

AIR

- ▣ Tumbuhan pada umumnya secara periodik menghadapi stress air. Tumbuhan dapat menghadapi kondisi yang berbeda akibat cuaca dan diurnal.
- ▣

POTENSIAL AIR

- ▣ Istilah yang digunakan adalah istilah termodinamika. Semua materi cenderung bergerak dari tempat dengan energi bebas tinggi (kapasitas untuk melakukan kerja) ke tempat dengan energi bebas lebih rendah. Potensial air merupakan suatu ukuran energi bebas air dibandingkan dengan energi bebas air murni.

- ▣ Nilai potensial air dari air murni = 0 mpa (megapascal); adalah unit tekanan secara langsung terikat dengan energi bebas per unit massa. $0,1 \text{ mpa} = 0,987 \text{ atm} = 106 \text{hg/g}$. Energi kimia air dalam biosfer lebih rendah daripada 'air murni' sehingga nilainya negatif. Sebenarnya potensial air dipengaruhi tiga komposisi : (m = potensial matrik; merupakan ukuran yang menunjukkan reduksi energi bebas akibat data tarik permukaan benda padat terhadap molekul air.

- ▣ Potensial matrik ditentukan oleh makromolekul, partikel tanah, dinding sel atau permukaan benda lain yang menarik (adhesi), dan tidak membentuk larutan. Gaya tarik tersebut mengurangi energi bebas sehingga negatif. (= Potensial osmotik; reduksi energi bebas akibat gaya tarik elektrik, reorientasi, dan peningkatan entropi akibat materi terlarut dalam larutan. (P = Potensial tekanan; ditentukan oleh tekanan hidrostatika positif atau negatif dalam sistem.

- ▣ Di dalam sel hidup ($P =$ positif; tetapi pada xylem pada saat transportasi bersifat negatif. Potensial pada sel selalu bernilai negatif; kecuali apabila sel dalam keadaan “turgid sempurna”. Sejumlah besar energi terlibat dalam perubahan status air. Sebagai contoh, perlu energi selama proses evapoasi dan transpirasi yang menyebabkan pendinginan permukaan daun.

TRANSPIRASI

- ▣ Agar air bergerak dari tanah ke akar, ke daun kemudian menguap ke udara maka (tanah > (akar > (batang > (udara. Air masuk ke dalam tumbuhan melalui bulu/rambut akar. Masuknya air bukan hanya karena permeabilitas suatu bulu akar lebih tinggi; tetapi juga kerana luasnya permukaan bulu/rambut akar dalam absorpsi. Akar yang sudah/lebih tua, rambut-rambut akarnya lebih sedikit dan mengalami suberisasi sehingga kurang permeabel.

- ▣ Dari rambut-rambut akar, air melewati dinding sel diantara sel-sel akar menuju endodermis. Pada endodermis, air dan materi terlarut harus melewati membran sel karena adanya pita kaspari yang impermiabel. Dari endodermis air masuk ke dalam xylem, ke akar, batang kemudian ke xylem daun, air dahulu bergerak melalui dinding sel antara sel-sel mesofil ke rongga substomata dan menguap ke udara. Hilang/menguapnya air mendorong pergerakan air karena gradien (tanah = 0,1 mpa > (batang = -1 mpa > daun = -1,5 mpa > (udara = -100 mpa

SOIL MOISTURE

- ▣ $(\text{soil} = (m + (P + ((+ (g(g = \text{potensial gravitasi, pada tanah yang sudah jenuh.}$
- ▣ Kapasitas lapang, yaitu banyaknya air yang terdapat (tertahan) pada tanah setelah air gravitasi tidak ada. Kapasitas lapang tanah tertentu adalah tetap tergantung tekstur, struktur, dan kandungan organik tanah.

- ▣ Air tersedia, yaitu air yang dapat digunakan tumbuhan pada kapasitas lapang, sifatnya tergantung jenis, kondisi fisiologis dan lingkungan. Batas terendah “air tersedia” disebut titik layuh permanen. Titik layuh permanen tercapai jika (tanah setara atau di bawah potensial osmotik tumbuhan sehingga air tidak bisa masuk ke tumbuhan. Jumlah/banyaknya air antara kapasitas lapang dan titik layuh permanen disebut air kapiler atau air tersedia, karena air tersebut tetap bertahan melawan tarikan gravitasi oleh aksi kapiler dan tenaga matriks.

