

Sel dan Air Pada Tumbuhan

Sumber Kajian Utama: Taiz Chapter 2 dan 3

Definisi Ilmu Fisiologi Tumbuhan

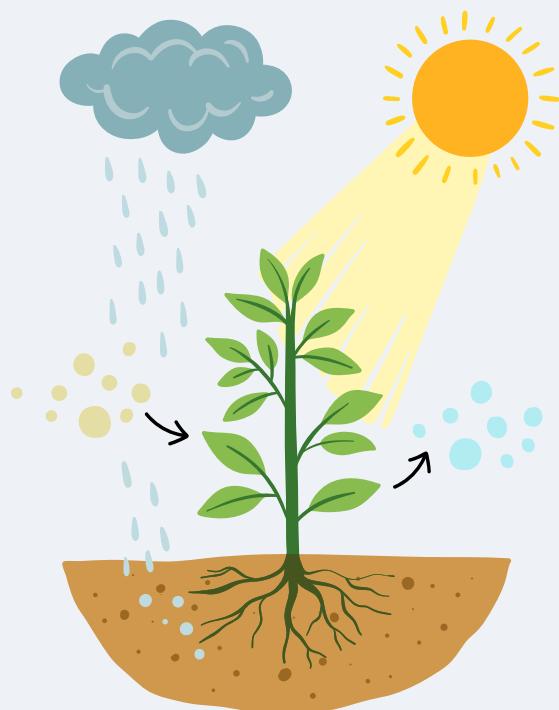
Fisiologi Tumbuhan → Ilmu yang mempelajari peristiwa-peristiwa alamiah yang terjadi dalam tumbuhan hidup.

Termasuk peristiwa yang berkaitan dengan:

1. Proses, fungsi, dan respon tumbuhan terhadap perubahan lingkungan.
2. Pertumbuhan dan perkembangan akibat respon tersebut Ilmu tentang bagaimana tumbuhan bekerja, termasuk bagaimana tumbuhan :
 - Menggunakan energi matahari untuk asimilasi karbon
 - Mengubah senyawa karbon ke bentuk lain
 - Mendapatkan dan mendistribusikan hara dan air
 - Tumbuh dan berkembang
 - Merespon terhadap lingkungan dan stress
 - Bereproduksi



Pentingnya Air Bagi Kehidupan



Air merupakan bagian yang penting dari sel dan jaringan tumbuhan. Sebagian besar dari jaringan tumbuhan terdiri dari air. **Secara umum jaringan tumbuhan mengandung air dengan kisaran 60 hingga 85%.** Bahkan jaringan/organ tertentu dapat mengandung air lebih dari 85%, seperti buah tomat mengandung hingga 95% air, demikian juga sayur-sayuran. Jaringan transpor memiliki kisaran kadar air mulai dari 35-75%. Jaringan pembuluh tanaman herba tentunya memiliki kandungan air yang tinggi dibandingkan dengan jaringan pembuluh tanaman berakar.

