelum pertumbuhan dimulai. Periode lag pada beberapa biji hanya beberapa jam lamanya, pada yang lain beberapa hari, berminggu-minggu atau berbulan-bulan. Biji-biji yang periode lagnya panjang barangkali mempunyai bahan-bahan penghalang yang menunda pertumbuhan itu sampai bahan-bahan itu dirusak, atau dipindahkan. Tingkat pertumbuhan selama fase pertumbuhan cepat sering ditentukan oleh hormon, yang akan diuraikan nanti.

Kemiringan kurva sigmoid dapat juga memberi kita petunjuk tentang latar belakang genetik tenaga pertumbuhan, seperti halnya lingkungan di mana tumbuhan itu tumbuh. Tinggi total tumbuhan dan waktu permulaan fase "bentuk yang mantap", juga sering dikontrol oleh genetik, tetapi juga mudah dipengaruhi lingkungan. Akhirnya ketahanan dan kematian organisme tidak keseluruhannya ditentukan oleh sifat turunan (genetik), tetapi juga di bawah kontrol sipe-neliti.

### MERISTEM DAN ORGANISASI JARINGAN

Pada akar dan pucuk tumbuhan yang telah diorganisir dengan baik, tiap sel melalui suatu urutan fase perkembangan yang tertib. Sel berbentuk kubik, yang terdapat pada bagian yang mudah membe-lah atau meristem tumbuhan yang sedang tumbuh, mempunyai banyak vacuola. Penambahan ukurannya, terutama sekali panjangnya, terja-di supaya air masuk ke dalam vacuola-vacuola. Vacuola-vacuola bertambah besar, kemudian secara spontan bergabung menjadi satu vacuola yang besar. Bagian sel yang lain menyesuaikan diri dengan pertambahan ukuran yang terjadi dengan membuat tambahan materi dinding sel, materi cytoplasma dan bermacam jenis organel lain-nya.

Biasanya bersamaan dengan pertumbuhan, tetapi kadang-kadang sesudahnya, diferensiasi terjadi. Sel-sel pada bagian belakang ujung akar sebagian menjadi sel-sel epidermis yang picak dan sebagian menjadi sel-sel akar rambut. Sel-sel akar rambut terdiri dari sel-sel epidermis yang pertambahan panjangnya menakjubkan sehingga dengan mudah menyerap air dan mineral-mineral. Selama fase pertumbuhan cepat inti sel-sel akar rambut hampir selalu pada ujungnya dan terlihat menjadi pusat aktifitas metabolisme

yang besar. Akar rambut pendek hidupnya, tetapi dapat dihasilkan dalam jumlah yang besar, karena ujung akar rambut terus-menerus menekan ke dalam tanah. Akar rambut sangat memperbesar luas permukaan akar yang berkontak dengan tanah.

Jaringan pusat akar berdiferensiasi menjadi pembuluh karena secara karakteristik tidak mempunyai empulur. Pola yang sama terjadi dalam jaringan culture. Jauh di bagian dalam dari sel jaringan culture yang tidak berdiferensiasi, kita temukan grup-grup kecil tracheid, karena itu kita setuju bahwa ada "sesuatu" pada bagian dalam kelompok jaringan yang berdiferensiasi menjadi xylem atau tracheid. "Sesuatu" ini dapat berupa tidak adanya oksigen jenuh di dalam kelompok sel-sel atau tidak ada punya kontak dengan tanah atau medium lainnya. Ada tiga bentuk yang mengelilingi sel-sel xylem akar :

1. ikatan phloem
2. pericycle yang mudah membelah untuk membentuk cabang akar
3. endodermis yang mengelilingi seluruh jaringan silinder pusat.

Endodermis mempunyai bentuk yang aneh, garis casparian (casparian strip) yang memperlihatkan penebalan dinding sel endodermis, berbentuk pita. Beberapa ahli botani mengira bahwa garis casparian yang tidak dapat ditembus air bertindak sebagai dam/penghalang, sehingga menghalangi difusi air sepanjang dinding sel endodermis dan memaksa seluruh materi masuk melalui selaput semipermeabel sel-sel endodermis. Teori ini masih diragukan.

Di antara jaringan silinder pusat dengan endodermis terdapat satu grup sel yang tidak berdiferensiasi, yang berikatan longgar, disebut cortex. Sel-sel ini besar berdinding tipis, mempunyai inti

dan vacuola sentral yang besar. Fungsinya untuk menyimpan materi cadangan dalam akar.

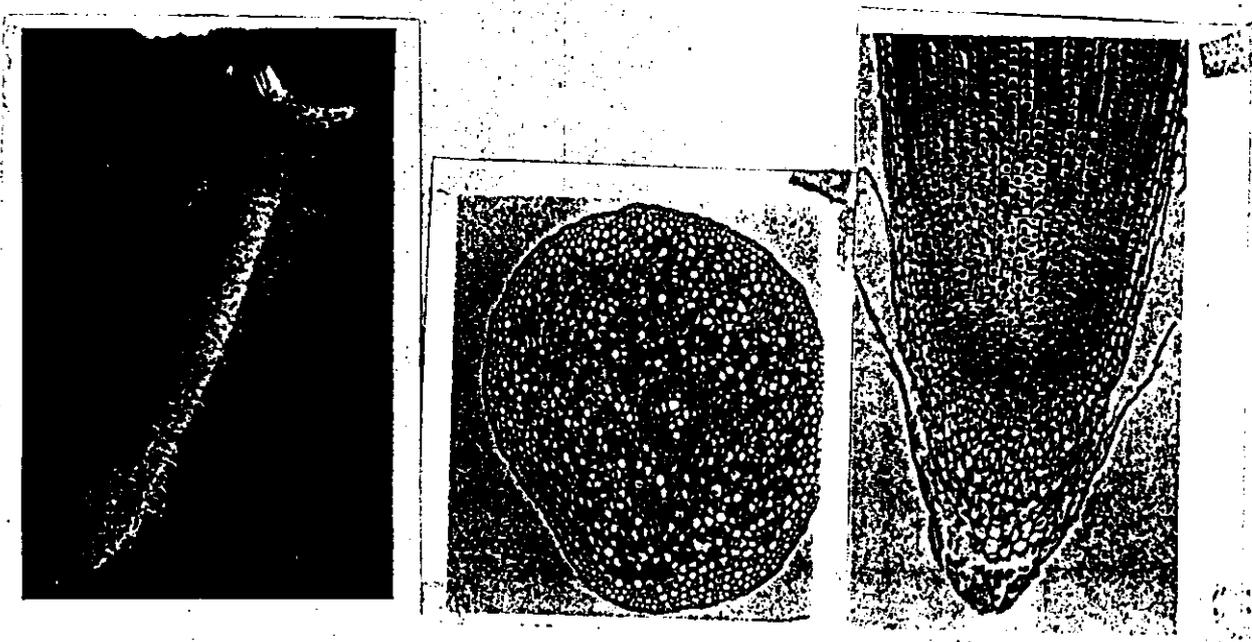
Karena kambium membelah, berkembang diantara xylem dan phloem, silinder pusat akar menebal disebabkan pembelahan selnya secara radial, cortex semakin lama semakin kecil, pecah-pecah dan mengelupas pada bagian luar akar. Akhirnya pada akar yang lebih tua epidermis dan cortex hilang sama sekali (completely lost). Selaput luar yang baru dibangun dari sel-sel borgabus, dikenal sebagai jaringan periderm (periderm tissue). Sel-sel tumbuh dari meristem kedua (secondary meristem) disebut kambium gabus (cork cambium). Pola pertumbuhan dan pengembangan ini terutama sekali jelas kelihatan dalam batang yang semakin tebal sesuai dengan umurnya.

Ujung batang seperti halnya ujung akar mempunyai bagian dimana sel-selnya membelah dengan cepat dan di bagian belakang ini adalah bagian sel-sel yang membesar dengan cepat. Ujung batang lebih komplet dari ujung akar sebab selain berlebihan jaringan batang, ujung batang juga harus membentuk daun dan tunas-tunas. Tunas-tunas pertama sekali terlihat sebagai penonjolan kecil dari jaringan yang kemudian berkembang menjadi tunas vegetatif atau tunas bunga. Pada kebanyakan tumbuhan pembentukan tunas dikontrol oleh kondisi lingkungan seperti temperatur dan cahaya.

Dibelakang bagian pembesaran sel adalah bagian di mana terjadi diferensiasi. Disini kita juga melihat dengan jelas perkembangan jaringan epidermis, silinder pusat dan sel-sel cortex berada di antara keduanya. Barangkali perbedaan anatomi yang utama diantara batang dan akar adalah bahwa batang secara umum punya pusat (central pith). Xylem ditemukan sekeliling pusat

ini dan phloem sekeliling xylem. Batang yang tumbuh dalam keadaan bercahaya secara umum tidak punya endodermis; Batang yang bertumbuh dalam gelap biasanya punya endodermis. Pada batang seperti juga pada akar, lapisan kambium tumbuh diantara xylem dan phloem. Dengan pembelahan yang cepat ke arah dalam dan ke arah luar, kambium meningkatkan jumlah sel-sel yang berdiferensiasi menjadi xylem pada sisi bagian dalam dan menjadi phloem pada sisi bagian luar. Akhirnya karena tekanan yang besar yang terbentuk oleh pertumbuhan bagian dalam ini menyebabkan lapisan luar batang retak dan mengelupas. Karena kejadian ini tumbuhan membentuk sel-sel pelindung baru pada bagian yang terkelupas tersebut. Disini kambium gabus muncul dan sel-sel yang dihasilkan oleh kambium gabus adalah sel-sel yang kedap air yang berdinding tebal, menjadi jaringan bergabus berkulit kayu (pohon atau semak).

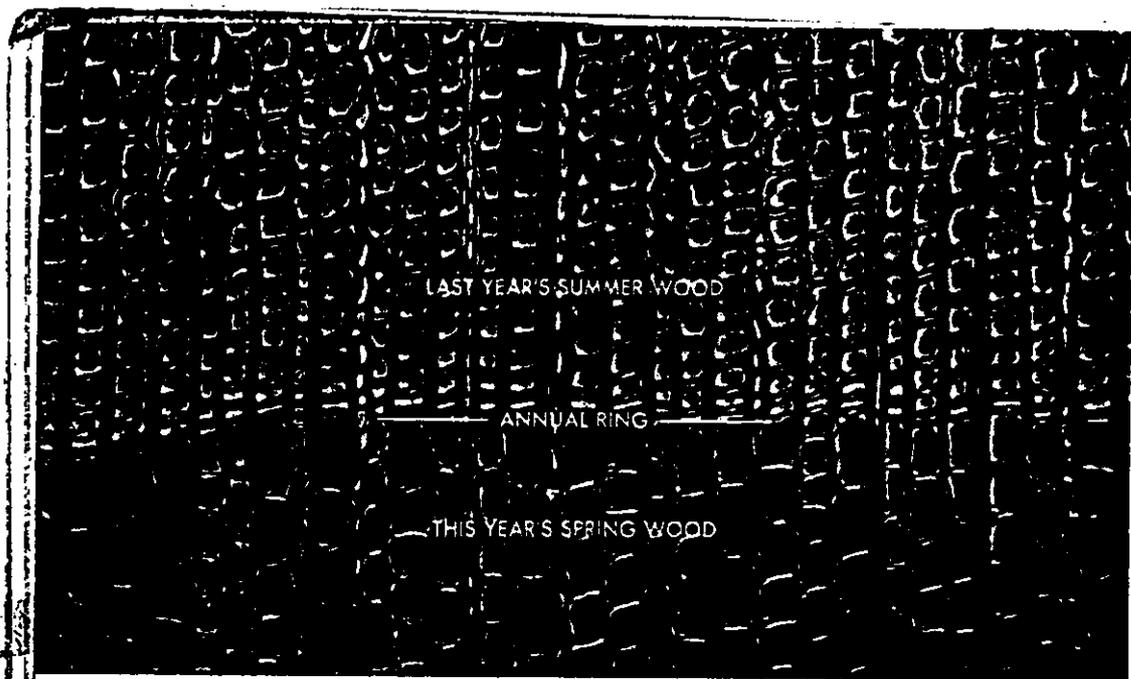
Lingkaran tahunan (annual ring) batang timbul karena perbedaan iklim sepanjang tahun. Pada musim semi (spring), ketika air banyak dan kondisi lain menyenangkan, kambium membentuk sel-sel yang berdinding tipis dan berongga pusat yang besar. Dalam musim panas dan musim gugur, bila kondisi cenderung kurang menyenangkan, sel-sel tracheid yang telah banyak dibentuk mempunyai dinding yang lebih tebal dan rongga yang lebih kecil. Karena pertukaran antara spring dan summer yang beraturan ini kayu membentuk lingkaran tahunan. Peralihan dari kayu musim semi ke kayu musim panas biasanya berlangsung dengan berangsur-angsur, tetapi perhentian yang tiba-tiba pada akhir musim pertumbuhan menyebabkan terjadinya perbedaan yang nyata dengan kayu musim semi tahun berikutnya. Lingkaran tahunan dalam kayu (gambar 4.5) disebabkan oleh perubahan ukuran tracheid yang dibentuk oleh kambium.



Gambar 4.4

A. Bulu Akar B. Potongan Melintang Akar C. Potongan Mchujur Akar

Tracheid yang besar dibentuk waktu musim semi. Musim berikutnya dibentuk tracheid yang lebih kecil. Lingkaran itu sendiri terletak antara tracheid musim panas pada akhir tahun dengan tracheid musim semi awal tahun berikutnya.



Gambar 4.5  
Lingkaran Tahunan

Keteraturan lingkaran tahunan dapat menolong kita untuk menentukan umur pohon dan sehubungan dengan itu peradaban yang ditinggalkan melalui kayu juga telah ditemukan. Umpamanya, kita tahu bahwa siklus iklim tertentu telah terjadi pada beberapa daerah. Jika suatu tahun secara khusus dapat menyenangkan untuk tumbuh dihasilkan satu lingkaran tahunan yang tebal. Pada tahun-tahun masa kekeringan muncul lingkaran tahunan yang sangat tipis. Urutan dari besar dan kecilnya lingkaran, membentuk suatu pola yang membayangkan perubahan iklim pada tahun yang lewat, cenderung tetap pada tumbuhan sebagai pembatas bagian-bagian tertentu. Karena itu sepotong kayu tonggak sebuah rumah pada suatu peradaban dapat dibandingkan dengan bahan lain yang umurnya telah diketahui dan peradaban juga dapat ditentukan dengan teknik ini. Walaupun sangat berguna, metoda itu tidak selalu dapat dipercaya sebab kadang-kadang tumbuhan membentuk beberapa lingkaran pertumbuhan dalam satu tahun dan lingkaran tahunan dari tahun-tahun yang berturut-turut tidak selalu dipisahkan dengan nyata.

Cepat atau lambat tumbuhnya tumbuhan tergantung pada dua hal yaitu genetik (genotype) dan lingkungan. Diumpamakan kita mempunyai satu grup kecil tumbuhan yang menyerbuk sendiri atau persilangan, yang terbatas hanya dalam grup mereka selama beberapa generasi. Turunan seperti ini disebut inbred (penyerbukan sendiri). Sebaliknya jika tumbuhan yang diserbuki oleh tumbuhan dari grup yang berbeda (batang/keturuan), turunannya disebut hybrid (bastar, peranakan). Telah bertahun-tahun para ahli genetika mengetahui bahwa persilangan sendiri yang berturut-turut (successive inbreeding) mengurangi kekuatan suatu turunan, tetapi perkawinan silang antar kelompok perkawinan sejenis yang

telah lemah, sering menghasilkan turunan yang sangat kuat (sangat hebat). Kondisi seperti ini disebut hybrid vigor atau heterosis. Sebab dari heterosis belum diketahui dengan jelas. Walaupun demikian kita betul-betul mengetahui bahwa tumbuhan seperti ini memakai faktor-faktor sekeliling/lingkungannya dengan efek untuk pertumbuhan dibanding dengan tumbuhan inbred.

Faktor-faktor lingkungan sangat mengontrol tumbuhan. Umpamanya terlalu sedikit air menyebabkan pertumbuhan lambat. Terlalu sedikit nitrogen, potasium, fosfor atau salah satu unsur esensial memperlambat pertumbuhan atau membunuh tumbuhan. Intensitas cahaya yang jatuh pada tumbuhan yang berfotosintesis juga menentukan tingkat pertumbuhannya, apakah ia akan selamat atau tidak. Tanpa cahaya dan karbondioksida yang cukup tumbuhan berfotosintesis tidak dapat menumpuk energi yang cukup untuk memenuhi kebutuhannya guna pertumbuhan dan perkembangan.

Temperatur lingkungan juga sangat penting dalam menentukan tingkat pertumbuhan tumbuhan. Pada kebanyakan proses kimia kecepatan reaksi meningkat terus-menerus dengan peningkatan temperatur. Kenyataannya pada banyak reaksi, cepat reaksi kimia menjadi dua kali lipat dengan peningkatan temperatur  $10^{\circ}\text{C}$ . Kita tidak mengetahui kenapa (apa sebabnya) tumbuhan yang berbeda mempunyai temperatur optimum yang berbeda pula (pada temperatur mana mereka tumbuh terbaik). Ini menandakan bahwa beberapa proses biokimia yang mendasar dalam pembangunan mereka dipengaruhi oleh temperatur yang tinggi dengan efek yang merugikan. Karena itu kalau kita terus-menerus meningkatkan temperatur, akhirnya sampai pada temperatur dimana pengaruh positif dan negatif bersatu menjadi terbaik untuk pertumbuhan. Jika kita terus menaikkan temp

ratur di atas titik ini, angka pertumbuhan menurun, kadang-kadang dengan sangat drastis, sebab efek-efek yang merusak lebih banyak daripada efek-efek yang berguna. Untuk kebanyakan tumbuhan temperatur optimum adalah  $29^{\circ}\text{C}$  sampai  $32^{\circ}\text{C}$ .

Kita tidak tahu kenapa tumbuhan rusak pada temperatur sekitar  $35^{\circ}\text{C}$ . Seperti kita katakan, enzim-enzim yang diperoleh dari tumbuhan tidak dirusak oleh temperatur. Ada yang mengira bahwa bahan esensial yang dihasilkan oleh tumbuhan dapat dirusak atau dicegah pembentukannya pada temperatur yang tinggi. umpamanya, jamur roti merah, *Neurospora*, mempunyai gen-gen "sensitif temperatur". Gen itu bertanggung jawab terhadap penghasilan vitamin  $B_2$ , pada suatu strain *Neurospora*, yang bekerja sangat baik bila organisme ditumbuhkan pada temperatur yang rendah. Ia tidak berfungsi baik bila organisme ditumbuhkan pada temperatur yang lebih tinggi. Pada temperatur  $35^{\circ}\text{C}$  organisme itu membutuhkan suatu sumber  $B_2$  dari luar, tetapi pada  $25^{\circ}\text{C}$  ia dapat menghasilkan materi ini ( $B_2$ ) untuk dirinya sendiri. Hal yang seperti ini barangkali berlaku juga untuk tumbuhan yang lebih tinggi. Jika kita tahu kenapa temperatur yang tinggi menurunkan angka pertumbuhan, tentu untuk meningkatkan pertumbuhan dapat kita lakukan dengan mensuplai tumbuhan dengan materi yang diperlukannya.