- ▣ Tumbuhan dapat memanfaatkan air kapiler tetapi tidak dapat menyerap seluruh air dari tanah, titik layuh permanen tanah mesofit mendekati $-1,5$ mpa. Hubungan antara kapasitas lapang (FC), kandungan air tanah dan tanah tergantung tekstur tanah. Tanah lempung (Clay) memegang air volume besar pada (rendah daripada tekstur tanah kasar. Hal ini karena total rongga udara yang lebih besar dan ruang kokoh antara air dan partikel lebih besar pada tanah dengan tekstur halus.

- ▣ Fotosintesis menurun dengan terjadinya stress air pada suatu tumbuhan, akibat menutupnya stomata, atau efek lain stress air terhadap reaksi-reaksi fotosintesis. Jika stress air cukup berat, maka fotosintesis, respirasi, sintesis protein, dan proses lain yang melibatkan reaksi kimia akan menurun karena protein (enzim) mengalami denaturasi.

- ▣ Proses-proses fisiologis akan terus menurun dengan meningkatnya kadar stress sampai semua turgor menghilang atau berhenti. Pada kondisi stress tingkat sedang, maka proses-proses biokomia masih terjadi, tetapi pertumbuhan menurun karena turgor pada saat pembentangan sel stress air juga menyebabkan viskositas cairan floem meningkat, sehingga transfer massa pada xylem menurun, membatasi transfer nutrien, fotosintat dan hormon.

Adaptasi khusus

- ▣ Glikofit mencegah garam masuk ke akar; pada umumnya glikofit demikian. Kadar garam yang tinggi dapat membalikkan gradien energi kimia, menyebabkan jaringan tumbuhan mengalami dehidrasi. Pada tanaman *Raphanus sativus* dengan diberi larutan bergaram tertentu dalam waktu pendek, keadaan osmotik masih dapat dikendalikan, akan tetapi dalam jangka panjang merusak proses-proses yang berkaitan dengan pengangkutan pada akar. Intoleransi pada glikofit berkaitan dengan toksisitas atau ketidakseimbangan unsur hara.

- ▣ Untuk menjaga gradien energi kimia yang diperlukan dalam penyerapan air maka konsentrasi osmotik halofit lebih tinggi daripada glikofit. Meskipun daya toleransi terhadap garam lebih tinggi daripada glikofit, namun ada batas toleransinya.

PENGATURAN GARAM

- ▣ **Pertama**, jenis-jenis halofit yang membatasi laju penguapan garam dengan menaikkan akumulasi air. Misalnya *Atriplex triangularis* mengakumulasi garam sesuai dengan proporsi kadar garam dalam tanah. Penguapan garam dibatasi pada membran akar jenis tumbuhan mangrof. Potensial osmotik diatur dengan menaikkan metabolit organik untuk menjaga gradien energi bebas yang diperlukan dengan penyerapan air. Beragan senyawa N (asam amino) dan mineral, KH, dan asam organik diakumulasi pada halifit, misal pada *Mesembryanthernum crystallinum*.

- ▣ **Kedua,** pengenceran garam dengan membentuk sukulensi merupakan akumulasi air pada jaringan sehingga konsentrasi bahan terlarut menurun. Pertumbuhan yang cepat juga dapat memberi efek pengenceran karena garam didistribusi ke jaringan baru.

- ▣ **Ketiga**, pengeluaran garam. Beberapa jenis misalnya *Atriplex*, memiliki kelenjar garam, mengeluarkan garam ke permukaan daun. Rambut-rambut vesikuler atau cara lain dengan menggugurkan organ yang kadar garamnya telah tinggi.
- ▣ Ada tumbuhan yang mengkombinasikan cara-cara di atas dalam mengatasi masalah garam.

STRESS AIR

- ▣ Air, temperature dan nitrogen merupakan factor lingkungan yang pada umumnya membatasi pertumbuhan. Dimanapun tempatnya temperature dan suplai mineral sangat tergantung suplai air. Daerah dengan curah hujan tinggi dan merata memungkinkan beragam tumbuhan bisa tumbuh seperti terjadi pada hutan hujan tropis. Daerah dengan curah hujan rendah, daerah kering, cenderung tumbuh rerumputan,

- ▣ Korelasi antara suplai air dengan distribusi tumbuhan dan pertumbuhan terjadi karena stress air mempengaruhi proses-proses fisiologis yang berperan dalam pertumbuhan. Akibatnya kompetensi yang berhasil dalam mendapatkan air, menentukan keberhasilan tumbuhan hidup pada iklim kering atau basah.