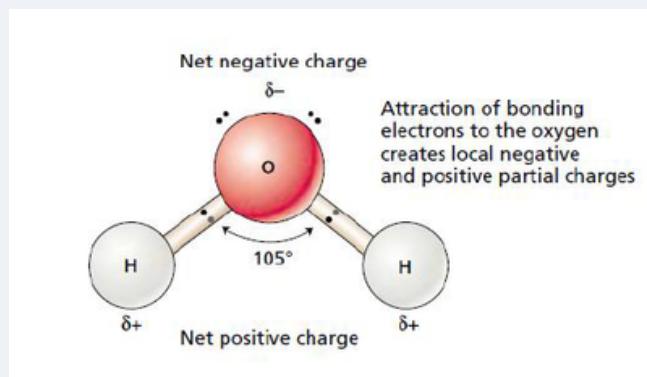
Sel dan Air Pada Tumbuhan

Sifat-sifat air

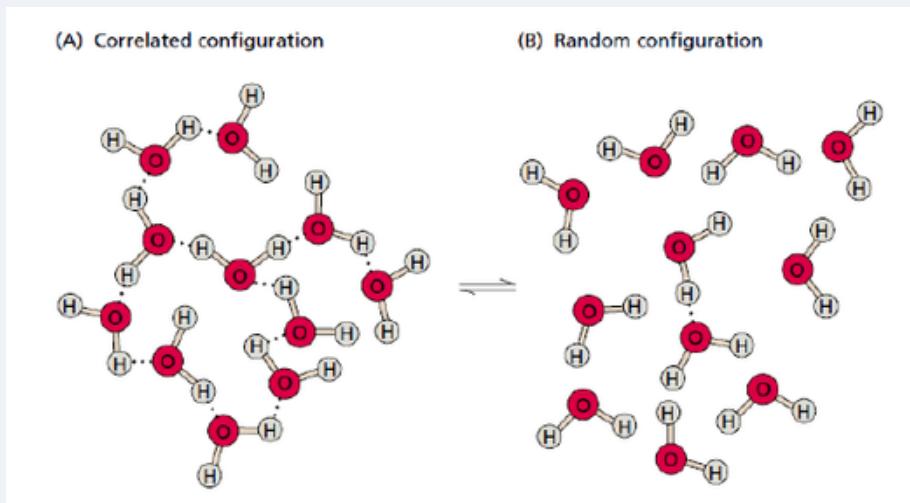
Air memiliki sifat-sifat fisika yang penting bagi kehidupan tumbuhan maupun semua organisme hidup. Sifat-sifat tersebut adalah:

1. Tersusun oleh atom-atom yang berbeda muatan (Gambar 1).

Atom oksigen cenderung menarik electron sehingga terbentuk muatan parsial negatif. Muatan negatif hidrogen yang bermuatan positif untuk mendekat dan membentuk ikatan hydrogen. Ketika terpapar sejumlah panas, maka ikatan hydrogen dapat terputus sementara dan mengakibatkan jarak antar molekul yang renggang (Gambar 2).



Gambar 1. Diagram molekul air (sumber: Taiz & Ziger, 2010)



Gambar 2. (a) Ikatan hydrogen antar molekul (b) konfigurasi acak akibat agitasi termal (sumber: Taiz & Ziger, 2010)

Sel dan Air Pada Tumbuhan

Sifat-sifat air

2. Molekul air yang polar mengakibatkan air menjadi salah satu molekul terpenting dalam proses kimia, khususnya dalam sel hidup.

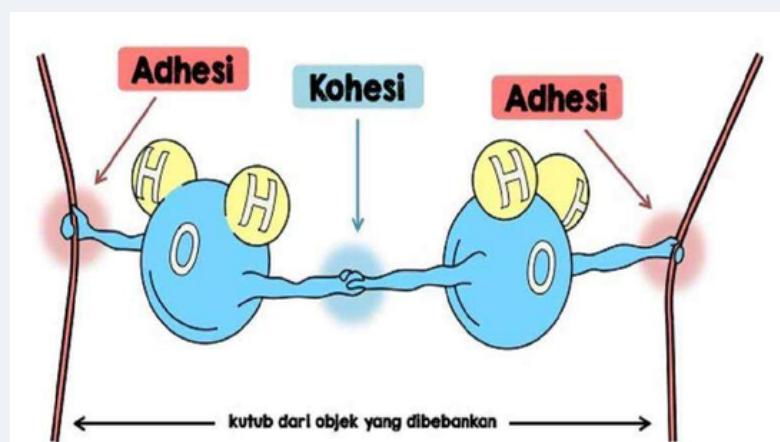
3. Air adalah pelarut yang baik: molekul berukuran kecil, bersifat polar, mampu mengurangi interaksi elektrostatik antar molekul yang kelarutan lebih tinggi.

4. Viskositas

Air memiliki viskositas yang rendah sehingga dapat dengan mudah mengalir. Makin kecil viskositas suatu zat, akan makin mudah zat tersebut untuk mengalir dan sebaliknya makin besar viskositasnya akan semakin sukar zat tersebut mengalir, dengan viskositas yang rendah, hal ini sangat penting bagi kehidupan, karena air dapat dengan mudah mengalir.