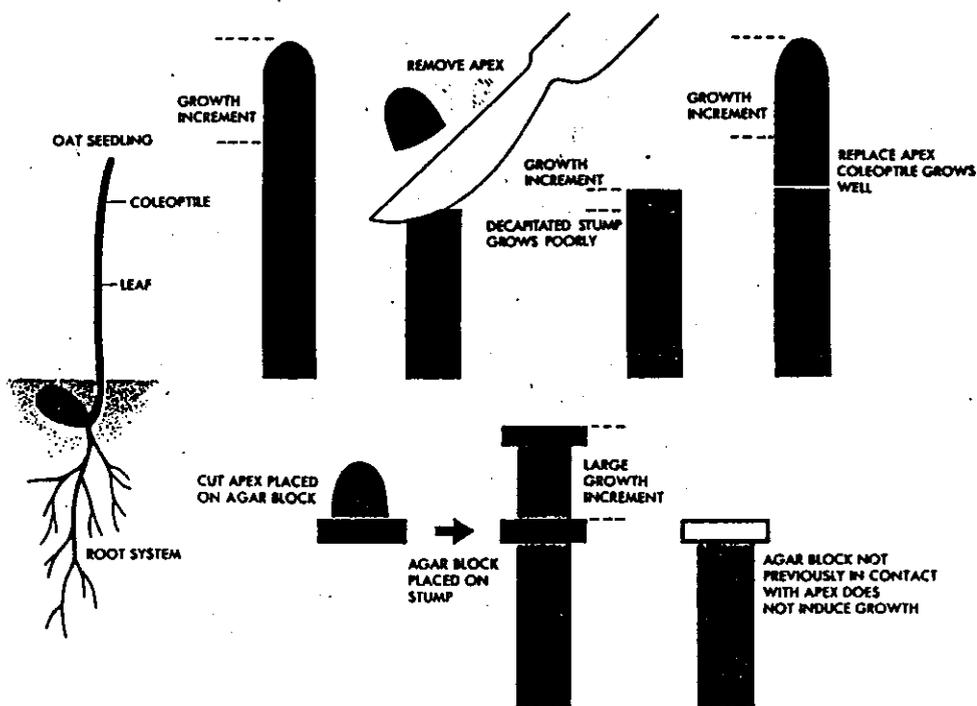
#### HORMON TUMBUHAN

Selain dari air, cahaya, karbondioksida dan bermacam mineral, tumbuhan memerlukan bahan kimia lain untuk pertumbuhan. Substansi ini disebut hormon, dihasilkan pada suatu tempat dalam tubuh organisme dan dibawa ke tempat dimana mereka diperlukan. Secara umum mereka diperlukan dalam jumlah yang sangat sedikit. Pada kebanyakan tumbuhan, mereka dihasilkan sendiri dalam jumlah yang

memadai (cukup). Ada tiga macam hormon pertumbuhan yang terdapat dalam kebanyakan tumbuhan tinggi yaitu auxin, gibberallin dan cytokinin. Auxin dihasilkan oleh ujung batang yang sedang tumbuh, dan juga ujung akar yang sedang tumbuh. Mereka berpindah dari ujung batang (juga disebut apex) ke bagian yang sedang membesar, dimana mereka diperlukan untuk proses pembesaran tersebut. Jika pucuk batang yang sedang bertumbuh dengan cepat dipotong, pertumbuhan pada bagian bawah potongan itu akan menurun dengan sangat cepat. Dalam beberapa jam atau beberapa hari, tergantung pada tumbuhannya, pertumbuhan pada daerah tersebut akan sampai pada perhentian yang komplet. Jika pucuk yang dipotong ini ditempatkan kembali, pertumbuhan lanjutan hampir normal, memperlihatkan bahwa bahan pertumbuhan datang dari pucuk yang ditempatkan itu melalui luka ke sel-sel yang sedang tumbuh. Kalau pucuk itu ditempatkan pada satu potong (blok) gelatin atau agar selama beberapa jam dan kemudian blok gelatin tanpa pucuk tersebut dipindahkan ke sebuah batang bawah yang telah dipotong bagian atasnya, blok gelatin akan memasukkan sesuatu kepada ujung batang bawah yang dipotong tadi, yang berguna untuk mempercepat pertumbuhan. Dari percobaan ini kita menarik kesimpulan bahwa substansi yang disebut auxin, bergerak dari pucuk ke blok gelatin dan dari blok gelatin ke batang. Sekarang kita telah tahu eksistensi banyak substansi dengan aktifitas auxin. Beberapa diantara mereka telah diisolasi dalam bentuk murni dari jaringan tumbuhan dan mereka itu adalah hormon pertumbuhan yang asli. Yang sangat umum adalah materi yang dikenal dengan indol-3-acetic acid.

Percobaan di laboratorium menunjukkan bahwa indol acetic acid menimbulkan beberapa efek yang menarik pada pertumbuhan batang

dan akar. Jika bagian yang sedang tumbuh dari batang, umpamanya batang tumbuhan kacang dipotong dan diletakkan pada petridish yang berisi sucrose dan larutan garam mineral, pertumbuhan menjadi sangat lambat. Jika kita tambahkan sedikit indole acetic acid (IAA), pertumbuhan menjadi sangat cepat. Bertambah banyak IAA kita tambahkan, tetapi dalam batas tertentu pertumbuhan bertambah lebih cepat. Bila kita sampai pada konsentrasi IAA tertentu pertumbuhannya menjadi agak lebih lambat lagi dan jika



Gambar 4.6

Pengaruh hormon terhadap pertumbuhan

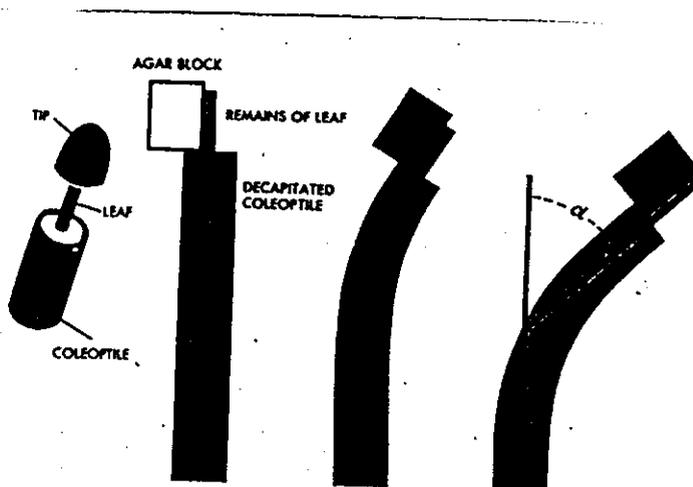
kita tambahkan terus sehingga konsentrasi menjadi lebih tinggi pertumbuhan berhenti.

Bertambah besarnya coleoptyle rumput dikontrol oleh hormon pertumbuhan yang dihasilkan oleh ujung coleoptyle. Jika ujung yang dibuang tadi diletakkan kembali pertumbuhan mulai lagi.

Bahan yang menaikkan pertumbuhan yang dimiliki ujung batang dapat digantikan oleh hormon yang berdifusi dari ujung batang ke blok agar.

Pengembangan yang dihasilkan oleh auxin/indol-3-acetic acid tergantung pada konsentrasi yang diberikan. Konsentrasi optimum, sering kali 1 mg/l.

Jika kita memberikan auxin pada batang tumbuhan yang utuh (lengkap), pertumbuhan ekstra biasanya tidak terjadi. Dari ini kita simpulkan bahwa batang secara normal jenuh dengan auxin yang dihasilkan oleh pucuknya sendiri. Tetapi jika kita memberikan auxin kepada akar-akar tumbuhan yang tumbuh dengan normal, suatu hal yang menarik terjadi. Pertumbuhan biasanya menurun; akan tetapi jika kita buang ujung akar itu, lalu potongan akar tersebut diberi auxin, pertumbuhan kadang-kadang bertambah cepat. Jika jumlah auxin dalam batang dan akar kira-kira sama, kita berkesimpulan bahwa akar lebih sensitif terhadap auxin daripada batang.



Gambar 4.7

Cara Menguji Jumlah Auxin

Kita dapat mengetahui berapa banyak auxin dipunyai jaringan tumbuhan dengan memakai suatu bahan pelarut seperti ether, untuk mengeluarkan auxin tersebut. Kemudian dengan memberikan extract itu kepada jaringan tumbuhan lain, kita dapat mencatat efek pertumbuhan yang dihasilkannya. Biasanya dipakai pelepah daun (coleoptile) gandum yang tumbuh dalam gelap. Bila extract itu telah dipersiapkan, ditambahkan kepada satu blok agar, kemudian ditempatkan pada batang coleoptile yang dipotong, dengan hanya serparoh dari batang itu berkontak dengan blok agar tersebut. Auxin kemudian merangsang (stimulate) pertumbuhan jaringan yang hanya berada di bawah blok. Pertumbuhan yang tidak sama pada kedua sisi coleoptile ini menyebabkan pembengkokan seperti diperlihatkan pada gambar di atas. Bertambah banyak auxin diisikan ke dalam agar blok, bertambah besar pembengkokan. Untuk mendapatkan berapa banyak auxin yang dipunyai dalam jaringan tumbuhan, yang kita lakukan adalah membandingkan jumlah pembengkokan yang dihasilkan oleh jumlah auxin yang diketahui. Semuanya ini dapat dilihat pada gambar 4.7

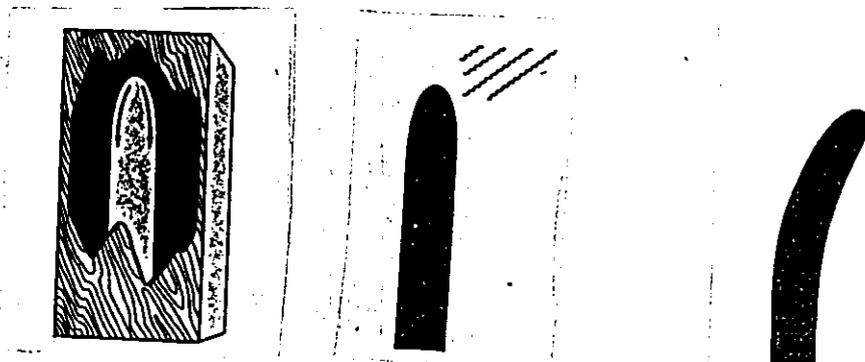
Ber macam organ tumbuhan juga membengkok karena memberikan reaksi terhadap cahaya dan gaya berat (gravity). Kita sekarang telah tahu bahwa pembengkokan seperti itu (disebut tropisme) terjadi karena penyebaran auxin yang tidak seimbang. Umpamanya jika satu coleoptile gandum kita sinari pada sebelah sisi, alat (organ) itu akan membengkok ke arah cahaya (phototropisme). Akibatnya adalah pertumbuhan pada sisi yang disinari ditekan/ditahan oleh cahaya, sebaliknya pertumbuhan pada sisi yang digelapkan dipercepat. Jika ujung satu coleoptile dibukakan ke arah cahaya, kemudian auxin dikeluarkan pada kedua belahannya (terang dan gelap) dan

mereka diukur dengan tes pembengkokan, kita temukan bahwa sisi cleoptile yang diperteduhkan (gelap) mempunyai auxin kira-kira dua kali sebanyak auxin yang dipunyai pada sisi yang disinari. Cahaya menyebabkan pembengkokan karena pengaruh distribusi auxin pada organ tumbuhan; konsentrasi auxin mengontrol pertumbuhan tumbuhan. Lebih lanjut lihat gambar 4.8; 4.9.

Hal yang hampir bersamaan yaitu satu batang tumbuhan diletakkan horizontal di atas tanah, setelah beberapa waktu terlihat bahwa permukaan bawah mengumpulkan auxin lebih banyak daripada permukaan atas. Ini menyebabkan pertambahan pertumbuhan pada sisi sebelah bawah, sehingga pembengkokan ke atas (geotropisme). Pada akar yang sedang tumbuh horizontal auxin juga mengumpul pada jaringan sebelah bawah. Kenapakah akar tidak membengkok ke atas ? sebagaimana telah dikatakan pada akar yang normal konsentrasi auxin telah pada atau mendekati konsentrasi terbaik untuk pertumbuhan.

Konsentrasi auxin yang lebih besar pada sisi bawah akar, memperlambat pertumbuhan, sehingga menghasilkan pembengkokan akar menuju ke bawah. Tenaga-tenaga yang menyebabkan auxin terkumpul/mengumpul seperti itu belum diketahui.

Masalah lain yang belum terpecahkan dalam tropisme adalah bagaimana tumbuhan menentukan rangsangan cahaya dan gravitasi. Spektrum aktif untuk fototropisme menunjukkan bahwa cahaya biru dan ultraviolet menyebabkan sedikit pembengkokan. Beberapa zat warna kuning, carotene atau riboflavin (vitamin B<sub>2</sub>), dapat ikut campur sebagai penerima cahaya. Mekanisme merasakan gravitasi terlihat melibatkan statoliths. Ini adalah partikel kecil dalam sel yang jatuh dari satu dinding ke dinding yang lain saat sel direbahkan/dibalikkan.



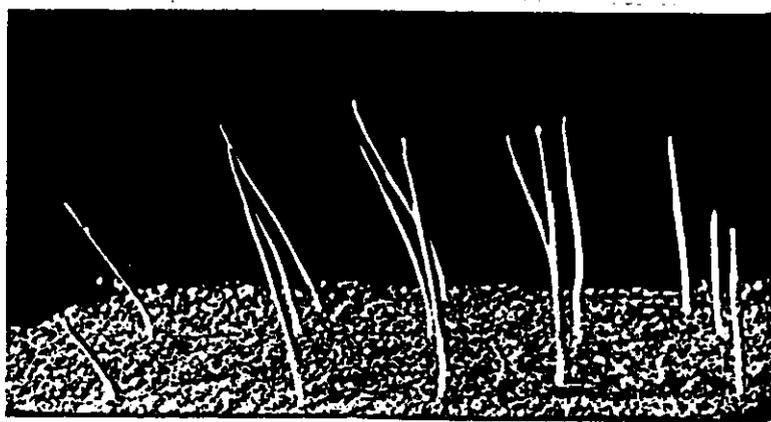
Coleoptile  
Dalam gelap

Coleoptile Kena caha  
Dari satu sisi

Coleoptile Tumbuhan  
Meahengkok

Gambar 4.8

Pengaruh cahaya terhadap penyebaran-auxin

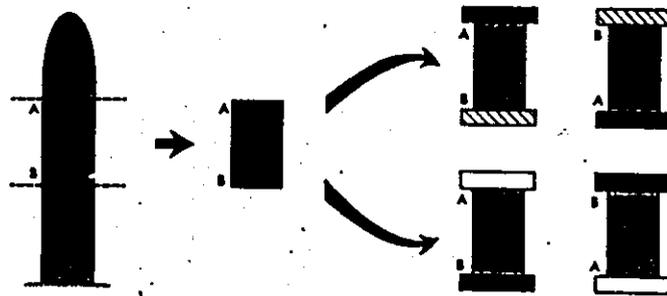


Gambar 4.9

Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap  
Pemengkokan, Cahaya Dari Sebelah Kiri

Auxin yang dihasilkan di bagian pucuk mengalir ke bawah dengan kecepatan kira-kira satu sentimeter pada temperatur normal. Kenapa begitu kita belum tahu, aliran ini terutama sekali dalam satu arah, dari pucuk/puncak ke bagian dasar. Jika kita tempatkan satu blok agar berisi auxin pada puncak batang yang dipotong, auxin dari blok mengalir ke dalam jaringan. Jika dasar (bagian

bawah) batang yang dipotong ditempatkan pada bagian atas sebuah blok agar, auxin tidak bergerak ke atas melalui dasar batang ke arah pucuk. Pemasangan yang dibalikkan secara keseluruhan tidak mempengaruhi muatan kutub ini. Tampaknya tidak ada sesuatu di dalam batang yang mempertanggung jawabkan pengaliran satu arah ini. Muatan kutub itu nampaknya disebabkan oleh faktor kimia (lihat gambar 4.10).



Gambar 4.10

Auxin Hanya Mengalir Dari Arah Ujung Batang

Auxin diberikan pada ujung (A) akan berdifusi ke (B) apakah jaringan tegak atau terbalik. Auxin diberikan pada dasar (B) tidak akan berdifusi ke ujung (A) apakah jaringan tegak atau terbalik. Perjalanan auxin seperti ini adalah pengaruh polarity.

Sedemikian kita telah memperbincangkan perlakuan auxin hanya yang menyinggung pengembangan/pertumbuhan sel. Auxin dapat juga mempercepat pembelahan sel. Umpamanya dalam musim bunga, permulaan pembelahan sel kambium dalam pohon nampaknya dikontrol oleh auxin yang merembes (diffusi) arah ke bawah dari tunas-tunas yang sedang tumbuh. Tambahan lagi pembentukan akar-akar cabang (yang melibatkan keseluruhan pembelahan sel dari pericycle) dapat dimulai dengan pemakaian auxin.

Auxin juga menentukan apakah tunas pucuk atau tunas samping pada satu batang akan berkembang. Pada kebanyakan tumbuhan, hanya tunas pucuk yang berkembang jika tumbuhan tidak didistribusikan, (tidak disebarakan); jika pucuk dipotong, satu atau beberapa tunas dibagian bawah mulai berkembang. Jika ujung cabang dipotong dan permukaan potongan ditutup dengan pasta auxin, tunas-tunas pada bagian bawah tidak akan berkembang. Dari experimen ini disimpulkan bahwa auxin yang dihasilkan oleh tunas pucuk menghalangi pertumbuhan tunas lateral/samping.

Walaupun tidak dapat mengatakan dengan tepat bagaimana auxin berbuat, kita dapat membuat mereka bekerja untuk keperluan kita dalam bidang pertanian. Umbi kentang adalah salah satu modifikasi batang, dan mata dari kentang itu adalah tunas. Kentang yang baru saja digali adalah dormat (tidak aktif) tetapi setelah beberapa bulan disimpan tunas-tunasnya mulai berkembang (bertunas). Jika kita tambahkan auxin sintetis kepada kentang seperti ini tunas-tunas dihalangi berkembang selama selang waktu yang sangat panjang. Ini menyebabkan kentang dapat disimpan selama 3 tahun, biasanya hanya satu tahun.

Auxin juga penting dalam mengatur jatuhnya daun dan buah tumbuhan. Satu helai daun ditempelkan pada batang oleh petiole. Petiole bertahan selama musim tumbuh tetapi jatuh beberapa waktu kemudian dalam tahun itu. Selama helaian daun menghasilkan jumlah auxin yang cukup, petiole benar-benar tetap menempel pada batang. Bila helaian daun menghasilkan sangat sedikit auxin, petiole menjadi lemah dan daun jatuh. Pengetahuan ini telah dipakai dengan baik dalam pertanian. Katakanlah kita ingin pohon aple atau pohon

jeruk supaya daun-daun dan buahnya sedikit lebih lama bertahan dari pada pohon yang normal. Untuk ini yang harus kita lakukan adalah menyiram pohon dengan salah satu cairan auxin. Proses yang simpel ini telah memelihara berjuta-juta dolar bagi tukang kebun buah-buahan yang buah-buahannya dalam keadaan normal jatuh dari pohon sebelum mereka siap untuk memanen. Proses ini juga dapat dibalikkan dengan menyiram pohon dengan bahan kimia yang bertentangan dengan perbuatan auxin. Bahan ini akan menyebabkan daun-daun atau buah jatuh sebelum tua (sebelum waktunya). Pemotongan kapas dengan mesin sangat dibantu oleh proses ini. Pemotongan kapas secara mekanis dilakukan dengan baik bila tumbuhan tidak mempunyai daun terlalu banyak. Jika daun terlalu banyak "anti auxin" dapat disiramkan pada lapangan/ladang kapas itu beberapa hari sebelum panen. Ini terjadi biasanya selama 48 jam yaitu daun gugur dengan luar biasa. Kemudian mesin dapat berjalan di kebun dengan mudah, panen berjalan tanpa menemui terlalu banyak gangguan.