Signifikansi stress air

- ▣ Slatyer (1967) ; membuat skema hipotetik yang menunjukkan hubungan antara (tanah, (akar, dan (daun pada kondisi air tanah kurang dari kapasitas lapang sampai di bawah titik layak permanen. Signifikansi diurnal (nampak terlihat bahkan (soil mendekati kapasitas lapang. Karena diurnal lebih besar pada saat tanah lebih kering, untuk memelihara adanya penguapan air yang memadai, dimana saat (dari konduktivitas hidrofil menurun menutupnya stoma sebagai respon terhadap kondisi gelap, (tanah secara bertahap akan seimbang kembali, (tanah = (daun.

- ▣ Fotosintesis menurun dengan terjadinya stress air pada suatu tumbuhan, akibat menutupnya stomata, atau efek lain stress air terhadap reaksi-reaksi fotosintesis. Jika stress air cukup berat, maka fotosintesis, respirasi, sintesis protein, dan proses lain yang melibatkan reaksi kimia akan menurun karena protein (enzim) mengalami denaturasi.

- ▣ Proses-proses fisiologis akan terus menurun dengan meningkatnya kadar stress sampai semua turgor menghilang atau berhenti. Pada kondisi stress tingkat sedang, maka proses-proses biokomia masih terjadi, tetapi pertumbuhan menurun karena turgor pada saat pembentangan sel stress air juga menyebabkan viskositas cairan floem meningkat, sehingga transfer massa pada xylem menurun, membatasi transfer nutrien, fotosintat dan hormon.

period they ...
enabling them to flower and develop fruits within a very short sp