5. Adhesi dan Kohesi

Kemampuan suatu molekul untuk berikatan dengan molekul lain disebut adhesi, sedangkan untuk berikatan antar molekul itu sendiri disebut kohesi. Molekul air memiliki kemampuan yang kuat untuk berikatan dengan molekul bahan lain seperti pati, selulosa, dll. Sifat ini sangat membantu dalam proses angkutan air di dalam xylem. Air pun memiliki kohesi yang kuat, sehingga massa air dapat menyambung menjadi satu massa yang menyatu.



Gambar 3. Ilustrasi gaya kohesi dan adhesi pada molekul air (Sumber: oriviu.com)

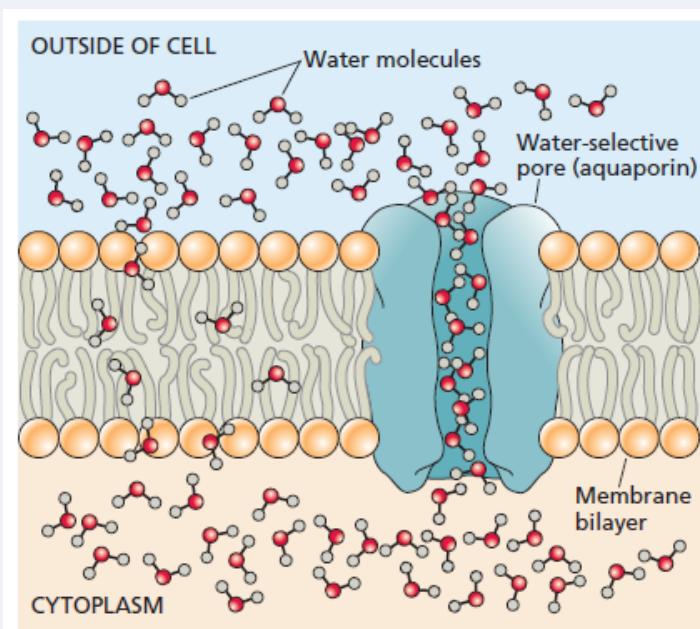
Sel dan Air Pada Tumbuhan

Perpindahan Air Pada Tumbuhan (Difusi dan osmosis)

Air bergerak dari tanah ke atas melalui dinding sel, sitoplasma, membran, ruang udara dengan mekanisme yang bervariasi.

1. Difusi

Difusi adalah pergerakan molekul akibat perbedaan konsentrasi, dari jumlah molekul yang banyak (konsentrasi tinggi) ke jumlah molekul sedikit (konsentrasi rendah). Proses difusi digerakkan oleh gaya dorong yang terjadi karena adanya beda potensial dari tinggi ke rendah baik dalam hal temperatur, listrik, tekanan hidrostatik, konsentrasi dan lain-lain. Kecepatan transportnya dihitung dalam Flux (besarnya massa yang melewati satu luas permukaan tertentu pada satuan waktu tertentu). Contoh; a) pada proses perembesan yang terjadi tanpa melewati sekat/ membran di dalam protoplasma, seperti dari ujung retikulum endoplasma ke bagian lain, b) pada proses perembesan yang terjadi dengan melewati sekat seperti dari intra ke ekstra sel, dari sitoplasma ke nukleoplasma, dari sitoplasma ke organel-organel sel.



Gambar 3. Perpindahan air pada tumbuhan.
(sumber: Taiz & Ziger, 2010)

Sel dan Air Pada Tumbuhan

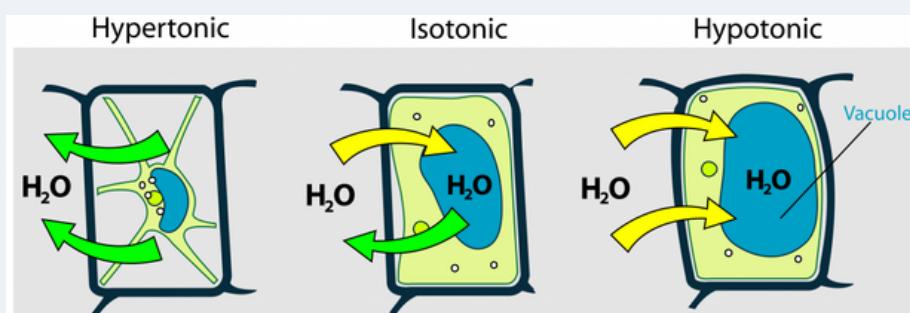
Perpindahan Air Pada Tumbuhan (Difusi dan osmosis)