Tanaman nenas dapat dibuat berbunga dengan pemakaian auxin sintetis (naphtalene acetic acid). Pengetahuan ini dalam pertanian nenas diragukan. Tumbuhan semuanya dapat ditumbuhkan dalam ukuran yang uniform dan naphtalene acetic acid dapat dipakai kapan diinginkan. Buah yang berkembang dengan seragam, memungkinkan banyak metoda untuk memanen. Musim berbunga buah lengkeng (litchi nut) dan beberapa tanaman buah-buahan dapat juga dikontrol dengan melakukan penyiraman dengan auxin.

Auxin dapat juga dipakai pada kepala putik bunga untuk menghasilkan buah atau parthenocarpic. Secara normal kebanyakan buah terbentuk sebagai hasil dari persarian dan pembuahan bakal

buah/hunga. Bakal buah kemudian berkembang menjadi buah. Jika sebuah serbuk sari tidak mencapai kepala putik perkembangan bakal buah menjadi buah dapat dirangsang dengan pemakaian auxin dengan jumlah yang agak banyak. Naphtalene acetic acid dapat disiramkan atau dioluskan pada ovary untuk menghasilkan tipe buah yang besar, merah, berasa dan sedikit biji yang dapat hidup terus (menurun). Sedemikian jauh belum ada orang yang menemukan satu cara yang menghasilkan perkembangan biji tanpa pembuahan yang normal.

Pada bagian muka kita mengatakan bahwa konsentrasi auxin yang tinggi menurunkan atau menghentikan pertumbuhan jenis sel tertentu. Juga betul bahwa beberapa auxin sintetis (seperti 2,4-dichlorophenoxyacetic acid, dipendekkan 2,4-D) membunuh beberapa tumbuhan tetapi tidak membunuh yang lainnya. 2,4-D membunuh dicotyledone atau tumbuhan berdaun lebar, tetapi tidak membunuh monocotyledone atau tumbuhan berdaun sempit (kecil). Dalam satu halaman rumput yang ditempati oleh dandelions, 2,4-D membunuh dandelions tetapi membiarkan rumput utuh. Hal yang sama terjadi bila 2,4-D disiramkan pada ladang gandum yang ditempati oleh bind weed, bind weed dibunuh tetapi gandum dibiarkan utuh.

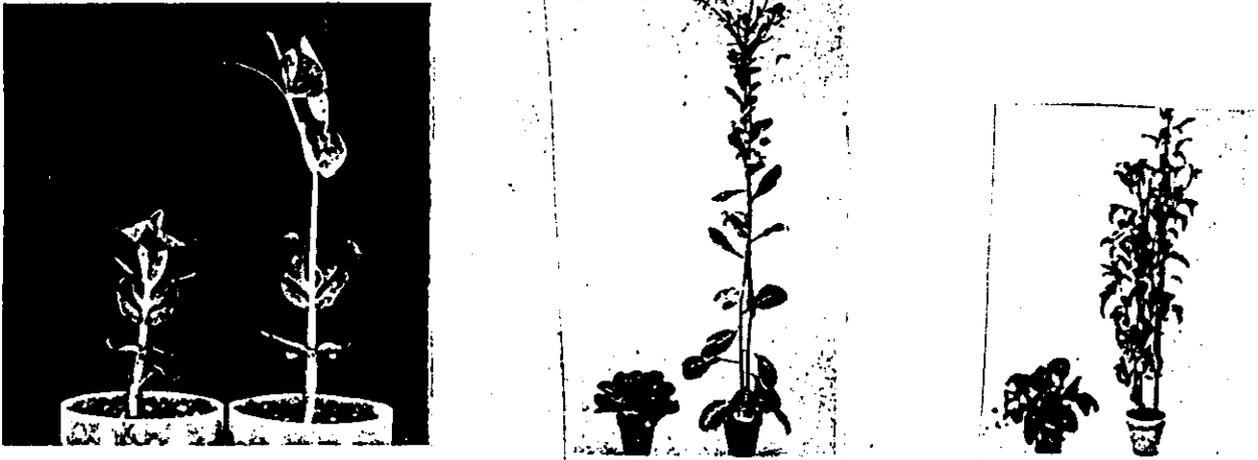
### Gibberellin

Ini adalah grup ke dua dari hormon pertumbuhan tumbuhan yang penting. Pada sekitar tahun 1970 petani Jepang mengumumkan bahwa biji-biji yang bertumbuh luar biasa muncul pada biji padi mereka. Mereka mengamati biji ini baik-baik. Petani yang cerdas tahu bahwa tumbuhan yang berukuran besar dapat berguna sebagai tumbuhan hibit (breeding stock). Bibit yang tinggi ini tak akan pernah hidup menjadi dewasa dan jarang berbunga. Penyakit (disease) itu dengan

tepat dinamakan bakanag atau "folish seedling". Dalam tahun 1926, seorang ahli tumbuhan menemukan bahwa kecambah ini semuanya diinfeksi oleh jamur yang disebut "Gibberallin fujikuroi". Jika jamur itu dipindahkan dari benih yang diinfeksi ke tumbuhan yang sehat, tumbuhan tersebut menjadi sakit. Orang Jepang itu juga menemukan bahwa jika jamur itu ditumbuhkan pada satu medium buatan dalam sebuah botol, pada medium ini terkumpul suatu substansi tertentu. Bila substansi ini dipindahkan kepada tumbuhan sehat, tumbuhan tersebut menunjukkan gejala pertumbuhan yang berlebihan karena penyakit "folish seedling". Substansi itu dinamakan "gibberallin" sesuai dengan jamur yang menghasilkannya.

pada tahun 1930 ahli fisiologi dan ahli kimia Jepang bekerja bersama-sama mengisolasi beberapa bahan lain dari medium pertumbuhan Gibberella. Sebagian menghalangi pertumbuhan tumbuhan, yang lainnya meningkatkannya. Perang Dunia II mengganggu kerja mereka lebih lanjut, dan sejarah menarik dari Gibberallin itu tetap tidak diketahui di Dunia Barat sampai kira-kira 1950. Pada tahun 1955 ahli Ilmu Pengetahuan Alam Inggris memperkuat observasi asli bangsa Jepang itu dan disamping itu telah mengisolasi suatu bahan yang mereka namakan Gibberallic acid, yang sungguh berbeda dari bahan yang diisolasi oleh bangsa Jepang. Gibberallic acid menghasilkan pengaruh pertumbuhan yang luar biasa pada batang. Dalam beberapa contoh ia juga mengurangi daerah daun. Pengaruhnya yang sangat mengagumkan adalah rangsangannya yang mempercepat berbunga tumbuhan berumur panjang. Suatu bahan kimia yang menyebabkan bagian vegetatif tumbuhan mulai berbunga adalah satu kemungkinan besar yang penting dalam pertanian. Pada saat itu pemakaian gibberallin yang sangat penting

dalam pertanian adalah pada industri anggur. Bila Gibberallin dipakai pada sekelompok anggur yang tak berbuah, anggur itu menjadi lebih besar dan berbuah lebih lebat.



Gambar 4.11

Pengaruh Gibberallin pada tumbuhan

Gibberallin juga bermanfaat untuk menumbuhkan seladri. Ia menghasilkan tumbuhan yang besar dan lezat (banyak air) dalam waktu yang relatif pendek. Ia juga dapat dipakai untuk merangsang perkecambahan biji dan pertumbuhan rumput yang baru berkecambah, termasuk pemakian gerst (semacam gandum untuk pembuat bir) sebagai gandum pada industri makanan. Potensinya dalam pertanian sangat besar dan baru sekarang permulaan dijejaki.

Tida semua tumbuhan memberikan respon terhadap gibberallin. Jika kita berikan giberallin pada kacang pendek dan kacang tinggi, atau pada gandum pendek dan gandum tinggi, varietas pendek menjadi tinggi, tetapi varietas yang secara normal tinggi memper-

lihatkan sedikit atau tidak ada perubahan. Satu hipotesis yang menarik adalah bahwa sifat pendek disebabkan ketidak mampuan tumbuhan untuk menghasilkan gibberallin yang cukup untuk membuat ia tumbuh tinggi sendirian. Kita tahu bahwa sifat pendek, mungkin berada pada satu gen tunggal, diwariskan dari orang tua kepada turunannya. Kita juga tahu bahwa tumbuhan pendek, walaupun mereka dapat menjadi tinggi oleh perlakuan gibberallin, akan tetapi tetap menghasilkan turunan pendek juga. Tidak tergantung berapa banyak gibberallin kita berikan, dan tidak tergantung berapa banyak generasi tumbuhan pendek kita perlakukan, kita tidak merubah gen yang menghasilkan sifat pendek.

Secara logika kita akan berfikir bahwa tumbuhan tinggi akan lebih kaya akan gibberallin dari pada tumbuhan pendek. Tetapi mereka tidak memperlihatkan seperti itu. Sampai saat ini tentang semua yang kita ketahui adalah bahwa materi-materi seperti gibberallin ada dalam tumbuhan. Sedemikian jauh 11 macam gibberallin telah diisolasi dari jamur dan biji muda dari bermacam jenis tumbuhan. Bagaimana gibberallin bekerja dengan cepat secara biokimia masih merupakan teka-teki. Barangkali ia merangsang pembentukan enzim tertentu. Kita betul-betul tahu bahwa asam gibberallin sangat merangsang munculnya enzim pencernaan pati amilase dalam endosperm biji sejenis gandum. Ia juga merangsang pembentukan auxin dalam ujung-ujung batang.

#### Cytokinin dan Alat Pengatur Pertumbuhan lainnya.

Sebagai tambahan terhadap auxin dan gibberallin ada pendorong pertumbuhan sel tumbuhan yang lain. Santan kelapa, larutan endosperm buah kelapa, merangsang pertumbuhan banyak tumbuhan. Di

antara materi isi santan kelapa adalah auxin, asam amino dan inositol (suatu gula alkohol).

Materi pendorong pertumbuhan yang lain adalah bahan buatan kinetin. Bila ia dipakai kepada sel tumbuhan tertentu, seperti beberapa callus atau akar-akar yang ditumbuhkan dalam kultur jaringan, ia bertindak sama dengan auxin dan menghasilkan peningkatan luar biasa dalam aktifitas pembelahan sel. Auxin sendiri hanya menghasilkan pembengkakan dan pembesaran sel yang ada, sementara itu kinetin merangsang pembelahan sel (mitosis) dan pembentukan tunas.

Kinetin menyebabkan beberapa efek lain yang menarik. Daun-daun tumbuhan yang telah dipotong cenderung menjadi kuning dan mati dengan segera, tetapi bila mereka diberi kinetin mereka dapat hidup lebih lama. Jika kinetin dipakai pada suatu daerah kecil pada sehelai daun kecil yang dipotong, hanya daerah itu yang akan tetap hijau. Jika materi makanan diberikan pada tempat lain dari daun itu mereka diangkut ke daun dan ditumpuk pada tempat yang diberi kinetin. Baru-baru ini bahan kimia yang analog dengan kinetin telah ditemukan terjadi secara alamiah pada jaringan tumbuhan tertentu. Bahan ini seperti halnya cytokinin, barangkali membentuk satu grup hormon tumbuhan yang baru. Ini nanti akan dibicarakan.

#### **PENGHAMBAT PERTUMBUHAN**

Disamping bahan-bahan yang mempercepat pertumbuhan, jaringan tumbuhan juga berisi bahan-bahan yang memperlambat atau menghambat pertumbuhan. Umpamanya banyak biji yang tidak akan berkecambah jika mereka ditempatkan di atas kertas filter yang basah dalam

cawan petri pada temperatur kamar. Tetapi jika sebelumnya ditempatkan pada air kran yang mengalir selama beberapa jam, mereka akan berkecambah. Air tersebut telah memindahkan bahan-bahan yang menghambat perkecambahan. Ini penting bagi tumbuhan yang hidup pada daerah yang kering. Pada padang pasir, jika hujan sedikit jatuh, biji seperti itu tidak akan berkecambah. Ini akan menguntungkan sebab perkecambahan akan menghasilkan benih yang lemah yang akan mati dalam keadaan kering. Selama hujan lebat jatuh penghambat itu akan dikikis ke luar biji, perkecambahan cepat terjadi, dan tumbuhan dapat hidup terus sebab air banyak disekitar akar kecambah yang masih lemah.

Inhibitor (penghambat) yang mengontrol biji dan tunas yang dalam keadaan istirahat (dormancy) dapat juga dipindahkan oleh temperatur. Sekarang terlihat bahwa bahan-bahan penghambat dibuat selama musim pertumbuhan dan ditumpuk pada tunas yang menyebabkan ia menjadi bentuk istirahat (dormat). Karena cuaca dingin datang, temperatur yang rendah berangsur-angsur mulai merusak penghambat tersebut. Pada musim bunga (diwaktu musim bunga) setelah penderitaan selama musim dingin, tunas-tunas bebas dari penghambat dan dapat tumbuh. Tampak bukanlah kedatangan musim bunga yang merangsang pertumbuhan tunas tetapi adalah kekompletan musim dingin.

Kelangsungan mekanisme ini diragukan. Jika hari panas datang beberapa hari lebih cepat pada musim bunga, tunas yang tidak dihambat mulai berkembang dan kemudian dibunuh oleh cuaca dingin yang datang kembali. Jika tunas tetap dikontrol oleh penghambat, ia tidak akan tumbuh sampai pada waktu yang selamat di musim berikutnya, sebab jumlah hari dingin yang cukup telah memastikan pengrusakan penghambat dengan komplet. Tunas dan biji seperti itu

berisi satu jam kimia (chemical clock), yang berhenti hanya bila penghambat telah dirusak.

Penelitian terhadap pengaturan kimia pada pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan sering menghasilkan banyak kegunaan. Umpamanya, pekerja-pekerja Inggris, baru-baru ini dapat mengisolasi dari tunas pohon beech yang dalam keadaan istirahat, suatu bahan yang mereka percayai bertanggung jawab terhadap permulaan dormancy (peristirahatan). Mereka menamakan bahan ini dormin. Pada waktu yang sama, pekerja peneliti di California telah menemukan pula bahan yang dihasilkan oleh tanaman kapas yang menyebabkan daun-daun jatuh lambat pada musim itu. Mereka juga telah berhasil mengisolasi materi crystalline murni yang mereka namakan abscisin. Penemuan-penemuan ini dilakukan dengan bebas dan praktis, spontan. Bayangkan kekaguman dua grup yang melakukan eksperimen ketika mereka mengetahui bahwa mereka berdua telah menemukan substansi/bahan yang sama. Abscisin dan dormin dihasilkan dari tumbuhan yang berbeda waktu mempelajari proses yang berbeda pula tetapi persis mempunyai bentuk kimia yang sama.

Ketika formula kedua bahan yang identik ini dipublikasikan, ahli kimia mencatat bawa mereka terlihat disusun oleh unit-unit isoprenoid (5-unit rantai cabang karbon yang berisi satu ikatan double). Karena itu mereka mencari beberapa bentuk hubungan dengan gibberallin, yang dibentuk hampir sama. Karena gibberallin dalam keadaan normal merangsang pertumbuhan tetapi dormin-abscisin menghambat pertumbuhan, secara ilmiah timbul pertanyaan yaitu apakah pertumbuhan dikontrol oleh ratio gibberallin terhadap dormin, abscisin? Jawabnya "yes" karena pemakaian abscisin terlihat menghambat aktifitas amylase dalam endosperm gandum yang mem-

punyai gibberallin. Juga karena gibberallin menyebabkan tumbuhan berumur panjang berbunga seperti tumbuhan yang berumur pendek, abscisin menghambat berbunganya tanaman ini, bahkan juga ketika mereka dirangsang oleh periode penyinaran yang betul. Kemudian satu jenis bahan yang dibangun oleh unit isoprenoid, terlihat mengontrol proses yang sangat berbeda seperti tunas yang dorman, jatuhnya daun, aktifitas enzim selama perkecambahan dan masa berbunga.

Kita telah membicarakan sistem penghambat pertumbuhan buatan dalam laboratorium dan pemakaian penghambat ini dalam pengontrolan tumbuhan gula weed dan tumbuhan lainnya. Auxin-auxin tertentu merupakan masalah sekarang. Penghambat lain seperti (amo-1618 dan CCC) baru-baru ini telah dipakai sebagai anti gibberallin. Ketika dipakai untuk chrysanthemum, bahan ini merupakan hambatan terhadap perpanjangan batang tanpa banyak pengaruh terhadap ukuran daun, masa berbunga, atau ukuran bunga. Karena itu mungkin ia menimbulkan tumbuhan chrysanthemum yang berbunga besar dari yang berukuran sangat kecil. Bahan lain (monuron) adalah racun fotosintesis. Ia dapat dipakai untuk membersihkan suatu daerah (area) seperti pematang jalan kereta api dari semua tumbuhan hijau tanpa merusak populasi hewan apapun dan tanpa bahaya terhadap manusia.

Pemakaian bahan kimia yang meluas untuk mengontrol rumput liar, jamur dan serangga dalam pertanian merupakan masalah yang serius bagi manusia. Beberapa bahan kimia ini sangat bersifat racun. Lalu jika ia mengumpul dalam tanah atau dalam tumbuhan atau dalam hewan (seperti manusia) yang memakan tumbuhan itu menyebabkan orang menjadi sakit. Karena itu kita harus menguji

(mentos) semua bahan kimia yang baru dengan hati-hati sebelum menyebarkan mereka berton-ton ke daerah pdalaman. Bahan kimia yang ideal akan meracuni hanya satu organisme yang tak disenangi saja dan akan dirusak oleh bakteri tanah dengan segera sehingga tingkat bahaya tidak terus naik sebagai akibat dari pemakaian berulang-ulang kali.

Bahkan satu insektisida, racun jamur, racun tumbuhan semak yang didisain dengan baik masih mempunyai efek sampingan yang merugikan, yang menyebabkan pemakiannya tidak bijaksana. Umpamanya jika kita memusnahkan/membasmi serangga dengan efektif, akan menyebabkan burung-burung yang menyenangkan dan berguna bagi ekonomi, mati kelaparan. Waktu kita membunuh nyamuk malaria, kita juga menghancurkan sebagian besar populasi lebah yang melakukan perserian buah-buahan komersial kita. Jika kita membasmi rumput tertentu dengan hebat sekali akan menyebabkan kemerosotan populasi bakteri tanah, yang kita perlukan untuk memelihara struktur remih-remih (sampah) yang baik dan kesuburan tanah.