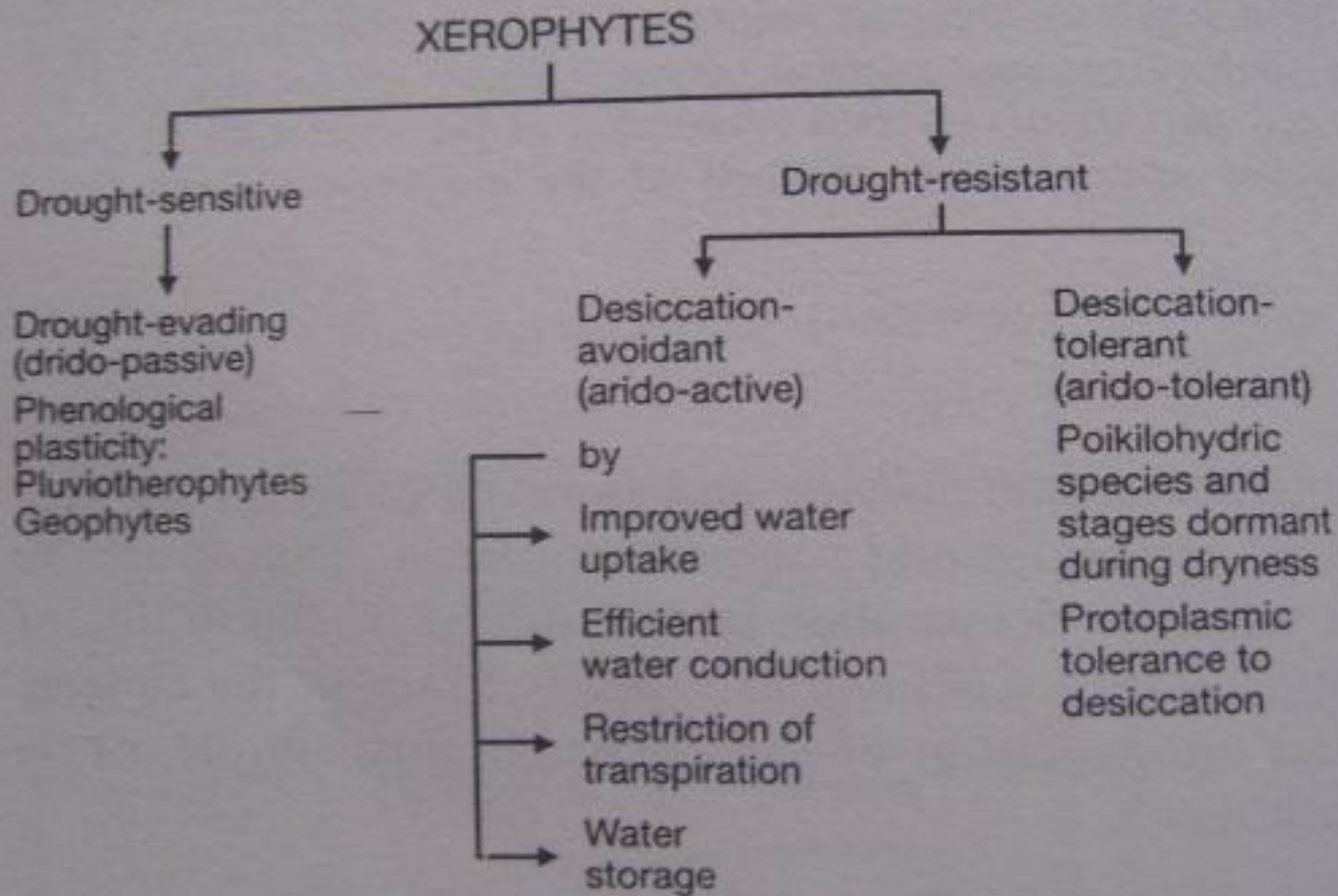


Fig. 6.63. Survival mechanisms of plants in dry regions. (After Shantz 1921, 1975; Turner 1979; Ludlow 1989)

2008/02/07 08:33

FREKUNSI KEKERINGAN

- ▣ Kekeringan sulit didefinisikan secara objektif, tetapi pada buku ini dianggap sebagai fenomena meteorologist yaitu periode tanpa hujan yang cukup sehingga tumbuhan mengalami defisiensi air pada pertumbuhan terhambat.

Mengapa stress

- ▣ Stress air terjadi jika air yang hilang melebihi air yang diserap sehingga kandungan air berkurang dan menyebabkan berkurangnya pembentangan sel dan mengganggu proses-proses fisiologis. Selain kekeringan, tanah dingin dan salinitas yang tinggi juga dapat mengurangi absorbs air dan menyebabkan stress air



- ▣ Pada tanah lembab, penyerapan air dikendalikan oleh laju transpirasi; akan tetapi pada tanah kering, penyerapan secara bertahap menurun karena perbedaan potensial air antar tanah, akar, dan resistensi yang meningkat terhadap pergerakan air melalui tanah kering.

- ▣ Pada tengah hari sering terjadi deficit air temporal, yang dapat menyebabkan layuh, stoma menutup, fotosintesis menurun, batang dan buah mengkerut yang bersifat sementara, selanjutnya akan pulih setelah lewat tengah hari.

- ▣ Beberapa efek stress air yang umum yaitu : berkurangnya kandungan air dan turgor sel jaringan tumbuhan; berkurangnya status energy bebas atau potensial air dalam sel. Pengurangan turgor menurunkan pembentangan sel dan pertumbuhan. Sementara penurunan potensial air mempengaruhi pergerakan air dari tanah ke akar dan dari akar ke daerah yang sedang tumbuh.

- ▣ Secara umum, pembentangan sel dan pertumbuhan sel sangat peka terhadap deficit air, karena turgor diperlukan dalam ekspansi sel. Meskipun pertumbuhan sel dipengaruhi juga ekspansi dinding sel dan suplai zat terlarut yang dibutuhkan untuk menjadi turgor

- ▣ Masalah lain yang terkait dengan potensial air adalah beragam enzim yang terlibat dalam fotosintesis, respirasi, metabolisme karbohidrat, dan nitrogen. Akumulasi prolin pada jaringan yang mengalami stress air karena sintesis prolin dan glutamate meningkat dengan berkurangnya *feedback inhibition* dan laju oksidasi dan incorporation ke jaringan baru berkurang. Aktifitas amylase meningkat pada daun yang mengalami stress air menyebabkan berkurangnya kandungan tepung pada tumbuhan.