Difusi

Pertukaran udara melalui stomata merupakan contoh dari proses difusi. Pada siang hari terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan O₂ sehingga konsentrasi O₂ meningkat. Peningkatan konsentrasi O₂ ini akan menyebabkan difusi O₂ dari daun ke udara luar melalui stomata. Sebaliknya konsentrasi CO₂ di dalam jaringan menurun (karena digunakan untuk fotosintesis) sehingga CO₂ dari udara luar masuk melalui stomata.

2. Osmosis

Osmosis adalah difusi melalui membran semipermeabel. Air berpindah melewati membrane sel dengan 2 cara yakni air masuk melewati membrane sel menyisip melalui lipid bilayer dan aliran massa (bulk flow) melalui aquaporin (protein integral). Masuknya larutan ke dalam sel-sel endodermis merupakan contoh proses osmosis. Keadaan tegang yang timbul antara dinding sel dengan dinding isi sel karena menyerap air disebut turgor, sedang tekanan yang ditimbulkan disebut tekanan turgor. Sel yang turgid banyak berperan dalam menegakkan tumbuhan yang tidak berkayu. Prinsip osmosis: transfer molekul pelarut dari lokasi hipotonik (potensi rendah) menuju hipertonik, melewati membran. Jika lokasi hipertonik kita beri tekanan tertentu, osmosis dapat berhenti, atau malah berbalik arah (reversed osmosis). Air yang ada ditanah masuk karena adanya perbedaan konsentrasi air dan akan masuk melalui akar dan akan melewati Epidermis – korteks – endodermis perisikel – xylem. Xylem yang merupakan pengangkut air akan membawa air ke seluruh bagian tumbuhan hingga kedalam sel-sel tumbuhan itu sendiri dan akan diapakai untuk fotosintesis dan lain-lain.



Gambar 4. Proses osmosis pada sel tumbuhan dalam larutan hipertonik, isotonik, dan hipotonik (Sumber: slcc.pressbooks.pub)

Sel dan Air Pada Tumbuhan

Transport aktif dan pasif

Air dan zat terlarut tidak dapat masuk begitu saja ke dalam sel tumbuhan, tetapi harus melewati membran plasma yang bersifat selektif permeabel. Proses transport dibedakan menjadi pasif (tidak memerlukan energi) dan aktif (memerlukan energi, biasanya ATP).

Kedua mekanisme ini sangat penting dalam mengatur status air, potensial osmotik, dan tekanan turgor sel tumbuhan.

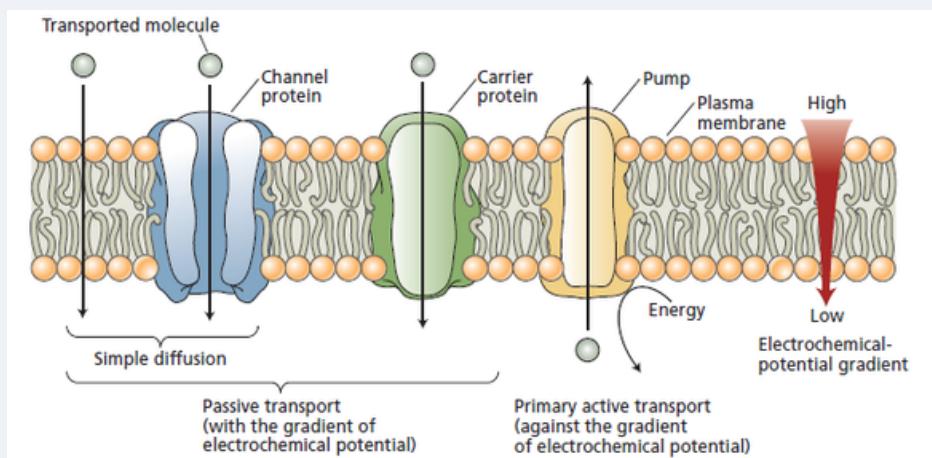
Transport Pasif

a. Difusi Sederhana

- Proses perpindahan molekul kecil seperti O₂ dan CO₂ langsung melalui bilayer lipid.
- Terjadi dari konsentrasi tinggi → rendah hingga tercapai keseimbangan.
- Meskipun sederhana, ini krusial bagi respirasi seluler dan fotosintesis.