Pertumbuhan penduduk dunia yang cepat dan peningkatannya tergantung pada pertanian yang intensif dan hasil yang banyak menyebabkan kita terus memakai bahan kimia untuk memerangi penyakit tumbuhan dan hewan. Kita harus selalu berhati-hati terhadap penyakit tumbuhan dan hewan. Kita harus selalu berhati-hati terhadap pemakaian bahan seperti itu sebab kebanyakan di antaranya masuk ke dalam tubuh kita. Pada waktu yang bersamaan kita harus memelihara kesehatan kita dengan baik dan menyarankan supaya pemerintah memperhatikannya dan bekerja sama dengan industri (persatuan industri) supaya hanya bahan kimia yang dites dengan baik dan sehat yang dipakai.

## RINGKASAN

Semua biji berisi satu embrio, yang mempunyai persediaan makanan (disebut endosperm) dan kulit pelindung. Selama perkecambahan air diserap, makanan cadangan dicerna dan diangkut ke titik tumbuh dan pertumbuhan mulai terjadi. Pembelahan sel terjadi pada meristem pada ujung batang, ujung akar dan kambium. Pembesaran sel banyak terjadi pada sel-sel dibelakang ujung tersebut. Keseluruhan pertumbuhan mulai mula-mula lambat, menjadi lebih cepat, kemudian berangsur-angsur berkurang dan akhirnya berhenti. Penghentian pertumbuhan terjadi karena faktor internal. Hal ini terbukti jika jaringan yang sedang tumbuh dipotong sedikit dari tumbuhan induk dan setelah disuci-hamakan dipindahkan ke dalam larutan makanan buatan, mereka tetap dapat tumbuh untuk jangka waktu yang tak terbatas. Perbedaan pola baru dapat dilihat setelah sel-sel yang baru dibentuk agak berumur. Pada akar, sel-sel pusat berubah menjadi xylem, dikelilinginya ditemukan ikatan phloem, pericycle dan endodermis. Pembelahannya secara radial, menghasilkan xylem kedua dan phloem kedua yang menyebabkan bertambahnya diameter, sehingga retak-retak pada bagian luar jaringan dan penggantian mereka digantikan oleh jaringan periderm yang bergabus. Akar-akar cabang bertambah besar karena pembelahan sel pericycle dan menekan terus ke luar melalui cortex dan epidermis. Batang membentuk akar, kecuali bagi mereka yang mempunyai buluh sentral (central pith), membentuk cabang-cabang lapisan luar. Lingkaran tahunan dalam batang berkayu adalah karena terjadi perbedaan ketebalan dinding sel di antara sel-sel tracheid yang dibentuk pada musim panas yang lewat (dinding tebal) dan permulaan musim bunga (dinding tipis).

Angka pertumbuhan ditentukan oleh sifat genetik, bermacam faktor lingkungan dan hormon. Bahan kimia pengatur pertumbuhan di antaranya auxin, gibberellin, cytokinin dan penghambat pertumbuhan. Auxin dibentuk pada bagian ujung batang dan akar, berpindah menurut kutub dari pucuk dan meningkatkan pembesaran sel. Salah satu auxin yang telah diidentifikasi berupa 3-indole acetic acid (IAA). Pemerataan penyebaran auxin dalam batang dan akar dapat diganggu oleh cahaya atau grafitasi yang bekerja pada satu arah/sisi.

Pada batang atau akar yang seperti itu, pembengkokan yang terjadi cenderung untuk mengembalikan/memulihkan tumbuhan kepada arah tegak yang normal. Auxin juga menghalangi pertumbuhan tunas samping, mendorong tumbuhnya akar permulaan (baru) dan pembelahan kambium dan pada beberapa tumbuhan mempengaruhi diferensiasi tunas bunga. Dalam pertanian, auxin buatan dipakai untuk membunuh rumput-rumputan, menjaga/mencegah jatuhnya daun dan buah, mencegah tunas berkembang lebih dahulu dari waktunya, membentuk akar pada potongan-potongan batang, dan menghasilkan buah buatan (parthenocarpic). Gibberellin adalah bahan yang komplet ditemukan pada kebanyakan tumbuhan, sangat mempengaruhi pertumbuhan dan berbunganya tumbuhan. Mereka khusus meningkatkan pertumbuhan sifat pendek dan merangsang tumbuhan berumur panjang berbunga. Mereka dipakai secara meluas dalam pertanian untuk mempercepat pertumbuhan (gandum), menghasilkan tumbuhan yang lebih besar (seladri) atau buah lebat (anggur). Cytokinin berhubungan dengan komponen asam inti, mendorong pembelahan sel, mencegah layunya dahan yang dipotong dan menaikkan pertumbuhan tunas-tunas yang terhalang. Berbagai-jenis penghambat masuk ke dalam tumbu-

han. Mereka mengontrol tidurnya (dormancy) biji dan tunas, angka pertumbuhan dan masa berbunga. Bahan sintetik yang analog dengan semua alat pendorong pertumbuhan ini sekarang dipakai secara meluas dalam pertanian. Beberapa di antara mereka berbahaya, tetapi barangkali mungkin tidak membahayakan keselamatan manusia. Karena pertanian modern yang intensif yang tergantung pada bahan kimia itu, kita harus terus-menerus mencoba untuk mengembangkannya.

## BAB V

### PERKEMBANGAN TUMBUHAN

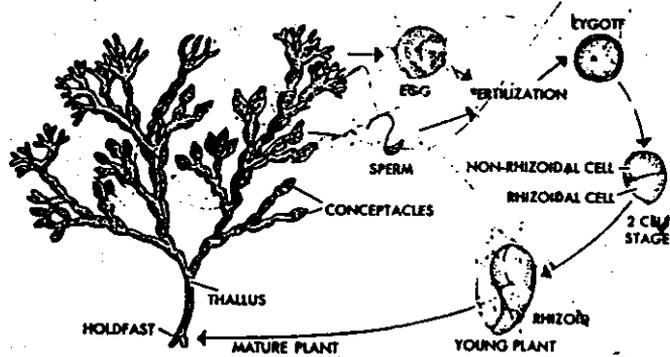
Karena semua sel organisme berasal dari sel telur yang telah dibuahi membelah secara mitosis, maka sel itu semuanya akan menerima materi genetik yang sama. Tentu saja perkembangan dan bentuk akhir mereka akan sama. Tetapi kita sekarang melihat bermacam sel pada satu tumbuhan atau seekor hewan, berbeda bentuk, fungsi dan dasar kimianya. Bagaimana ini terjadi merupakan satu masalah besar yang belum terselesaikan dalam bidang biologi.

Beberapa orang yang meneliti masalah diferensiasi mengira bahwa pada semua sel hanya sebagian dari materi genetik yang mempengaruhi perkembangan organisme. Beberapa gen kelihatannya bekerja sedang yang lain tidak. Kemudian timbul problem yaitu "apa yang menyebabkan gen itu bekerja dan tidak bekerja". Walaupun kita dapat mengontrol efek diferensiasi tertentu secara kimia dan fisik, pekerjaan seperti itu sama dengan seorang yang meletakkan kunci pada sebuah pintu dan membukanya tanpa mengetahui kerja kunci tersebut.

Kata morphogenesis berarti asal-usul (asal mula) bentuk atau struktur. Ini juga termasuk masalah diferensiasi. Kita dapat memilih banyak sistem biologi untuk mengilustrasikan problem dasar morphogenesis umpamanya asal usul dua "kutub" yang berbeda pada zygote fucus. Fucus adalah jenis ganggang perang yang tumbuh pada batu-batu (karang) sepanjang pantai lautan yang biasanya dinamakan lumut karang. Tumbuhan ini terdiri dari dasar (cakram) penempel pada bagian bawah yang disebut holdfast dan cabang yang pipih (bentuk plat) disebut thallus. Pada suatu waktu pada ujung thallus

timbul bentuk seperti bola yang disebut conceptacle. Conceptacle ini berisi organ kelamin jantan dan betina yang disebut antheridia dan oogonia. Sel telur dan sperma pada organ seks ini dikeluarkan ke air laut dan kemudian terjadi pembuahan. Telur yang telah dibuahi (zygote) berbentuk bola terapung-apung dengan bebas di air. Pada permukaannya belum mempunyai tanda-tanda khusus yang memperlihatkan bagian-bagian yang berbeda secara morfologi.

Setelah pembuahan, zygote menjadi symetris. Pada pembelahan sel yang pertama, peranan struktur dan fungsi yang tertentu dan permanen jelas terlihat. Pada salah satu ujung jaringan berbentuk seperti akar (rhizoidal) dan pada ujung jaringan yang lain, berbentuk nonrhizoidal. Sel-sel yang dibentuk oleh ujung rhizoidal dirangsang oleh gaya berat (grafity), bertumbuh ke bawah membentuk batang dan holdfast/ ujung yang rhizoidal berbubuh menjadi thallus, pipih, horizontal.



Gambar 5.1

Ganggang Fucus

Bagaimana zygote berkembang dalam dua pole (kutub) ini ? Beberapa tahun yang lewat ahli botani menemukan bahwa kutub rhizoidal berkembang :

1. pada sisi yang terlindung dari cahaya yang dapat dilihat, bila zygote disinari pada satu sisi.
2. pada sisi yang panas, bila satu sisi lebih panas dari sisi yang lain.
3. pada sisi yang menghadap ke zygote di sampingnya, bila beberapa di antaranya berkumpul bersama-sama.
4. ke arah medium yang lebih asam, bila satu sisi lebih asam dari pada yang lain.
5. pada ujung yang berat, bila zygote disentrifugasi.

Ahli botani juga menemukan bahwa ada beberapa jenis cahaya yang menyebabkan lebih dari satu kutub. Walaupun kita dapat mengobservasi perubahan morfologi pada zygote ini, kita belum mengetahui biokimianya atau mekanisme genetik yang menyebabkan terjadinya diferensiasi tersebut.

Marilah dilihat lagi contoh yang lain. Kita masih ingat jika suatu blok agar yang berisi auxin ditempatkan pada ujung sebelah atas coleoptile AVENA yang dipotong, auxin dengan cepat akan diangkut menuju ke bawah dan mempercepat pertumbuhan sel-sel di bawah ujung tersebut. Jika coleoptile dibalik dan blok agar yang berisi auxin ditaroh pada bagian bawah, auxin tidak akan bergerak ke jaringan di atasnya (lihat keterangan pada bagian terdahulu). Fenomena polarity seperti ini tidak hanya terjadi pada AVENA. Ini juga ditemukan pada banyak jaringan tumbuhan. Masih dipertanyakan, apakah ada perbedaan di antara sel-sel bagian bawah pada coleoptile AVENA. Tetapi kita tidak melihat perbedaan dan juga

kita tidak dapat menemukan perbedaan kimiawi di antara sel-sel ujung dengan sel-sel bagian bawah. Dengan demikian sampai hari ini, masalah polarity yaitu masalah yang lebih besar dari diferensiasi, masih belum terpecahkan.

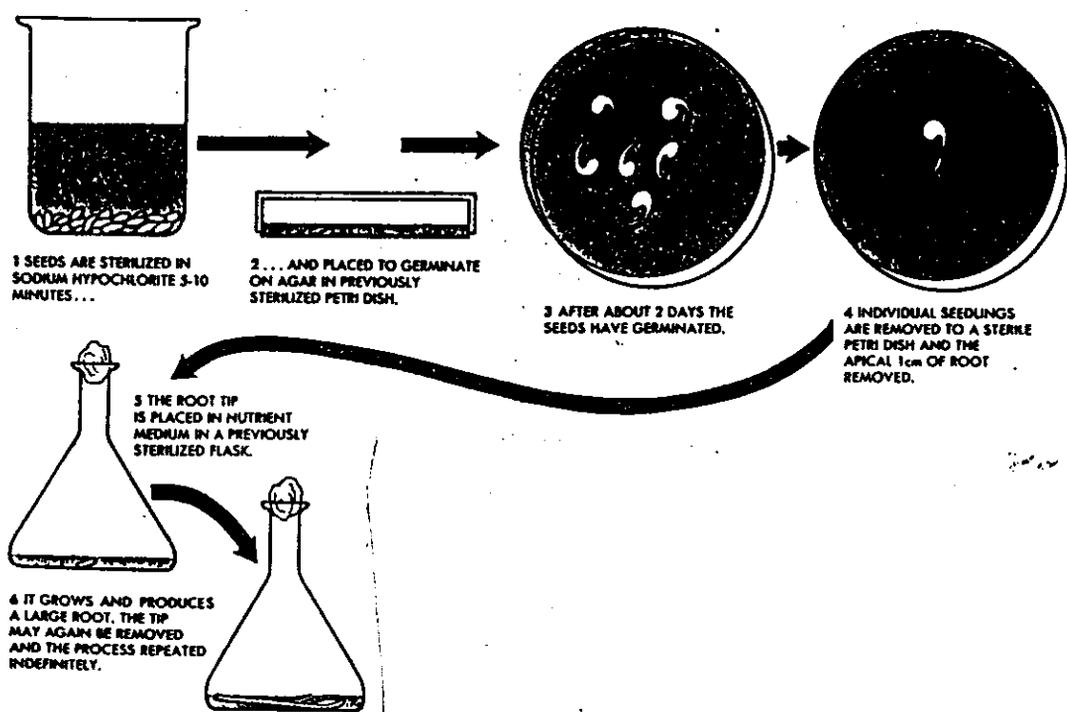
## **BIAKAN ORGAN DAN JARINGAN DALAM MEMPELAJARI MORFOGENESIS**

Jika kita ingin menemukan apa yang menyebabkan mobil berjalan, kita tidak dapat mempelajari hanya dengan berjalan dan melihat sekelilingnya. Kita harus menguji mesin, tangkai kemudi (stir) dan komponen lainnya. Dan untuk mengetahui bagaimana bagian-bagian mesin bekerja, kita harus mengetahui komponen-komponennya. Dengan cara yang sama, seorang ahli botani yang tertarik terhadap faktor yang menyebabkan diferensiasi pada tumbuhan, ia tidak dapat banyak mengetahui dengan hanya melihat tumbuhan yang sedang tumbuh di sekelilingnya. Pekerjaan yang harus dilakukannya adalah memindahkan atau memotong satu group sel-sel yang membentuk keseluruhan organ atau sebagian jaringan tumbuhan itu. Kemudian ia memindahkan sel-sel ini kepada medium makanan yang bebas dari bakteri dan kemudian mempelajari di bawah kondisi yang bervariasi banyak dan dikontrol. Potongan yang ditumbuhkan pada medium ini dinamakan biakan jaringan atau biakan organ.

### Biakan Potongan Akar

Jika kita meneliti akar kacang polong yang merupakan bagian dari tumbuhan, kita hanya dapat menemukan bahwa bahan makanan yang diperlukannya sama bagi semua sel. Jika kita potong sepanjang satu sentimeter ujung akar yang dibiakan tersebut dan disterilkan, kemudian ditempatkan dalam cairan makanan yang hanya berisi sucrose dan garam-garam mineral, ujung akar itu akan berhenti

tumbuh. Pada akhir tahun 1930 ketika eksperimen ini pertama kali dilakukan, ahli botani menambahkan ekstrak jamur kepada medium gula dan jamur tadi. Jamur itu berisi bahan yang memungkinkan pertumbuhan potongan akar itu terus dan kemungkinan besar tak terbatas. Makanan ekstra yang ditemukan dalam jamur itu dirobah menjadi vitamin thiamin ( $B_1$ ) dan asam nikotinic. Jika vitamin ini diberikan/ditambahkan ke medium dengan konsentrasi yang cocok, pertumbuhan potongan akar itu terus sampai jangka waktu yang tak terbatas.



Gambar 5.2

Teknik Biakan Ujung Akar

Dengan ini jelas bahwa secara biokimia akar berbeda dari batang karena tidak mensintesa vitamin thiamin dan asam nikotinic. Karena semua sel memerlukan bahan ini, kita berasumsi bahwa akar

memperolehnya dari bagian lain tumbuhan. Kita dapat menguji teori ini dengan mengkorset batang, yaitu memutus pengangkutan pada phloem batang. Pengangkutan bahan pada xylem tidak terputus sama sekali. Pada batang yang dikorset ini vitamin thiamin dan asam nikotinic tertumpuk di bagian atas korset tetapi berkurang di bagian bawahnya. Kita dapat menyimpulkan bahwa vitamin ini secara normal disintesa (dihasilkan) pada bagian tumbuhan di atas tanah (daun dan batang) dan diangkut ke akar dimana mereka dipakai untuk reaksi kimia yang essensial bagi pertumbuhan.

Jika potongan akar di atas ditumbuhkan pada medium yang cocok, ia akan terus membentuk jaringan baru sampai waktu yang tak terbatas. Pada beberapa akar, akar cabang mungkin muncul. Akar cabang ini tumbuh dengan baik seperti akar pertama, walaupun di dalam beberapa hal mereka gagal tumbuh jika dipotong dan diletakkan pada medium yang sama, yang cocok bagi akar utama (akar induk). Pemakaian auxin pada biakan akar cenderung meningkatkan jumlah akar cabang. Pertumbuhan akar dan akar cabang pertama biasanya berlangsung terbaik dalam gelap dan dapat terhambat oleh jumlah cahaya yang sangat sedikit.

Beberapa akar, seperti halnya pada morning glory (*Convolvulus*), mengadakan tunas pada kondisi tertentu yaitu tidak ada auxin, ada cahaya dan dalam beberapa hal jika ditambahkan bahan yang mirip dengan jenis asam inti. Kinetin seperti telah diuraikan pada bagian muka, sangat efektif dalam proses ini. Diferensiasi jaringan akar, setidaknya-tidaknya dalam hal *Convolvulus*, tidak berarti samasekali hilang kekuatannya untuk membentuk jaringan batang dan daun. Secara umum dapat dikatakan bahwa lebih banyak terjadi batang membentuk akar daripada jaringan akar membentuk

batang.

### Biakan Potongan-Batang

Ujung batang seperti halnya ujung akar, dapat dipotong dari tumbuhan induk dan ditempatkan dalam medium makanan buatan, dimana ia dapat tumbuh. Jaringan batang autotropik. Mereka hanya membutuhkan sukrosa dan makanan mineral. Bila biakan kena cahaya, batang biasanya berfotosintesis. Jika mereka berfotosintesis, mereka tidak membutuhkan sukrosa dari luar karena mereka telah membuat sumber energi sendiri. Hampir semua jaringan batang tanpa dorongan khusus, membentuk akar jika mereka dibiakan dalam gelap. Akibatnya ujung batang mempengaruhi kembali kehidupan suatu tumbuhan secara keseluruhan. Dengan ini nyata bahwa jaringan batang mempunyai kemampuan untuk membentuk akar, seperti juga beberapa jaringan akar mempunyai kemampuan untuk membentuk batang.

Ujung batang asparagus dapat ditumbuhkan secara komplet autotroph bila kena cahaya, karena mereka sanggup berfotosintesis. Pada cahaya terang jaringan batang bertambah dengan bagian-bagian batang pipih yang berfungsi seperti daunnya. Tetapi jika batang ini dipindahkan ke tempat gelap dan diberi sukrosa, mereka bertumbuh amat cepat dan biasanya akar mulai terbentuk. Jika biakan dibiarkan dalam gelap dan ditambah auxin, pertumbuhan akar mungkin lebih cepat.

Kultur batang dodder, yang tidak membentuk akar, mengeluarkan bunga-bunga yang normal. Ini merupakan suatu contoh yang sangat luar biasa dari potongan ujung batang yang dibiakan dapat membentuk organ bunga. Kasus lain yaitu inti batang tembakau bagian atas, juga dapat mengeluarkan bunga.