Pertumbuhan

- Pertumbuhan biasanya menyebabkan penambahan ukuran yang permanen sebagai hasil pembelahan sel yang diikuti pembentangan dan diferensiasi sel. Ada bukti bahwa ukuran sel mempengaruhi pembelahan sel karena sel-sel baru membelah setelah mencapai ukuran tertentu. Tingkatan turgor diperlukan dalam pembentangan dan pertumbuhan sel, stress air menghambat pembentangan dan pertumbuhan sel.



- ▣ Pertumbuhan daun dipengaruhi juga turgor pada akar. Hal ini benar jika akar-akar pada kondisi kering ataupun tergenang sehingga mempengaruhi suplai hormone dari akar ke tajuk.

Salinitas

- ▣ Kadar garam yang tinggi menyebabkan tumbuhan mengalami stress garam. Stress garam menyebabkan tumbuhan juga mengalami stress air. Secara umum stress garam menghambat pertumbuhan dikarenakan tiga factor utama yaitu, stress air, stress ion spesifik, dan stress keseimbangan ion atau defisiensi hara (Jones, 1981; Alarcon *et al*, 1994).



Efek Salinitas

- ▣ Pertumbuhan tanaman banyak terhambat akibat kadar garam yang tinggi. Hambatan ini terjadi karena potensial air tanah lebih rendah daripada tingkat yang memungkinkan tumbuhan menyerap air atau biasanya garam yang diserap bersifat toksik. Hal ini menjadi masalah utama pada tanah irigasi dimana akumulasi garam terjadi (Tomlinson, 1986).



- ▣ Garam terlarut memiliki dua pengaruh penting terhadap pertumbuhan tanaman. Pengaruh spesifik berkaitan dengan ion-ion tertentu yang mengganggu tanaman. Pengaruh umum berkaitan dengan peningkatan tekanan osmotik di sekitar akar tanaman. Efek spesifik dikelompokkan menjadi dua yaitu aktivitas garam pada konsentrasi tinggi dan konsentrasi rendah. Ada dua jenis garam yang penting pada konsentrasi rendah yaitu sodium karbonat dan borat terlarut. Pengaruh sodium karbonat berkaitan dengan garam itu sendiri dan PH yang tinggi sebagai akibat garam tersebut.

▣ Banyak unsur hara menjadi tidak tersedia pada pH tinggi seperti fosfat, besi, seng dan mangan. Garam tersebut juga menyebabkan permeabilitas air menjadi rendah dan aerasi yang buruk. Kadar garam tinggi mengganggu tanaman dalam penyerapan hara (Russel, 1973).

▣

- ▣ Menurut Salisbury dan Ross (1992) , tumbuhan yang hidup pada salinitas tinggi menghadapi dua masalah penting, yaitu dalam memperoleh air dari tanah yang potensial airnya lebih negative dan mengatasi kosentrasi yang tinggi dari ion natrium, karbonat, klorida, yang mungkin bersifat toksik.

- ▣

▣ Menurut Black (1973), tumbuhan yang ditanam pada tanah bergram cenderung berukuran kecil, tetapi biasanya tanpa gejala khusus pada daun. Dalam beberapa kasus tumbuhan yang ditanam pada kadar garam tinggi daun berwarna lebih gelap hijau-kebiruan daripada yang tanpa garam. Warna tersebut akibat kandungan klorofil yang tinggi dan kutikula yang tebal. Kadang-kadang nampak gejala pencoklatan pada bagian ujung daun, keriting daun dan klorosis (penguningan).

▣

- ▣ Pengaruh garam terlarut bersifat fisik, kemis dan osmotic atau spesifik tergantung jenis ion. Konsentrasi substansi osmotic aktif pada protoplas harus melebihi air yang tersedia untuk menjaga turgor. Pertumbuhan glikofit pada umumnya menunjukkan berkurangnya pertumbuhan apabila potensial air larutan tanah berkurang 1-2 bar.

- ▣ Tumbuhan pangan yang toleran terhadap garam akan gagal panen jika potensial airnya mencapai -47 bar. Untuk mengimbangi salinitas tumbuhan halofit dapat menurunkan potensial airnya mencapai dibawah - 47 bar.