b. Difusi Terfasilitasi

- Melibatkan protein kanal atau protein karier.
- Molekul polar (misalnya glukosa) atau ion bermuatan (K⁺, Cl⁻) dapat melewati membran tanpa energi tambahan.
- Kanal ion dapat bersifat terbuka atau memiliki “gating” (dibuka oleh sinyal pH, tegangan membran, atau Ca²⁺).



Gambar 5. Mekanisme transport membran: difusi sederhana, transport pasif, dan transport aktif primer (sumber: Taiz & Ziger, 2015)

Sel dan Air Pada Tumbuhan

Transport aktif dan pasif

Transport Aktif

a. Definisi

- Proses pemindahan ion/solut melawan gradien konsentrasi atau gradien elektrokimia.
- Membutuhkan energi, biasanya dari hidrolisis ATP.

b. Mekanisme Utama: Pompa Proton (H^+ -ATPase)

- Pompa proton (H^+ -ATPase) di membran plasma menggunakan ATP untuk memompa H^+ keluar sel.
- Hal ini menciptakan:
 - a. Gradien konsentrasi H^+ (lebih tinggi di luar sel).
 - b. Potensial membran negatif di dalam sel.
- Gradien elektrokimia ini dimanfaatkan oleh transport lain:
 - Cotransport (symport/antiport): misalnya masuknya NO_3^- atau sukrosa bersama H^+ .
 - Regulasi stomata: H^+ -ATPase di sel penjaga penting untuk membuka stomata.

c. Peran dalam hubungan tumbuhan–air

- Penyerapan ion di akar: menurunkan Ψ_s dalam sel akar, membuat air masuk osmotik dari tanah.
- Distribusi zat terlarut ke jaringan: memungkinkan air bergerak sesuai gradien potensial.
- Gerakan stomata: ion K^+ masuk ke sel penjaga → air masuk → stomata membuka.

Sel dan Air Pada Tumbuhan

Potensial air

Potensial air merupakan energi bebas yang dimiliki oleh cairan yang dapat mempengaruhi perpindahan air dari satu bagian ke bagian lainnya. Semakin tinggi kandungan air, maka potensial air semakin tinggi. Air bergerak dari potensial tinggi (**hipotonik**) ke potensial rendah (**hipertonis**). Dalam sel tumbuhan, ini sangat penting untuk penyerapan air dari tanah dan distribusinya di seluruh jaringan. Air bergerak dari tanah ke atas melalui dinding sel, sitoplasma, membran, ruang udara dengan mekanisme yang bervariasi.

Potensial air (Ψ) dapat diartikan sebagai **ukuran energi bebas air** per satuan volume, yang menentukan arah pergerakan air di dalam sistem biologis. Air bergerak dari daerah dengan potensial air yang lebih tinggi (kurang negatif) ke daerah dengan potensial air yang lebih rendah (lebih negatif).

Secara matematis, potensial air **dapat dituliskan**:

$$\Psi = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g$$

- Ψ_s (Potensial osmotik / solut): Nilai selalu negatif, menggambarkan pengaruh konsentrasi zat terlarut terhadap energi bebas air.
- Ψ_p (Potensial tekanan): Nilai bisa positif (tekanan turgor) atau negatif (tegangan di xilem).
- Ψ_g (Potensial gravitasi): Signifikan pada skala tinggi (misal pohon besar), tetapi sering diabaikan pada skala sel.