### Biakan Daun

Beberapa daun muda yang dipotong dari induknya dapat tumbuh dengan baik pada perbenihan menjadi tumbuhan sempurna. Medium perbenihan harus berisi sumber energi ditambah dengan bahan makanan mineral yang biasanya berupa bahan organik. Penambahan kinetin dapat meningkatkan pertumbuhannya dengan cepat. Ia membantu daun supaya hidup lama dengan menolong mengumpulkan nitrogen dan memperlambat hilangnya protein.

Pada beberapa tumbuhan seperti Africanviolet, organ-organ baru dapat dibentuk lagi dari bagian bawah petiole daun yang dipotong. Tahap pertama dari proses ini biasanya pembentukan akar diikuti oleh pertumbuhan tunas untuk membentuk batang. Dengan demikian tumbuhan baru yang lengkap dapat dibentuk dari sehelai daun yang dipotong. Ini akan memperlihatkan bahwa organ tumbuhan, walaupun mereka dikhususkan, menyimpan kemampuan untuk membentuk struktur yang lain.

### Biakan Jaringan Batang

Salah satu percobaan biakan yang sangat menarik yang dapat kita kemukakan yaitu jaringan batang, yang berdinding tipis, sel-sel tidak berdiferensiasi. Kita dapat menghasilkan banyak tumbuhan dengan membiakan sedikit jaringan berdaging seperti tunas kentang, dan akar wortel. Kemudian tumbuhan itu dapat ditumbuhkan selama-lamanya dalam medium yang simpel yaitu gula, garam mineral, auxin, kinetin dan kadang-kadang ditambah bahan organik lain. Sel-sel biakan batang seperti itu besar, mempunyai vacuola yang besar dan mampu terhadap perubahan yang luar biasa. Umpamanya jauh di dalam jaringan itu, kita sering menemukan bagian sel-sel lignin yang membentuk tracheid. Walaupun sel-sel ini terlihat mempunyai

struktur yang normal, mereka jelas tidak mempunyai bagian untuk melaksanakan pengangkutan. Terlihat mereka selalu menimbulkan "sesuatu" jauh pada bagian dalam yang menyebabkan perubahan sel-sel menjadi lignin, bentuk seperti tracheid. Tetapi apa "sesuatu" itu kita masih bingung.

Auxin terlihat membantu perkembangan sel-sel lignin. Jika kita mengentankan (menempelkan) suatu tunas lilac yang normal pada batang jaringan lilac yang tidak berdiferensiasi, tunas itu menyebabkan jaringan batang bertumbuh menjadi helaian jaringan pembuluh yang menyambungkan jaringan batang dengan jaringan buluh tunas. Ini terjadi karena tunas lilac membentuk beberapa bahan yang bergerak ke dalam batang. Jika kita buang tunas itu, jaringan xylem di dalam batang tidak berkembang. Jika kita berikan pada bekas tunas itu auxin melalui agar yang konsentrasinya tinggi jaringan xylem berkembang lagi, tetapi tidak sebaik ketika jaringan tunas tadi ada. Suatu konsentrasi gula tertentu juga terlihat sangat penting untuk pembentukan jaringan xylem pada batang. Kita berkesimpulan bahwa tunas mempengaruhi jaringan batang untuk membentuk sel-sel lignin dengan memberikan auxin bersama dengan gula kepada sel-sel sebelah dalam jaringan.

Kenyataan bahwa jaringan batang tidak mempunyai sel-sel yang berdiferensiasi tidaklah berarti jaringan itu tidak mempunyai kemampuan untuk mengadakan jaringan yang normal. Sebagai contoh yaitu sewaktu adanya auxin berkonsentrasi tinggi, jaringan batang sering membentuk akar. Contoh lain seperti pada empulur batang tembakau, kinetin atau materi lain yang sama, merangsang pembentukan tunas. Timbulnya jaringan tertentu terlihat ditentukan oleh jumlah relatif dua jenis bahan (auxin dan kinetin) yang diberikan

pada jaringan batang. Jika lebih banyak auxin, akar-akar cenderung berkembang (terbentuk), jika lebih banyak kinetin, timbul tunas-tunas akar. Jika kedua bahan itu seimbang diberikan terlihat kecenderungan hanya batang yang berkembang (bertumbuh). Walaupun ini terlihat benar pada sel-sel empulur tembakau, tidak mungkin diaplikasikan pada biakan jaringan batang lainnya.

Kadang-kadang pertumbuhan jaringan berlangsung secara normal. Jika kita mengeksperimenkan dan membiakannya, mereka bertumbuh tidak normal. Satu contoh yang terkenal adalah nodule (pembengkakan) akar leguminose yang terbentuk bila bakteri *Rhizobium* memasuki/menyerang bulu akar. Bakteri menghasilkan sesuatu, merubah kekuatan pertumbuhan dan metabolisme sel-sel pada daerah yang diserang. Bentuk morfologi yang normal terganggu dan sejumlah besar nodule terbentuk sebagai penggantinya. Jaringan yang baru ini sangat berbeda dari jaringan bakteri maupun host (tanaman inang).

Jika kita suntikkan perbenihan bakteri *Agrobacterium tumefaciens* yang sedang aktif membelah ke dalam sel-sel tumbuhan seperti geranium timbul satu kelompok sel seperti tumor. Kebanyakan bakteri perangsang pertumbuhan yang dipakai pada tumbuhan secara normal menyebabkan tumor. Sebagai akibat pertumbuhan tumbuhan menjadi lambat. Setelah tumbuhan itu tumbuh beberapa waktu, kita dapat mengambil bakteri yang menyebabkannya walaupun bakteri tersebut telah berubah bentuk.

Selama penyakit (crown gall) ini berkembang, tumor yang kedua terbentuk, jarak sedikit dari tempat serangan yang pertama. Jika kita potong dan pindahkan tumor ini ke medium makanan (perbenihan), mereka terus tumbuh seperti tumor pertama. Semua usaha

yang dilakukan untuk memperoleh bakteri tumor ke dua ini, tidak berhasil. Ini menunjukkan bahwa bukanlah bakteri penyebab langsung tumor ke dua ini. Ia terlihat merupakan suatu "bungkusan" yang membawa "perantara penyebab tumor" yang dapat diangkut/dipindahkan oleh bakteri secara bebas.

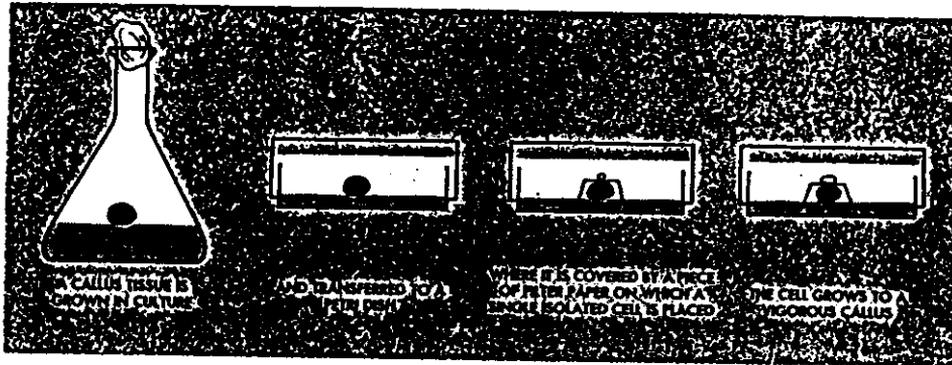
Sel-sel crowngall berbeda dari sel-sel batang yang normal. Pertama ia tidak membutuhkan tambahan auxin dari luar. Batang yang normal membutuhkan sumber auxin untuk meneruskan pertumbuhannya. Tetapi bila kita menambahkan auxin ke sel-sel crowngall, pertumbuhannya terhalang. Kelihatannya mereka menghasilkan auxin cukup untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhannya. Hal ini menjelaskan kenapa mereka dapat tumbuh secara komplet pada sel-sel lain, yang tidak mendapat auxin dari ujung tumbuhan. Tetapi perbedaan antara sel-sel normal dan sel-sel crowngall (tumor) tidaklah terletak semata-mata pada metabolisme auxin mereka. Jika sel yang normal diberi auxin ia tidak akan berubah menjadi sel crowngall. Tetapi jika kita menempelkan sel-sel crowngall pada sel-sel normal, timbul tumor. Sampai sekarang belum ditemukan apa "perantara perangsang tumor" itu dan bagaimana sel-sel crowngall menularkannya kepada sel-sel yang normal. Penyakit crowngall pada tumbuhan ini mirip dengan kanker pada hewan. Jika kita dapat menemukan bentuk kimia dari perangsang tumor tersebut, informasi ini dapat membuka beberapa penyebab kanker hewan.

#### BIAKAN SEL TUNGGAL

Karena ahli botani telah mengetahui lebih banyak tentang morphogenesis, mereka mempertanyakan satu pertanyaan yang menarik. Jika sebuah sel tumbuhan diisolasi dan ditumbuhkan pada medium makanan, apakah sel itu akan berkembang menjadi satu tumbuhan yang

komplet ? atau dengan kata lain : apakah setiap individu sel tumbuhan tua mempunyai tenaga (potensi) morphogenetic untuk menjadi satu tumbuhan yang utuh ? Jawabnya, ya.

Mengisolasi dan menumbuhkan satu sel tumbuhan adalah sukar, sebab sel-sel cenderung untuk tumbuh berkelompok. Salah satu cara memisahkan satu sel tunggal dari kelompok sel adalah dengan memberikan suatu enzim yang melarutkan "perekat" (cement) mengikat sel-sel itu. Kemudian sel-sel yang sudah bebas dapat diperoleh. Masalah berikutnya adalah memelihara sel tunggal itu supaya tetap hidup. Sel tunggal memperlihatkan keengganan untuk tumbuh bila ia ditempatkan pada suatu medium yang secara normal cukup untuk satu kelompok sel. Jelas kelihatan bahwa sel tunggal itu kehilangan materi-materi yang ia perlukan untuk pertumbuhan. Cara yang lebih mudah untuk mengatasi kesukaran ini adalah mempersiapkan sel dengan "jaringan penolong". Sel-sel yang ditumbuhkan itu diusahakan tetap berdampingan tetapi secara fisik tetap terisolasi sebagai sel tunggal. Kita dapat melakukan ini dengan menempatkan sebuah sel pada kertas filter yang diletakkan pada "jaringan pembantu". Bila diatur sebagaimana mestinya sel itu akan tumbuh dan membelah. Sel-sel tunggal juga dapat tumbuh dan membelah pada medium yang cocok yaitu medium yang telah berkontak dengan jaringan yang sedang tumbuh. Jaringan ini mungkin telah memberikan/menambahkan bahan makanan essensial yang belum diketahui ke dalam medium atau mereka memindahkan atau menghalangi beberapa bahan yang berbahaya.



Gambar 5.3

Biakan Sel Tunggal

Bila sebuah sel ditumbuhkan dalam terisolir, ia akan bertumbuh menjadi banyak kelompok sel. Kelompok-kelompok sel ini berkembang menjadi tipe-tipe sel yang berbeda yang kemudian masing-masingnya tumbuh satu organ tersendiri pada tumbuhan yang utuh. Siklus dari sel tunggal menjadi tumbuhan utuh telah berlangsung dengan sukses pada wortel dan mungkin berlaku secara umum bagi semua atau sebagian besar tumbuhan. Jika benar itu berarti bahwa selama proses diferensiasi tidak pernah tenaga morphogenetic hilang samasekali dari satu sel tumbuhan.

**DIFERENSIASI ORGAN-ORGAN PEMBIAKAN**

Salah satu perubahan yang amat menakjubkan yang terjadi pada tumbuhan adalah perubahan dari bentuk vegetatif ke reproduktif (pembiasaan). Banyak tumbuhan bunga membentuk akar, batang dan

greenhouse. Tetapi karena tidak berhubungan dengan perangsang, tumbuhan itu tidak berbunga sampai kira-kira tengah Desember, beberapa bulan setelah tumbuhan lain selesai membentuk biji. Bila biji-biji Maryland Mammoth yang menyerbuk sendiri ditanam di kebun tahun berikutnya, hal yang sama juga terjadi. Maryland Mammoth tumbuh di kebun dengan mengagumkan, tetapi tidak berbunga ketika tumbuhan lainnya berbunga. Mereka dipindahkan lagi ke greenhouse dimana mereka berbunga sekitar Hari Natal.

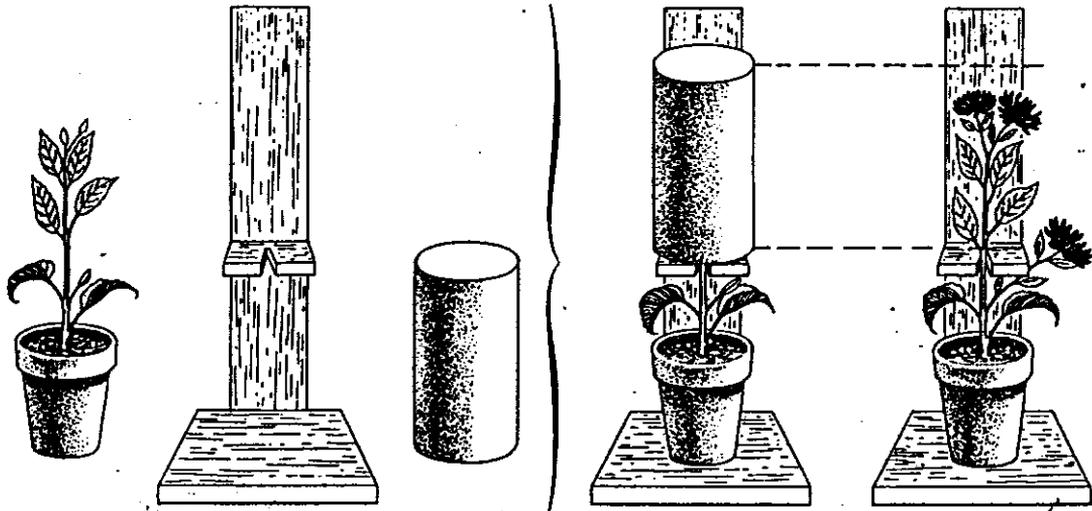
Setelah menghilangkan beberapa kemungkinan lain, Garner dan Allard berkesimpulan bahwa tumbuhan akan berbunga hanya khusus pada hari yang sangat pendek pada belahan bumi sebelah utara pada Hari Natal. Mereka menemukan bahwa mereka dapat membuat tumbuhan berbunga lebih cepat dengan memindahkan ke ruangan tertentu, dimana panjangnya hari dapat diperpendek secara buatan (dibuat pendek). Mereka namakan respon tumbuhan terhadap panjangnya hari



Gambar 5.4

Tumbuhan Tembakau yang Berbunga

ini dengan photoperiodism. Tumbuhan Maryland Mammoth yang berbunga bila panjangnya hari pendek (kurang dari nilai kritis tertentu), disebut tanaman hari pendek. Tumbuhan lain yang sejenis dengan ini adalah kacang kedele dan bunga serunai.



Gambar 5.5

Percobaan Hari Pendek Terhadap Berbunganya Tanaman

Kelas lain dari tumbuhan adalah tumbuhan hari panjang, seperti bayam dan padi-padian tertentu. Pada jenis ini, masa berbunga terjadi hanya jika panjangnya hari melebihi nilai kritis. Ada juga tumbuhan hari netral. Lamanya penyinaran tidak mempunyai efek yang besar terhadap masa berbunganya. Satu contoh dari tumbuhan ini adalah tomat, dimana organ bunga mulai terbentuk bila tumbuhan sampai pada ukurannya. Situasi ini tidak dikontrol oleh lama penyinaran walaupun bahan kimia yang ada hubungannya dengan auxin dapat menyebabkan tumbuhan tomat berbunga sebelum matang.

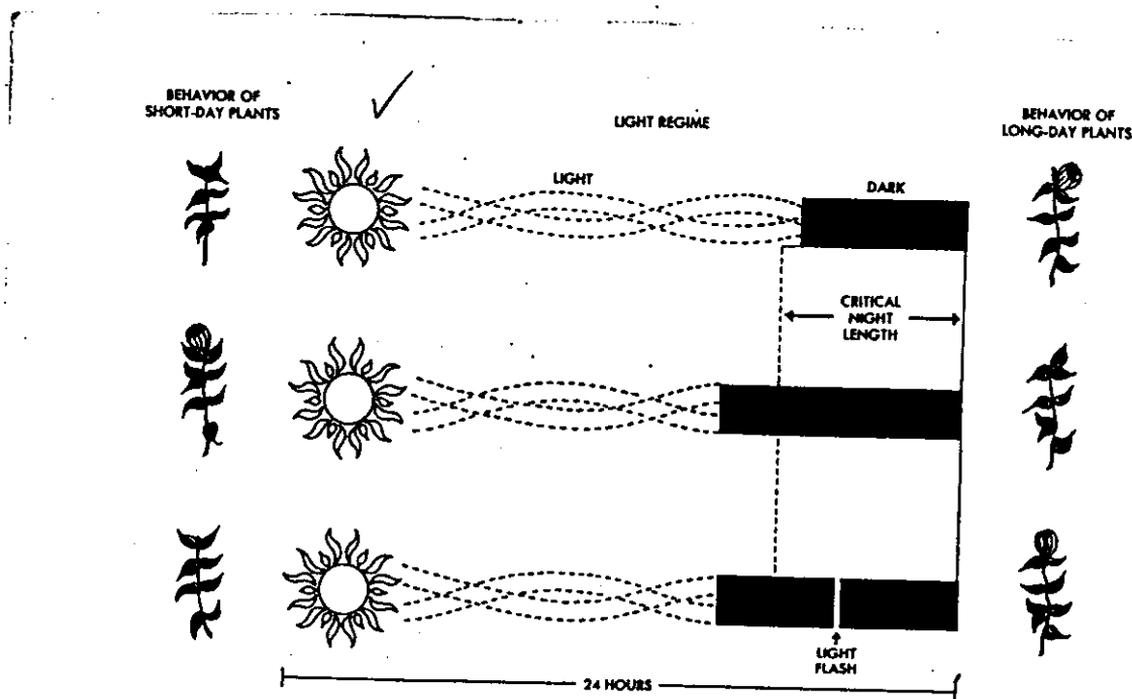
Semenjak tahun 1920, ahli botani telah banyak mempelajari tentang lamanya penyinaran. Telah diketahui bahwa daun adalah organ yang menerima rangsangan penyinaran. Jika kita tutup sehelai daun tembakau Maryland Mammoth dalam sebuah kotak hitam dan kemudian kita buka ia sebentar terhadap sinar, kuncup ujung yang sedikit jauh dari daun tersebut mulai menumbuhkan organ bunga. Ini jelas bahwa ada sejenis ikatan antara daun dan tunas kuncup ujung.

Pada percobaan lainnya kita mengentankan tumbuhan hari pendek kepada tumbuhan hari panjang yang dipelihara dalam bentuk vegetatif. Daun tumbuhan hari pendek itu memberikan sedikit hormon yang dinamakan florigen kepada tumbuhan vegetatif tersebut dan menyebabkan tumbuhan vegetatif itu berbunga. Kita juga dapat menghentikan aliran florigen kepada tumbuhan vegetatif dengan menggosong batang atau dengan memutus phloem pengangkut dari tumbuhan hari pendek.