- ▣ Beberapa halofit mensekresikan garam berlebih melalui kelenjar khusus. Membentuk lapisan garam pada daun yang mengalami gutasi atau sekresi langsung melalui kutikula terjadi pada genera *Tamarix* dan *Armeria* (Daubenmire, 1974).

- ▣

- ▣ Larutan garam menahan air sehingga semakin pekat larutan garam maka air semakin sulit diserap. Tumbuhan baru dapat menyerap air apabila potensial osmotiknya lebih rendah daripada tanah (Larcher, 1991).

Mekanisme toleransi

- ▣ Banyak cara tumbuhan mengatur garam antara lain filtrasi garam, pencegahan transport garam, eliminasi dan sukulensi .Filtrasi garam dilakukan dengan ultrafiltrasi larutan garam pada plasmalema sel-sel parenkim akar sehingga salinitas berkurang, misanya terjadi pada *Rhizophora*.

- ▣ Regulasi garam juga dapat terjadi dengan mencegah transport garam ke daun. Ion Na^+ yang diserap akar tetap bertahan di akar atau cabang, terjadi pada pada *Prosopis farcta* (Mimosaceae) dan beberapa tanaman pangan khususnya Fabales

- ▣ Pengaruh garam juga dapat diatasi dengan mengeluarkan dan rekresi pada permukaan batang atau mengakumulasinya pada bagian lain tumbuhan. Kelenjar garam merekresi garam secara aktif sehingga mengatur kadar garam, missal pada *Tamarix*, *Avicenia*, *Glaix maritime* dan *Plulmbaginaceae*

- ▣ Sukulensi merupakan proses fisiologis yang menyebabkan sel-sel membesar, ditemukan pada *Loguncularia*, *Salicornia*, dan *Chenopodiaceae* (Larcher, 1991). Peningkatan sukulensi menguntungkan karena kandungan air yang banyak mengencerkan konsentrasi ion-ion dalam sel (Omer dan Schlesinger, 1980b).

- ▣ Aspek lain adaptasi tumbuhan adalah *kompartmentasi sitoplasma* karena sitosol bersifat tidak resisten terhadap garam. Pada sel-sel yang terlibat dalam transport garam, retikulum endoplasma kasar memiliki proporsi tinggi, yang diduga memungkinkan terjadinya kompartmentasi.

- ▣ Substansi dapat diangkut secara simplas melalui desmotubul, tanpa melalui sitosol, sisternae retekulum endoplasma lalu berfusi dengan tonoplas, melepaskan isinya ke vakuola. Hal ini dapat dilihat dengan adanya perkembangan vakuola yang besar pada sel-sel vakuola epidermis *Mesembryanthemum crystallinum* (Luttge dan Smith, 1984).

- ▣ ***SIGNIFIKANSI STRESS AIR PADA TUMBUHAN***
- ▣ Slatyer (1967) ; membuat skema hipotetik yang menunjukkan hubungan antara (tanah, (akar, dan (daun pada kondisi air tanah kurang dari kapasitas lapang sampai di bawah titik layak permanen. Signifikansi diurnal (nampak terlihat bahkan (soil mendekati kapasitas lapang. Karena diurnal lebih besar pada saat tanah lebih kering, untuk memelihara adanya penguapan air yang memadai, dimana saat (dari konduktivitas hidrofil menurun menutupnya stoma sebagai respon terhadap kondisi gelap, (tanah secara bertahap akan seimbang kembali, (tanah = (daun. Fotosintesis menurun dengan

- ▣ terjadinya stress air pada suatu tumbuhan, akibat menutupnya stomata, atau efek lain stress air terhadap reaksi-reaksi fotosintesis. Jika stress air cukup berat, maka fotosintesis, respirasi, sintesis protein, dan proses lain yang melibatkan reaksi kimia akan menurun karena protein (enzim) mengalami denaturasi.

- ▣ Proses-proses fisiologis akan terus menurun dengan meningkatnya kadar stress sampai semua turgor menghilang atau berhenti. Pada kondisi stress tingkat sedang, maka proses-proses biokomia masih terjadi, tetapi pertumbuhan menurun karena turgor pada saat pembentangan sel stress air juga menyebabkan viskositas cairan floem meningkat, sehingga transfer massa pada xylem menurun, membatasi transfer nutrien, fotosintat dan hormon.