Komponen	Simbol	Penjelasan	Rentang Nilai Umum
Potensial osmotik / solut	Ψ_s	Efek penambahan zat terlarut yang menurunkan energi bebas air. Dihitung dengan persamaan van't Hoff: $\Psi_s = -RTCs \ln \frac{P_{\text{solute}}}{P_{\text{solvent}}}$	-0,1 sampai -2,5 MPa pada tumbuhan umum
Potensial tekanan	Ψ_p	Tekanan hidrostatik yang mendorong dinding sel ke arah luar (turgor) atau menarik air (tegangan). Positif pada sel hidup, negatif di xilem.	0 sampai +1,5 MPa (turgor); hingga -2 MPa (xilem)
Potensial gravitasi	Ψ_g	Dipengaruhi ketinggian air dari titik acuan. Penting pada perbedaan tinggi besar seperti pada pohon.	$\pm 0,01$ MPa per meter tinggi

(sumber: Taiz & Ziger, 2015)

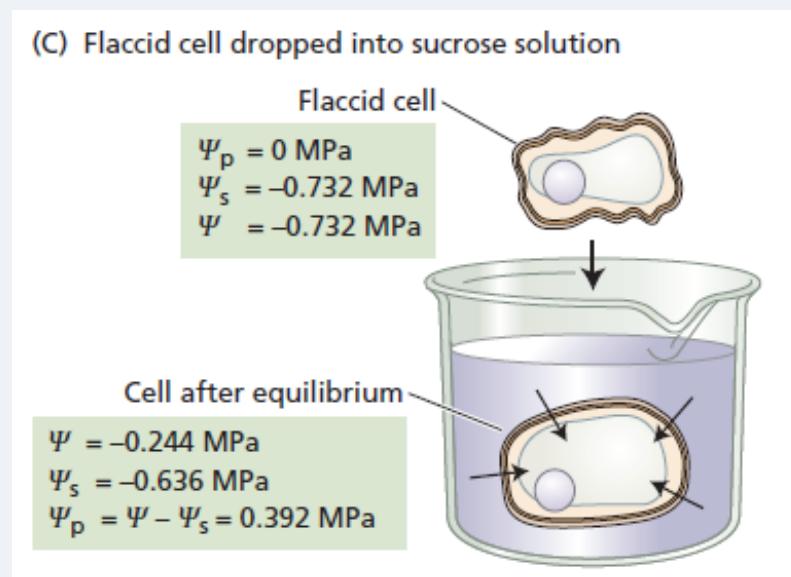
Sel dan Air Pada Tumbuhan

Tekanan Turgor

Tekanan turgor adalah tekanan hidrostatik yang timbul ketika air masuk ke dalam vakuola sel tumbuhan melalui osmosis, sehingga menekan membran plasma terhadap dinding sel.

Dalam kondisi normal, sel tumbuhan berada dalam keadaan turgid (tekanan turgor tinggi), yang sangat penting untuk:

- Menopang kekakuan jaringan (seperti “kerangka hidrostatik”).
- Menggerakkan pertumbuhan sel (cell expansion).
- Mengatur pembukaan dan penutupan stomata.
- Menyokong berbagai gerakan fisiologis (misalnya gerakan nasti).



Gambar 6. Sel flasid menyerap air dari larutan sukrosa hingga turgid.
(sumber: Taiz & Ziger, 2015)

Sel dan Air Pada Tumbuhan

Tekanan Turgor

Mekanisme Tekanan Turgor

1. Masuknya air

- Air masuk ke vakuola melalui osmosis karena potensial osmotik (ψ_s) yang lebih rendah dalam sel dibandingkan larutan luar.
- Hal ini menyebabkan vakuola membesar.

2. Peningkatan tekanan internal (ψ_p)

- Vakuola yang membesar mendorong sitoplasma ke arah dinding sel.
- Dinding sel yang kaku menahan dorongan ini, sehingga timbul tekanan turgor (ψ_p).

3. Keseimbangan potensial air

- Pergerakan air berhenti ketika potensial air dalam sel (ψ_w) seimbang dengan lingkungan luar.

Kondisi Sel Terkait Tekanan Turgor

- Sel Turgid: banyak air masuk → dinding sel menegang penuh.
- Sel Flaksid: kehilangan sebagian air → turgor berkurang, sel menjadi lemas.
- Plasmolisis: kehilangan air berlebih → membran plasma terlepas dari dinding sel.