Banyak tumbuhan hari panjang jika diberi gibberellin dapat berbunga walaupun tumbuhan itu tidak dibukakan terhadap penyinaran hari panjang yang mereka perlukan secara normal untuk menghasilkan bunga. Pada tumbuhan ada terlihat hubungan antara gibberellin dan sifat berbunga. Tetapi gibberellin tidak merangsang timbulnya bunga pada tumbuhan hari pendek. Karena ada kejadian yang sangat baik dari percobaan pencangkokan bahwa gen tumbuhan hari panjang dan tumbuhan hari pendek bekerja dengan cara yang sama (walaupun mungkin secara kimia tidak sama), bentuk hubungan yang pasti antara gibberellin dan florigen tidak jelas. Pada tumbuhan lain seperti penas dan lempeng pemberian auxin sintatis menyebabkan organ bunga muncul.

Dalam serangkaian kejadian yang menuju kepada pembentukan organ-organ pembiakan, bermacam bahan dapat menjadi pengontrol terhadap tumbuhan yang berbeda. Bahan ini mungkin gibberellin pada sebagian tumbuhan, auxin pada tumbuhan yang lain dan mungkin bahan yang belum diketahui pada tumbuhan yang lain lagi.

Tumbuhan hari pendek sebetulnya adalah "tumbuhan malam panjang" yang membutuhkan masa gelap minimal yang tidak terputus untuk pembentukan organ bunga. Dengan cara yang sama tumbuhan hari panjang sesungguhnya adalah "tumbuhan malam pendek" suatu tumbuhan yang akan berbunga hanya jika malam tidak lebih dari suatu maksimum kritis.



Gambar 5.6

Pengaruh panjangnya malam terhadap berbunganya tumbuhan

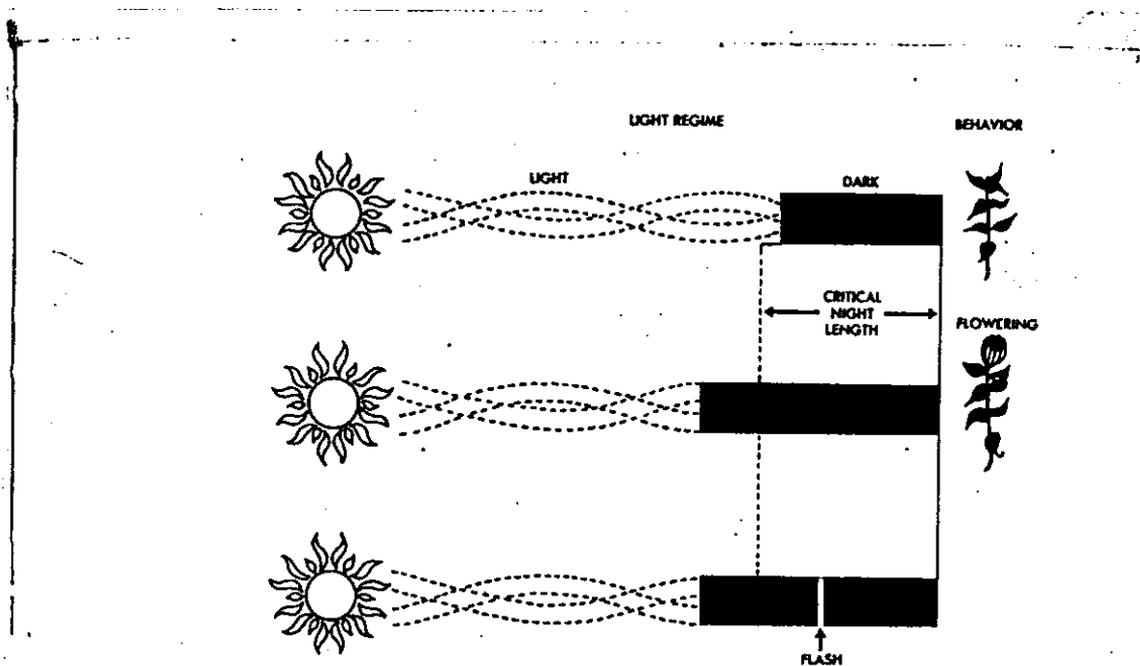
Kondisi ini dapat diperlihatkan dengan memendekkan waktu malam (gelap), cukup beberapa menit atau dengan penyinaran cahaya sebentar pada pertengahan masa gelap tersebut. Unpamanya pada

tumbuhan hari pendek cocklebur, masa berbunga terjadi bila waktu siang-malam (bercahaya-gelap) diatur menjadi 15 jam bercahaya dan 9 jam gelap. Jika masa gelap 9 jam dipendekkan menjadi kira-kira 8 1/2 jam masa berbunga tidak akan terjadi. Tetapi siklus 15 jam bercahaya, dan 9 jam gelap cukup untuk menyebabkan tumbuhan mengeluarkan organ bunga sekalipun tumbuhan ditempatkan pada keadaan bercahaya-gelap yang tidak cocok untuk berbunga. Jika masa gelap selama 9 jam disela pada pertengahannya (dengan memancarkan cahaya) tumbuhan tidak akan berbunga.

Proses kimia yang sangat sensitif terhadap jumlah cahaya yang sangat sedikit harus terjadi dalam gelap pada daun. Jika ada cahaya menyela/memutus reaksi ini, keseluruhan urutan kejadian dirusak dan tumbuhan harus mulai kembali dari semula. Pada tumbuhan hari panjang, situasi itu terjadi sebaliknya. Pemutusan masa gelap yang panjang yang tidak diinginkan, dengan memancarkan cahaya sebentar saja, menyebabkan organ bunga terbentuk. Tumbuhan hari panjang dan tumbuhan hari pendek terlihat mempunyai mekanisme penyinaran yang sama tetapi mereka bekerja berlawanan.

Dari keterangan di atas kita dapat mengatakan bahwa jenis cahaya yang menghambat berbunganya tumbuhan hari pendek menyebabkan berbunganya tumbuhan hari panjang. Baru-baru ini percobaan telah mengungkapkan bahwa banyak jenis tumbuhan memberikan respons terbaik terhadap cahaya merah dalam daerah 660 mu. Suatu percobaan telah mengungkapkan bahwa efek cahaya merah pada tumbuhan mungkin dengan segera dan komplet disapu bersih (dihabiskan) bila disinari dengan cahaya far-red dalam daerah 730 mu. Percobaan ini menduga bahwa ada satu pigmen pada tumbuhan yang dinamakan phytochrom, terdiri dari dua bentuk yaitu penyerap cahaya merah

dan penyerap cahaya far-red. Baru-baru ini zat tersebut telah diisolasi dari jaringan tumbuhan. Ia terdiri dari protein yang terikat pada pigmen biru, ditinjau dari segi kimianya serupa dengan phycoyanin yang ditemukan pada ganggang perang (Bluegreen algae). Cahaya yang panjang gelombangnya 660 m $\mu$  (cahaya merah) merubah dari bentuk penyerap-merah ke bentuk penyerap far-red. Cahaya yang panjang gelombang 730 m $\mu$  (far-red) berhuat sebaliknya.



Gambar 5.5  
Gangguan Panjangnya Malam  
Kritis Dengan Sorotan Cahaya

Penemuan adanya reaksi cahaya yang berlawanan yang mengahur masa berbunga pada tumbuhan ini telah memperjelas beberapa masalah dalam fisiologi tumbuhan. Umpamanya, kita telah mengetahui bahwa perkecambahan biji Grand rapids (sejenis selada) yang diletakkan

di atas kertas miring yang lembab pada temperatur kamar, tidak akan berkecambah bila ditempatkan pada tempat yang gelap, tetapi ia akan berkecambah dengan cepat bila diberi sedikit cahaya merah. Tetapi jika biji yang diperlakukan dengan cahaya merah tersebut disinari sebentar dengan cahaya far-red, pengaruh cahaya merah tersebut samasekali dihilangkan dan biji-biji tetap diam. Pertumbuhan tumbuhan juga dikontrol oleh dua cahaya yang bekerja berlawanan, pertukarannya dikontrol oleh pigmen phytochrome. Rangsangan cahaya merah dan cahaya far-red sama-sama bekerja pada batang, dan daun tumbuhan yang tumbuh dalam gelap. Biji yang berkecambah ditempat yang gelap, tumbuh sangat panjang, ramping, batang tak bewarna dan daun tidak melebar. Ditemukan bahwa cahaya merah adalah yang sangat efektif untuk merubah tumbuhan ini (yang tumbuh dalam gelap) menjadi tumbuhan yang normal. Tetapi keefektifan cahaya merah dapat dihilangkan oleh cahaya far-red. Walaupun demikian respon yang pasti tergantung pada jaringan. Jika jaringan batang diberi cahaya merah pertumbuhannya sangat dihambat. Sebaliknya jika daun diberi cahaya merah pertumbuhannya sangat cepat. Tetapi efek cahaya merah pada batang dan daun ini segera hilang bila diberikan cahaya far-red.

Proses diferensiasi, yang menyebabkan timbulnya bermacam tipe sel, menentukan bagaimana reaksi suatu jaringan terhadap cahaya yang dapat dilihat. Jenis respon, tiap jaringan sangat penting dalam kehidupan tumbuhan, sebab ia mempengaruhi bermacam proses, seperti perkecambahan biji, pertumbuhan akar, batang dan daun dan pembentukan organ bunga. Peningkatan pengetahuan tentang phytochrome dan bagaimana kerjanya, sangat diperlukan dan harus

merupakan tujuan yang penting bagi penelitian dalam fisiologi tumbuhan.

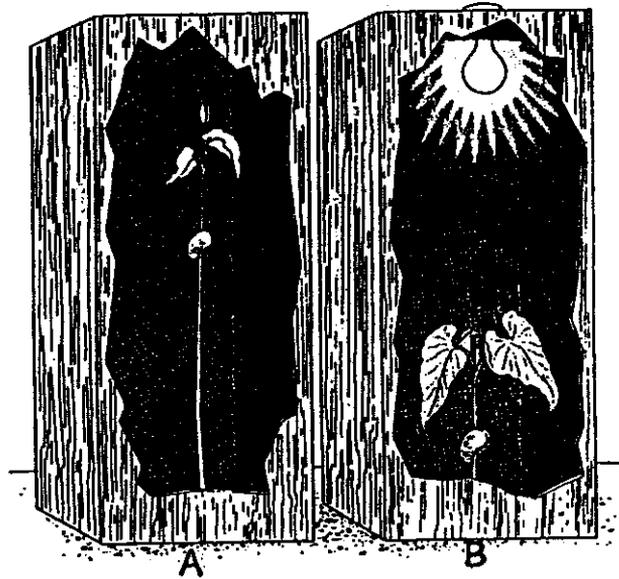
### Temperatur

Temperatur juga mengontrol masa berbunga tumbuhan. Petani mengetahui tumbuhan tahunan mulai tumbuh pada musim bunga, berbunga pada musim panas dan buah (menghasilkan biji) masak pada musim gugur. Sebaliknya tumbuhan dua tahunan (biennial) hanya menghasilkan organ vegetatif selama musim pertumbuhan yang pertama. Tumbuhan itu tidak berbunga sampai tahun berikutnya. Tetapi setelah mereka melalui musim dingin (temperatur yang rendah), baru mereka dapat mengadakan respon terhadap rangsangan penyinaran.

Kebutuhan tumbuhan dua tahunan (biennial-plant) terhadap temperatur rendah dalam masa perkembangannya setelah berkecambah, dapat diperubi. Umpamanya biji direndam dalam air untuk memulai perkecambahan, kemudian ditempatkan pada temperatur  $2^{\circ}\text{C}$  sampai  $6^{\circ}\text{C}$  selama lebih kurang enam minggu. Kemudian tumbuhan ini akan memperlihatkan gejala seperti ia telah melewati satu periode musim dingin dan akan berbunga pada musim yang pertama pada penyinaran. Perlakuan/perbuatan mendinginkan tumbuhan untuk mempercepat pembiakan seperti ini disebut vernalization (vernalisasi).

Karena perbedaan di antara tumbuhan satu tahunan dan dua tahunan, perbuatan merendahkan temperatur pada tumbuhan dua tahunan merupakan pengganti beberapa kejadian biokimia yang terjadi di bawah kontrol gen tersebut. Disamping itu ada beberapa tumbuhan tahunan dapat berbunga pada musim yang pertama dengan pemberian gibberellin. Apakah perbuatan mendinginkan menyebabkan sesuatu membentuk gibberellin pada tumbuhan kelas kelas. Pada

suatu saat rangsangan vernalisasi (barangkali hormon), seperti hal rangsangan penyinaran, dapat dipindahkan dari tumbuhan yang telah mendapat temperatur rendah kepada tumbuhan yang belum seperti itu.



Gambar 5.8

Tumbuhan Ditumbuhkan

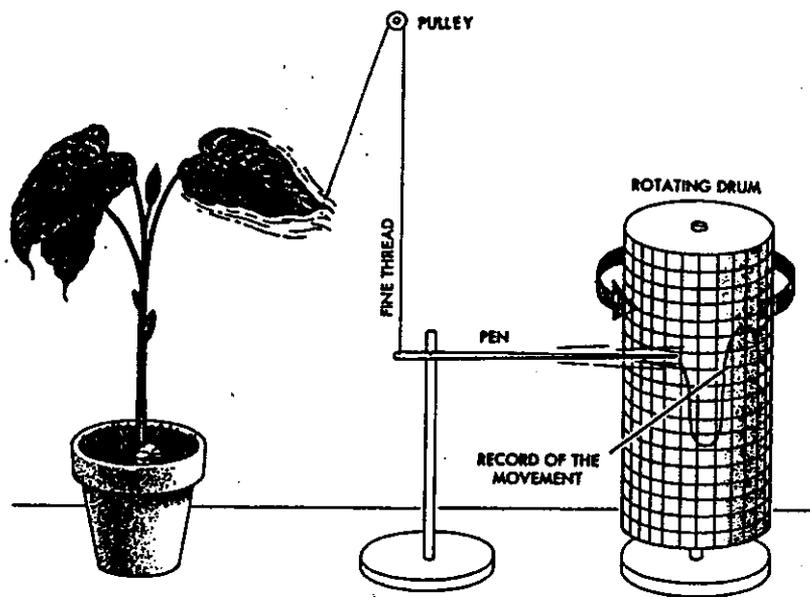
A. Tak Ada Cahaya

B. Ada Cahaya

### Irama Endogenous

Setiap peristiwa yang terjadi pada waktu (periode) yang tetap, seperti siang dan malam, ayunan pendulum, denyut jantung, disebut berirama. Bila suatu irama pada organisme tidak bergantung terhadap pengaruh luar, irama itu disebut "irama endogenous". Salah satu contoh adalah gerak daun pertama dari kacang. Selama siang hari daun lebih kurang horizontal dan petiola membentang lebar dari batang. Tetapi malam hari, daun menjadi berposisi vertikal ke bawah (tidur) dan petiola menutup

ke arah batang. Kita dapat mencatat (mengikuti) gerakan ini dengan menghubungkan ujung daun kepada sebuah pena dengan benang yang baik, dan membiarkan gerakan itu tercatat pada drum yang berputar. Bila tanaman itu ditempatkan di ruang gelap, dimana temperatur dan kelembaban tetap, irama daun itu terus selama beberapa hari, sampai kematian terjadi (mati). Irama ini berlangsung selama 24 jam. Irama yang berlangsung satu hari ini dinamakan "circadian rhythms" dan waktu yang konstan seperti mesin disebut dalam jam biologi (biological clock).



Gambar 5.9

Gerak Berirama Daun Kacang

Penyebab irama ini masih rahasia, walaupun kita tahu bahwa waktu yang diperlukan mekanisme tersebut terlepas sama sekali dari pe-

ngaruh temperatur. Kita juga tahu bahwa irama itu peka terhadap bahan pembius dan bermacam perantara yang mengganggu keutuhan membran dan aspek tertentu dalam metabolisme sel normal. Tetapi sebagai pengganti menolong memperjelas rahasia tentang "circadian" tersebut, pengetahuan yang sedikit ini sekarang terlihat mengaburkan.

Sebagian orang percaya bahwa "irama endogenous" dalam beberapa hal berhubungan dengan sistem foto periodik. Beberapa varietas kacang kedele yang melakukan gerakan daun endogenous secara besar-besaran mempunyai periode hari pendek yang khas. Tetapi tanpa irama seperti itu cenderung menjadi hari netral.

Ganggang laut bersel tunggal *Gangaulase nahydra* mempunyai paling sedikit tiga irama: 1. fotosintesis; 2. memancarkan cahaya; 3. pembelokan sel. walaupun irama-irama ini mencapai puncaknya pada saat yang berbeda, mereka mempunyai periode yang sama dan mungkin ditentukan oleh waktu yang sama pula. Irama dan waktu benar-benar terdapat pada semua jenis makhluk, ganggang, kepiting, manusia kecoak dan tanaman tinggi. Pada suatu saat kita akan mendapat informasi yang sangat diperlukan terhadap bentuk sistem biologi tersebut. Karena mikroorganisme dan hewan tertentu juga peka terhadap rangsangan fotoperiodik, studi perbandingan dalam bidang ini akan sangat berguna. Dalam mempelajari "irama endogenous" seperti halnya semua masalah biologi, percobaan dengan sistem biologi apapun dikira akan memberikan informasi yang akan menambah pengertian kita terhadap unit dasar dari semua makhluk hidup yaitu "sel".

## RINGKASAN

Diferensiasi adalah sumber perbedaan pada sel-sel yang mempunyai informasi genetik yang sama. Ini adalah bagian dari problem morphogenesis. Masalah tersebut masih sedikit dimengerti. Salah satu pendekatan adalah mempreteli tumbuhan menjadi organ-organ, menumbuhkan mereka pada larutan makanan buatan dan mengamati kelakuannya. Potongan ujung akar yang dicobakan dalam cairan yang diberi gula, garam dan dua macam vitamin B, tumbuh terus sampai tak terbatas sebagaimana akar. Kedua vitamin B tersebut, dalam keadaan normal diangkut ke bawah dari daun melalui phloem, dianggap sebagai hormon tumbuhan. Biakan akar jarang yang menghasilkan batang, tetapi biakan batang hampir selalu menghasilkan akar. Pada bermacam-macam sistim biakan jaringan, auxin menolong pembentukan akar, sebaliknya cytokinin menolong pembentukan tunas. Daun-daun yang telah dipotong membutuhkan cytokinin untuk dapat hidup terus, beberapa di antaranya, bila diberi auxin, akan membentuk akar pada dasar petiole. Jaringan berdaging, bila dipindahkan ke medium buatan yang berisi gula, garam, auxin dan cytokinin, akan tumbuh tanpa batas, sama halnya dengan jaringan batang yang tidak berdiferensiasi. Peningkatan konsentrasi auxin sering menolong pembentukn akar, sebaliknya peningkatan konsentrasi cytokinin menolong pembentukan tunas. Karena itu satu potong jaringan yang tidak berdiferensiasi, yang terlebih dahulu dirangsang oleh bahan kimia, dapat menyebabkan pertumbuhan terhadap keseluruhan tumbuhan. Bahkan sel tunggal yang dikultur dapat melakukan hal ini, bila ditumbuhkan di sekitar sel-sel lain. Jaringan tua yang telah berdiferensiasi dapat meningkatkan diferensiasi sel-sel tetangga. Karena itu tunas-tunas yang

dicangkokkan pada batang dapat menyebabkan pembentukan sel-sel xylem.

Bakteri dapat meningkatkan diferensiasi sel-sel tumbuhan. Penyerangan akar rambut oleh rhizobium menyebabkan pembentukan nodulle; banyak tumbuhan jika diserang oleh *Agrobacterium* menyebabkan penyakit crown gall, atau "kanker tumbuhan". Sel-sel crown gall yang betul-betul bebas dari auxin dan cytokinin, dapat menjelaskan kenapa mereka dapat "tumbuh liar", pada tumbuhan. Mereka dapat menulari sel-sel lain sehingga mempunyai sifat seperti mereka sendiri, mungkin disebabkan karena mereka berisi virus yang dibawa oleh bakteri yang memasukinya.

Diferensiasi bunga pada bagian vegetatif tumbuhan terutama sekali dikontrol oleh penyinaran berkala. Karena itu ada tumbuhan hari panjang, tumbuhan hari pendek, dan tumbuhan netral.

Daun adalah organ yang merasakan stimulus kegelapan. Jika dirangsang sebagaimana mestinya, daun membentuk hormon yang disebut florigen, menyebabkan tumbuhan berbunga, yang secara kimia belum diketahui. Stimulus ini dapat dipindahkan melalui enten dari satu tumbuhan ketumbuhan yang lain. Pada tumbuhan hari panjang, gibberellin muncul pengganti florigen. Penyinaran berkala berhubungan dengan zat warna yang disebut phytochrome, yang berada pada tumbuhan dalam dua bentuk, satu menyerap cahaya merah, yang lain menyerap cahaya far-red. Karena itu pemberian cahaya merah kepada tumbuhan hari pendek pada pertengahan periode gelap, akan menghambat pertumbuhan bunga, tetapi efek cahaya merah itu dengan segera dihilangkan oleh cahaya far-red. Phytochrome juga mengontrol perkecambahan biji, pertumbuhan batang dan daun, dan proses lainnya. Temperatur dapat juga

mengontrol diferensiasi bunga. Tumbuhan dua tahunan memerlukan musim dingin untuk dapat berbunga. Pada proses vernalisasi, pendinginan dapat dilakukan secara buatan terhadap biji-biji yang telah berkecambah sedikit yang menyebabkan tumbuhan berbunga pada tahun pertama. Efek ini dapat digantikan oleh gibberellin.

---

## BAB VI TUMBUHAN DAN MANUSIA

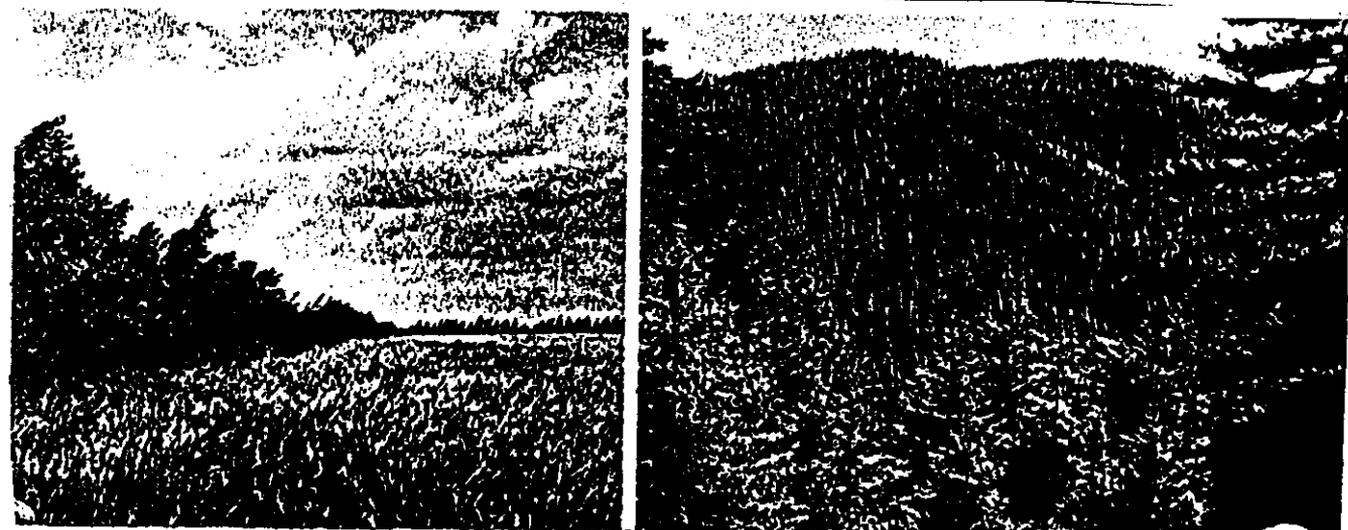
Ketergantungan manusia secara penuh pada tumbuhan hijau untuk memproduksi makanan secara fisiologis dan hasil-hasil lainnya, membuat ia perlu sekali, sehingga manusia berusaha untuk hidup secara permanen dengan populasi tanaman hijau yang stabil. Dengan menakjubkan, banyak populasi tanaman hijau yang stabil tersebut telah dikembangkan secara buatan oleh manusia dan keberadaan mereka selanjutnya tergantung pada manusia. Jika mereka dibiarkan sendirian, mereka akan musnah, korban rumput liar, sehingga jamur dan predator-predator lainnya, atau barangkali mereka kurang kuat menghadapi tanah yang miskin.

Kedadaan ini mendorong manusia supaya tahu kebutuhan tanaman hijau. Tentu saja ia harus tahu memenuhi kebutuhan ini; tetapi dalam melakukannya ia harus tidak merobah lingkungan sedemikian sehingga kesehatan dan kekuatan berkembang komunitas tanaman secara alamiah terhalangi. Pada masa yang lalu, manusia terlihat tidak arif/peduli terhadap masalah ini, dan banyak tindakan yang membuat tidak mungkin kehidupan pada daerah yang luas di dunia ini. Supaya dapat terus hidup baik di planet ini, manusia harus mengerti dan mengoreksi kembali kesalahannya pada masa yang lalu. Setidak-tidaknya sebagian hal ini akan menyebabkan peningkatan pengertian dan penyelidikan tentang ekologi, yang mendalami interaksi makhluk hidup sesamanya dan dengan lingkungan mereka.

### Komunitas tumbuhan.

Tumbuhan, seperti halnya hewan, di daerah luas (hutan belantara) diorganisir dalam komunitas-komunitas. Komunitas dide-

finisikan sebagai suatu kelompok makhluk hidup yang saling berhubungan sesamanya dan dengan lingkungan mereka. Contoh yang dikenal baik adalah hutan pohon pinus padang rumput, atau satu kelompok ganggang laut tepi pantai. Setiap komunitas ini berkembang baik pada lokasi tersendiri sebagai hasil dari perkembangannya yang sudah lama, dan sebagai hasil dari interaksi kelompok-kelompok tumbuhan dan hewan (termasuk manusia) secara berantai beradaptasi dengan kekuatan lingkungan. Sebagian dari komunitas ini stabil, sebagian dalam transisi; semuanya sangat sensitif terhadap perlakuan curang manusia.



Gambar 6.1

Komunitas Rumput dan Pohon Yang Stabil

Dalam Bentuk Keseimbangan Yang Dinamis

Di hutan belantara, komunitas tumbuhan bersaing sesamanya untuk mendapatkan tempat, makan, air dan cahaya. Ini sangat mudah terlihat pada lingkungan padang pasir dan hutan lebat. Di padang pasir, dimana kelembaban membatasi pertumbuhan tumbuhan, tumbuhan yang dapat bertahan hanyalah tumbuhan yang dapat menghemat air

dengan efisien. Di antara alat-alat yang dipakai oleh tumbuhan untuk kompetisi yang efisien pada lingkungan yang ekstrim ini adalah suatu sistem perakaran yang banyak, disesuaikan supaya masuk jauh ke dalam substratum, untuk mengumpulkan air yang baru saja masuk di bawah permukaan tanah yang luas.

Karena tumbuhan padang pasir harus menembus lapisan tanah yang luas supaya memperoleh air yang mereka perlukan untuk pemeliharaan dan pertumbuhan, populasi padang pasir cenderung di tempat yang terbuka. Biasanya, tumbuhan dewasa ditemukan hanya pada jarak beberapa meter dari tetangganya yang terdekat. Dengan permukaan seluas itu biasanya tumbuhan terjamin dari perebutan bahan kimia sesamanya. Bahan-bahan penghalang dari satu spesies dapat menghambat pertumbuhan spesies yang lain, atau tumbuhan yang lebih tua dari spesies yang sama dapat menghambat tumbuhan yang lebih muda. Para pesaing padang pasir yang efisien juga



Komunitas Hutan

Gambar 6.2

## Komunitas Hutan

mempunyai daya adaptasi untuk memperkecil kehilangan air melalui transpirasi, seperti tidak adanya daun yang lebar, kutikula yang tebal, stomata yang terbenam, dan jaringan penyimpan air yang tebal.

Hal yang kontras, hutan basah akan berisi komunitas yang padat, bersaing untuk mendapatkan cahaya (gambar 6.1). Pohon yang tumbuh sangat rapat membentuk seperti tenda di bagian atas karena itu dapat menerima sinar terbanyak. Seringkali spesies-spesies ini harus mendapat cahaya matahari penuh supaya dapat tumbuh dengan baik. Pohon spesies lain di bawahnya beradaptasi dengan baik untuk dapat tumbuh pada tempat yang teduh. Lebih jauh di bawahnya, pada dasar hutan, adalah paku, lumut, lumut kerak, tumbuhan bumbu dan tanaman kecil berkayu. Semuanya memakai energi sinar yang sangat sedikit dengan sangat efisien. Karena itu, individu dari komunitas dan spesies yang berinteraksi dan berkompetisi penuh dapat hidup dalam bentuk yang stabil selagi lingkungan terjamin konstan.

Apakah akibatnya dari pembangunan jalan beraspal melalui hutan yang seperti itu? Penggalian akan mengganggu perjalanan air (water tables) dan secara serius merubah keuntungan kompetisi yang telah dimiliki oleh spesies dominan. Gangguan dari lereng yang digali dengan hati-hati yang distabilkan oleh jalinan akar-akar bermacam spesies, dapat mengacu ke arah erosi tanah dan kelanjutannya penggundulan daerah yang luas. Pembukaan lapisan canopy yang stabil akan memberikan kepada anggota canopy yang

lebih rendah yang sebelumnya dalam keadaan merugi untuk mengatasi saingan mereka yang lebih tinggi. Gangguan lalu lintas ke dalam hutan dapat membunuh, atau sekurang-kurangnya merugikan secara serius spesies-spesies yang sensitif terhadap hidrokarbon yang tidak terbakar keluar bersama uap, atau terhadap tetraethyl yang cenderung ditambahkan kepada gasoline untuk menghindarkan mesin gemetar. Inilah alasannya kenapa banyak para pelindung alam, ahli kehutanan, dan ahli ekologi mengutuk kecenderungan peningkatan pembangunan jalan-jalan utama ke dalam daerah hutan yang belum dibuka. Pendapat mereka sering dilupakan oleh orang banyak "kamu tidak dapat memperoleh daerah yang luas dengan mudah tanpa merusak sifat dasar mereka".

Umumnya hewan, dan khususnya manusia, mempunyai pengaruh yang besar dalam penyebaran tumbuhan pada banyak negara di dunia. Terlalu banyaknya rumput dimakan oleh kambing-kambing yang dijinakkan menyebabkan gundulnya lereng-lereng bukit yang subur di banyak daerah pedalaman Laut Tengah, menyebabkan longsor/erosi, lereng-lereng bukit tidak produktif. Terlalu banyaknya rumput dimakan oleh rusa dan kelinci, dan terlalu banyaknya pemotongan atau pengkresetan pohon-pohon oleh berang-berang dan landak, juga telah mengakibatkan perubahan besar pada hutan-hutan sejati. Tetapi dibandingkan dengan semua hewan, manusia telah dan terus menjadi perusak lingkungan alam yang utama. Pembuangan limbah teknologi ke dalam sungai, selokan dan atmosfer, telah membunuh banyak spesies tumbuhan. Ini tidak hanya merubah populasi tumbuhan, tetapi juga dapat merubah secara serius populasi hewan liar, termasuk ikan, burung-burung, serangga-serangga dan mamalia yang berguna secara ekonomi. Pemakaian insektisida dan herbisida

secara besar-besaran juga telah menimbulkan efek sampingan yang merusak. Sementara itu penipisan populasi serangga liar bermanfaat terhadap manusia dalam beberapa hal, tetapi juga berbahaya jika mengakibatkan menurunnya persarian dan pembuahan, dan mengurangi persarian oleh burung. Hal yang sama, membunuh rumput liar berbiji belah pada ladang padi dengan 2,4 D adalah bermanfaat, tetapi jika kabut herbisida itu menembus ke hutan di sampingnya, membunuh pohon-pohon, itu merupakan pemakian yang efek sampingnya sangat merusak.

Di Amerika Serikat seperti kebanyakan daerah industri di dunia, kita terlambat sampai pada kenyataan bahwa tanah kita, air kita dan udara kita bukanlah sumber yang tidak habis-habisnya. Badai debu tahun 1930 di Great Plains, yang membawa sangat banyak lapisan atas tanah yang subur dalam bentuk awan hitam yang mencekik adalah kenyataan bahwa manusia itu tidak punya kemerdekaan. Badai debu sekarang sudah habis berkat praktek pertanian yang lebih bijaksana, tetapi erosi oleh air tetap musuh, dan sungai Missauri tetap berlumpur, berarti bahwa sebagian tanah lapisan atas menumpuk ke dalam sungai, menambah Delta Mississippi. Peningkatan pekerjaan pengolahan, termasuk membuat alur bajak, bidang penanaman, pergantian tanaman, dapat membantu supaya ladang/lahan tidak gundul. Pengontrolan aliran air buatan dengan bendungan, urung-urung, dan penghijauan kembali harus juga dibangun pada setiap sistim pertanian, direncanakan secara rasional.

Danau Tahoe terletak antara California dan Nevada, dahulu adalah satu tempat yang amat bagus di Amerika. Sayangnya kemajuan yang berlebihan sebagai daerah tempat beristirahat telah mengakibatkan berkurangnya daya tarik alamiahnya. Lebih jelek lagi



Gambar 6.3

Penanaman Kembali Hutan Dan Lahat YangTelah Rusk

perbuatan pembuangan limbah yang serampangan, banyak sekali menambah jumlah nitrogen, fosfor, dan elemen-elemen lainnya ke dalam air, menyebabkan terhambatnya pertumbuhan jenis-jenis ganggang dan organisme lainnya.

Untung saja bahaya ini disadari dan gerakan bersama dari masyarakat banyak dan negara bagian sekeliling danau masih dapat mengembalikan danau kepada keadaan sekarang. Hal yang sama yaitu keindahan Conecticut River telah menderita kerusakan oleh pembuangan sampah hasil industri dan limbah yang tidak terseleksi. Kerja sama dari beberapa negara bagian New England, disponsori oleh grup pelindung alam Departemen Dalam Negeri, berusaha memperbaiki keindahan sungai tersebut. Kesalahan-kesalahan yang jelas tetap diantisipasi. Karena itu usulan (rencana) untuk membangun pabrik tenaga atom pada sungai itu dipertimbangan dengan hati-hati, karena pemakaian air sungai tersebut untuk mendinginkan reaktor

dapat menaikkan temperatur air beberapa derajat dan keseluruhan ekologi sungai menjadi terganggu. Populasi ganggang berubah dan mengakibatkan perubahan populasi hewan termasuk ikan Connecticut River yang tersohor, yaitu ikan yang sudah ternama (tersohor) karena kualitas makanan yang lezat.

Kata "smog" baru-baru ini telah diperkenalkan untuk menyatakan kondisi atmosfer yang berbahaya. Ini disebabkan oleh atmosfer mengandung hasil sampingan berupa gas dan asap yang berlebihan. Sebagian berasal dari pabrik/industri-kilang minyak, peleburan bijih tambang, bahan kimia buatan, pabrik pembuatan semen. Sebagian lagi berasal dari aktifitas manusia, asap buangan kendaraan bermotor, sistim pemanasan di rumah-rumah, sisa-sisa pembakaran. Pada daerah-daerah dimana terjadi sedikit pertukaran angin, atau dimana kondisi secara geografi menyebabkan perubahan temperatur lapisan udara, pembuangan hasil sampingan yang tak normal ke atmosfer dicegah. Karena itu hasil sampingan dikumpul dan kadang-kadang diolah dengan cahaya matahari dan oksidasi. Sering kali hasil sampingan ini menyebabkan kegelisahan, dan kadang-kadang kematian manusia, hewan peliharaan dan tanaman. Terjadinya kerusakan pada tanaman tertentu adalah satu indikator yang sensitif dari peningkatan "smog" dapat dikontrol melalui usaha bersama termasuk mengontrol pabrik dan pembuangan mobil, larangan pembakaran pada udara terbuka, dan pembatasan jumlah penduduk. Smog yang mengerikan, yang secara periodik menutupi Los Angeles selalu merupakan masalah, setidaknya-tidaknya bagi orang di sekitarnya. Sebetulnya daerah itu tidak dapat dihuni oleh berjuta orang berkumpul di sana sesuai dengan cuaca yang diinginkan. Tetapi orang terus juga mengalir ke daerah yang lemah ini.

Secara umum terlihat jelas bahwa aktifitas manusia akan meningkatkan secara reguler jika bumi ini masih menyediakan tempat tinggal yang cocok bagi perusak semua (homo sapiens).

## **TANAMAN YANG BERGUNA BAGI MANUSIA**

Manusia zaman dahulu adalah nomaden (pengembara), memburu hewan dan mengumpulkan tumbuhan liar untuk makanan selama pengembaraannya. Untuk pembakaran mereka memakai kayu, untuk melindungi dirinya dari cuaca, ia memakai daun-daunan, jerami, ranting-ranting dan hasil tanaman lainnya. Melalui pengalaman secara random, mereka mengetahui bahwa beberapa tanaman liar tertentu mempunyai nilai kesehatan (obat-obatan) dan yang lain menghasilkan bau atau bahan pedas (bahan yang tak sonoroh) yang menarik padanya. Tanaman lain seperti karet, damar dan serat yang dapat diekstrak dan kemudian menjadi sangat berguna. Kita tidak tahu dengan pasti bagaimana atau kapan manusia mulai mengolah tanaman untuk kebutuhannya. Manusia pertama menyatakan (mendapatkan) bahwa biji-biji dapat dikumpulkan, ditumpuk dan disimpan secara massal untuk menjamin persediaan makanan yang stabil, penduduk yang tidak berpindah-pindah yang menimbulkan revolusi tidak kurang pentingnya dari pada yang menganjurkan pengontrolan pembakaran, pabrik industri yang memperkenalkan tenaga atom.

Pada akhir bab ini kita akan mengingat sejarah dan bentuk alamiah dari satu tanaman yang telah membentuk sejarah dan perkembangan manusia pada sebagian besar belahan dunia. Tanaman yang dimaksudkan ini adalah *Zea mays* (Jagung) yang dikenal sebagai Indian corn.

Jagung secara ilmiah dikenal dengan *Zea mays* L. (Linnaeus, 1753).

yang menemukan sistem pemberian nama dengan dua suku kata). Tumbuhan ini adalah famili rumput-rumputan (Gramineae). Jagung biasa dalam beberapa hal ia menyerupai rumput-rumputan. Jagung yang moderen adalah tinggi, tumbuhan tahunan, mempunyai banyak daun berbentuk pita, besar dan keras. Daun-daun itu berada pada ruas batang dan keluar/muncul secara bergantian dari sisi yang berlawanan. Sistem perakaran adalah akar serabut dan banyak cabang. Akar penunjang keluar dari ruas-ruas yang di bawah untuk penyokong tanaman. Tanaman ini menghasilkan biji yang bentuknya mirip dengan gandum, gandum hitam, gandum bir dan padi; tetapi ia berbeda dari yang lainnya dimana biji-bijinya berkumpul pada satu organ yang kompleks disebut tongkol. (Gambar 6.4, 6.5).



Gambar 6.4

Jagung yang Mula Dikenal



Gambar 6.5

Tongkol jagung

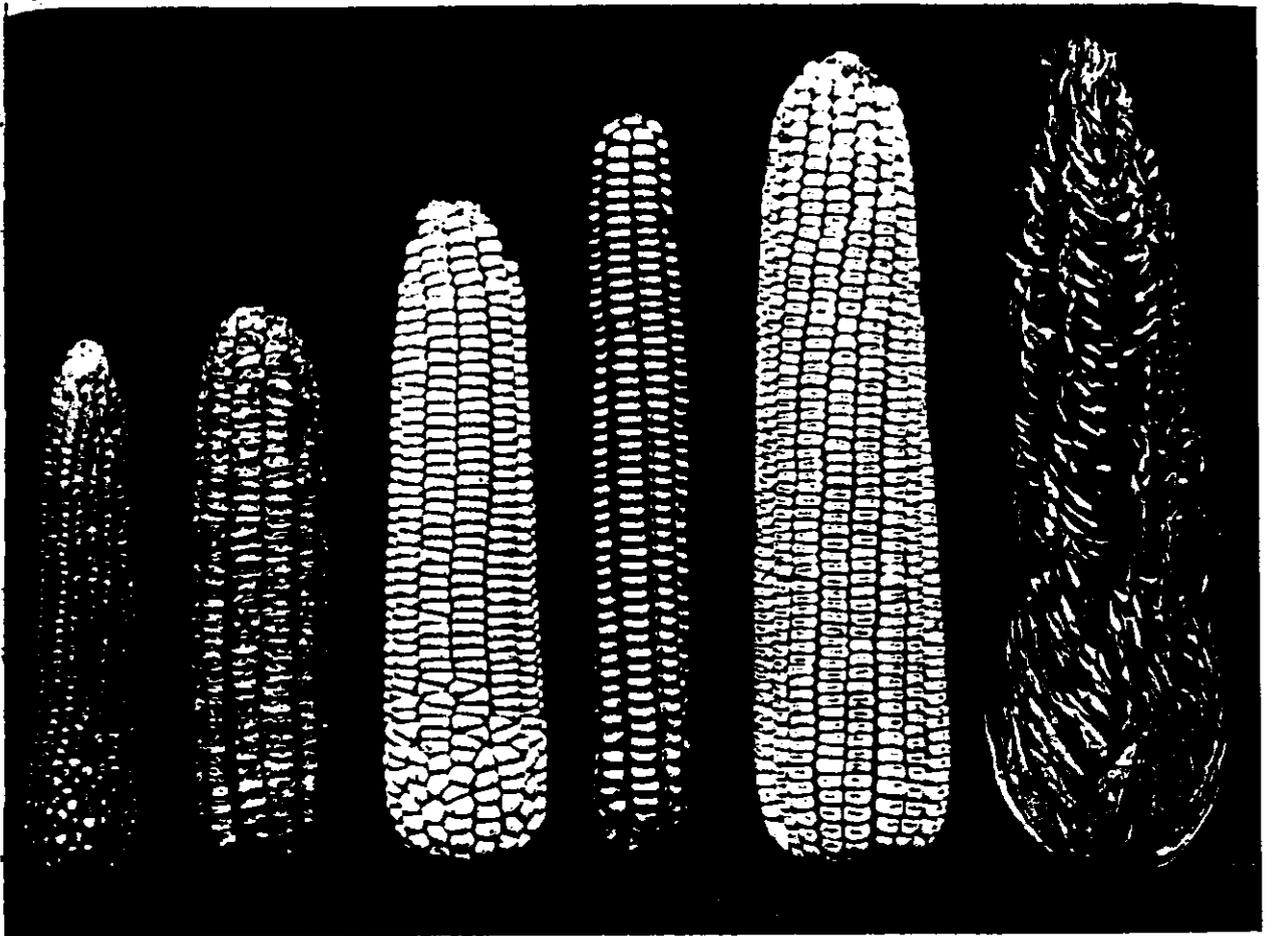
Kebun moyang tanaman jagung, sekarang tidak diketahui dengan pasti. Yang jelas adalah bahwa tanaman jagung yang moderen itu tidak akan bertahan tanpa campur tangan manusia secara konstan; ia semata-mata tanaman pertanian. Dalam penelitian nenek moyangnya, kita harus membayangkan suatu tanaman yang lebih menyerupai rumput, darimana jagung telah ditingkatkan dengan persilangan dan seleksi. Kita berasumsi bahwa tanaman asal itu berasal dari Indian Amerika Utara dan Selatan jauh sebelum arus orang Eropah tinggal di Amerika sesudah 1492. Masih banyak orang percaya bahwa jagung berasal dari Semenanjung Malaysia dan dibawa melalui lautan Pacific oleh bangsa Asia yang pertama berlayar dengan rakit, suatu perjalanan yang berbahaya. Dahulu teori ini tidak dapat dikesampingkan, ia tidak disetujui oleh ahli biologi moderen. Tanaman yang terpopuler sebagai asal mula jagung adalah rumput Mexico, yang biasanya disebut Teosinte (*Euchlena*); kemungkinan yang lain adalah yang berdekatan genuenya, *Tripsacum*. Dengan memakai teknik pendataan menggunakan karbon radioaktif, biji jagung telah dikenal di Amerika Selatan 1000 tahun sebelum masehi dan telah diketemukan di Amerika tenggara 2000 tahun sebelum masehi. Serbuk sari jagung telah ditemukan pada bagian dalam tanah yang bergerak dari bawah kota Mexico yang sekarang. Ketika orang Eropah pertama kali datang ke benua Amerika, orang Indian telah menanam jagung sebagai makanan pokok mereka. Mereka menanam biji-biji tersebut di sebuah bukit dimana lobang-lobang dibuat dengan sebuah tongkat, dan ke dalamnya dimasukkan seekor atau sebagian tubuh ikan. Sekarang kita tahu bahwa ikan yang dirombak adalah sumber nitrogen yang sangat baik dan elemennya, tetapi satu hal yang menarik untuk diketahui adalah

alasan bagi orang Indian untuk mengikut sertakan ikan di bukit tersebut adalah untuk urat jagung. Penggarapan tanah biasanya dilakukan dengan alat seperti cangkul yang dibuat dari tulang, biasanya bilah tulang bahu bison yang banyak waktu itu. Orang Indian telah tahu kegunaan membatasi pertumbuhan rumput liar dengan memakai cangkul yang sederhana.

Ketika memanen, jagung yang segar di masak sebagai jagung panggang atau sebagai campuran kacang. Biasanya butir jagung dipisahkan dari tongkolnya dan ditumpuk pada pusat penyimpanan yang diambil bila diperlukan. Bila telah dipisahkan dari tongkol, biji itu ditumbuk menjadi tepung jagung yang kasar, atau digiling pada sebuah alat menjadi tepung jagung yang lebih baik. Tepung jagung itu kemudian dibuat menjadi bubur, tortillas, dan makanan lainnya yang masih digemari sekarang. Tepung jagung juga dipakai untuk roti bakar, tetapi karena zat perekat jagung itu sedikit, roti itu tidak berguapal dengan baik. Karena itu roti jagung yang mudah hancur itu tak pernah menjadi kehekan orang Eropah.

Penduduk Orang Eropah dengan segera menciptakan jagung yang berkualitas superior untuk tujuan persediaan makanan dan cepat-cepat meningkat jenis tertentu yang cocok dengan tujuan tersebut. Jagung lainnya, mempunyai kadar gula lebih tinggi (jagung manis) disesuaikan untuk langsung digunakan oleh manusia, biasanya pada saat belum masak atau saat biji berupa susu. Jenis jagung modern lainnya yang diteruskan oleh orang Indian kepada kita termasuk jagung berondong/meletus, keras, biji yang tak dapat dimakan, meletus bila dipanaskan; tepung jagung, bijinya mempunyai tepung pati yang lembut dan karena itu dapat digiling dengan gilingan tangan; jagung peot (dent corns), biji-bijinya campuran dari

tepung pati yang keras dan lembut dan jenis yang mempunyai perekat yang tinggi; dan yang terakhir jagung keras (flint corn) yang mempunyai butir pati yang sangat keras (gambar 6.6).



Gambar 6.6

#### Berbagai Tipe Jagung

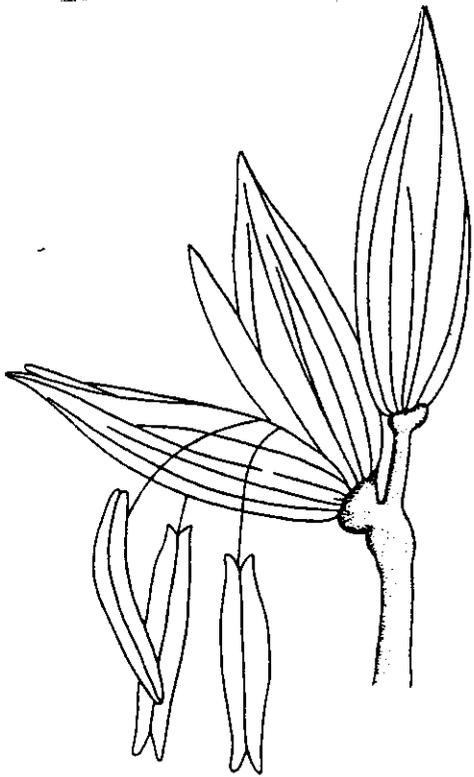
Semuanya ini dikembangkan melalui seleksi dari "pod-corn" (jagung polong), yaitu tiap butirnya dikelilingi oleh sekamnya. Tongkol "pod-corn" ini telah ditemukan pada beberapa tempat yang terdohur-lu secara archeology dari Amerika. Bagaimana ia dikembangkan dari nenek moyangnya *Zea mays* hanya dapat dengan perkiraan.

Sekarang kira-kira seperempat dari tanah pertanian di Amerika

Serikat disediakan untuk jagung. Hasil di Amerika Serikat terlihat lebih dari separoh hasil total dunia setahun yaitu kira-kira seperempat milyar ton. Melalui pelaksanaan teknik persilangan yang cerdas dan jelimet, jenis-jenis jagung telah ditingkatkan, yang mana bila dipupuk dengan tepat menghasilkan lebih dari 200 gantang tiap are (0,4646 ha). Hasil rata-rata jauh lebih sedikit yaitu 30 gantang tiap are. Jagung harus ditanam pada tanah yang hampir semuanya datar, karena ia cenderung menghabiskan tanah secara drastis dan menyebabkan pengikisan tanah bagian atas (top soil). Karena itu kalau ditanam di daerah perbukitan harus dilakukan dengan hati-hati. Dari biji jagung yang dipanen pada beberapa daerah di Amerika Serikat bermacam hasil diperoleh, termasuk minyak jagung, tepung jagung, sirup jagung, gula jagung (glucose), dextrins (dekstrose), minuman keras dengan fermentasi. Bagian vegetatif tanaman untuk makanan hewan dalam bentuk makanan yang disimpan (silage) atau telah digiling. Batang jagung juga diproses menjadi papan dinding dan kertas; rambut jagung dipakai sebagai bahan pengisi dalam berbagai hal. Tongkol jagung dipakai sebagai bahan bakar, sebagai bahan mentah untuk pembakaran, dan untuk menghasilkan pipa tongkol jagung. Semuanya ini telah ditingkatkan oleh tangan manusia dari tanaman liar seperti rumputan dan biji-biji yang berkelompok kecil.

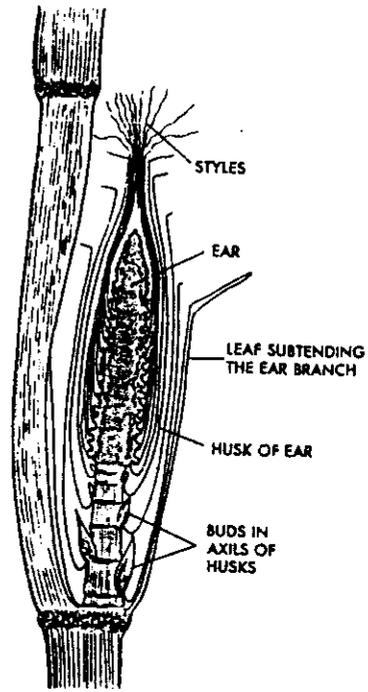
Jagung adalah tanaman berumah satu, dengan demikian bunganya adalah berkelamin satu (unisexual), tetapi kedua jenis kelamin ditemukan pada satu tanaman. Bunga jantan atau stamen, bunganya berkumpul pada satu malai di ujung batang. Pada malai tersebut bunga jantan berpasangan membentuk kelompok disebut spikelet. Tiap bunga jantan berisi tiga benang sari dan setiap kotak berisi

berbentuk serbuk sari. Bila sudah masak, serbuk sari yang berdiameter kira-kira 0,1 mm, dibawa oleh angin ke perhiasan kepala putik. Rerjuta-juta serbuk sari dapat dihasilkan oleh sebuah malai (gambar 6.7). Bunga betina tersusun dalam deretan memanjang di ketiak beberapa daun pada bagian tengah-tengah batang. Kelompok bunga betina ini disebut spike, dan pada bagian



Gambar 6.7

Bunga jantan



Gambar 6.8

Bunga betina

sumbu spike ini membentuk tongkol. Karena sifat bunga betina berpasangan, tongkol jagung selalu mempunyai jumlah barisan biji yang genap, dari delapan sampai lebih dari 30.

Spike ditutup oleh daun yang mengalami modifikasi menjadi pembungkus tongkol buah yang masak. tiap bunga betina mempunyai sebuah putik (ovari) mengandung sel telur betina. Sel telur ini terbungkus oleh bongkolan kepala putik yang panjang, dan kepala putik seperti biji. Tangkai kepala putik dan kepala putik dikenal dengan

stimulus, berkecambah, dan membentuk saluran serbuk sari sepanjang tangkai kepala putik terus ke indra feel: hanya di sana pembuahan terjadi. Tiap rambut hanya satu serbuk sari yang melakukan pembuahan. Walaupun banyak serbuk sari yang dapat berkecambah pada setiap rambut, jumlah semesta biji tiap tangkai putik hampir melebihi jumlah rambut (gambar 6.8).

Setelah pembuahan, bagian dalam turkuban berbuah sedikit-demi sedikit rupa sehingga terjadi aliran makanan secara berkesinambungan kepada buah yang sedang tumbuh. Setelah buah masak dan siap, sisa tanaman menjadi senescence (mengerip) dan dengan sendirinya. Senescence setidaknya-tidaknya sebagian akibat dari pematangan buah, dan dapat dibunda dengan menghalangi per-tangkai buah.

Jagung yang modern adalah hybrid, yaitu keturunan yang berasal beraneka tanaman inbred yang telah dimiliki oleh para petani. Setelah lama tahu bahwa inbreeding yang berurutan-mulai dari generasi ke-generasi dan produksi kebanyakan tanaman pertanian, hewan, dan ikan. Tetapi jika inbred yang baik disilang, akan muncul sifat yang luar biasa yang dikenal hybrid vigor (hasil persilangan yang baik). Turunan ini lebih besar, lebih kuat, dan lebih produktif dari pada orang tua mereka, karena lebih disukai untuk keperluan gen-gen tertentu di dalam sel tunggal. Pada inbreed hybrid yang modern, empat turunan yang berbeda terlebih dahulu dipadukan menjadi dua-dua, hasil terakhir memerlukan hybridisasi dua hybrid. Hasil terakhir jagung "double cross" (persilangan empat) dari keturunan tersebut tidak merupakan keturunan yang seperti "induknya" tetapi menjadi jenis yang lebih baik. Karena itu jagung yang baru tersebut, yang dihasilkan oleh ahli pertanian, memerlukan biaya yang khusus, harus dibeli setiap tahun oleh petani. Walaupun

menambah biaya, petani telah menyadari untuk mengikuti aturan ini karena ia memberikan peningkatan hasil yang baik.

Karena itu, tanaman jagung yang moderen, yang dipakai di sini sebagai satu contoh yang umum, merupakan kreasi manusia dengan berbagai cara. Sifat hereditasnya, pertumbuhannya, dan kontinuitas keberadaanya tergantung pada manusia. Sebagaimana halnya pada kebanyakan tumbuhan, ia telah memberikan respons yang baik terhadap usaha manusia untuk meningkatkannya. Dari kenyataan kemampuan yang telah dicapai, masa mendatangnya mungkin lebih menggagumkan. Semuanya akan tergantung pada kontinuitas ketekunan manusia mempelajari tanaman dan kawan-kawannya yang menakjubkan, yaitu "Tanaman hijau".

## RINGKASAN

Manusia dalam hal makanan dan hasil lainnya tergantung pada tanaman yang telah ia kembangkan/biakkan, dan tanaman tersebut tidak dapat hidup liar (di hutan belantara) bila dibiarkan dengan usahanya sendiri (begitu saja). Untuk menjamin kehidupan yang optimal dari tanaman tersebut, manusia harus mengerti hukum dasar ekologi, salah satu cabang biologi yang <sup>membicarakan</sup> dibicarakan interaksi antar makhluk-makhluk dengan lingkungannya.

Tanaman berada dalam komunitas, ada yang stabil dan ada yang berubah. Komunitas yang stabil hidup dalam keseimbangan dengan lingkungannya, perubahan dalam lingkungan menyebabkan perubahan populasi tanaman. Ini benar, sebab tanaman berkompetisi sesamanya untuk memperoleh air, makanan, cahaya, dan tempat serta daerah yang lebih baik yang diperoleh/dinikmati oleh suatu spesies sangat sedikit. Aktifitas manusia sering merusak keseimbangan alam, dan sangat merubah populasi tanaman atau menyebabkan lahan betul-betul gundul seperti padang pasir. Manusia dengan perbuatannya yang sangat beraneka ragam dan aktifitas kimiawi yang sangat banyak menyebabkan perubahan yang besar-besaran pada lingkungan, khususnya pada tanah pertanian bagian atas (top soil), air danau, air sungai, air kali dan atmosfer. Polusi atau perusakan biosfir sangat merubah hidup manusia, atau akhirnya membuat ia tak bisa hidup lagi.

Jagung adalah salah satu tanaman makanan yang sangat penting di dunia, barangkali telah dikembangkan dari rumput liar Mexico jauh sebelum orang Eropah datang. Tanaman yang sekarang (tanaman yang modern) adalah hasil program seleksi, persilangan dan penerapan ilmu penyakit dan fisiologi, yang lama. Walaupun tanaman telah

yang serobah oleh penemuan manusia, peradaban yang akan datang mungkin sejauh itu pula. Semuanya itu bergantung kemahiran manusia dan mengaplikasikan pengetahuan tentang tanaman secara berkesinambungan.