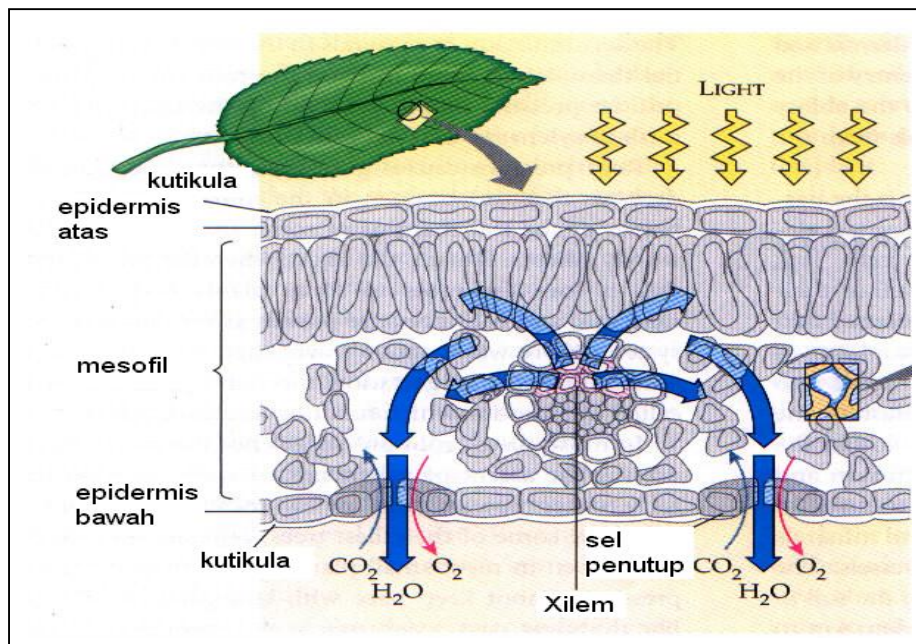


## PERTUKARAN ZAT DAN PROSES HILANGNYA AIR<sup>1</sup>

Oleh : Drs. Suyitno Al. MS<sup>2</sup>

Untuk aktivitas hidupnya, tumbuhan mengambil berbagai materi dari lingkungannya. Sebaliknya, tumbuhan mengeluarkan zat-zat tertentu ke lingkungannya. Zat-zat tertentu tersebut di samping merupakan sisa metabolisme yang memang harus keluar dari jaringan, juga beberapa jenis zat yang lain dengan kepentingan tertentu. Dengan kata lain, tumbuhan melakukan pertukaran zat.

Seperti halnya pada semua organisme, tumbuhan memiliki atau mengembangkan alat khusus untuk melakukan pertukaran zat. Alat ini dapat berupa unit organela sel tertentu, sel tertentu yang mengalami modifikasi, jaringan tertentu yang terspesialisasi mendukung fungsi pengeluaran zat atau bahkan merupakan organisasi tingkat organ. Daun merupakan organ paling penting untuk pertukaran gas (Gambar).



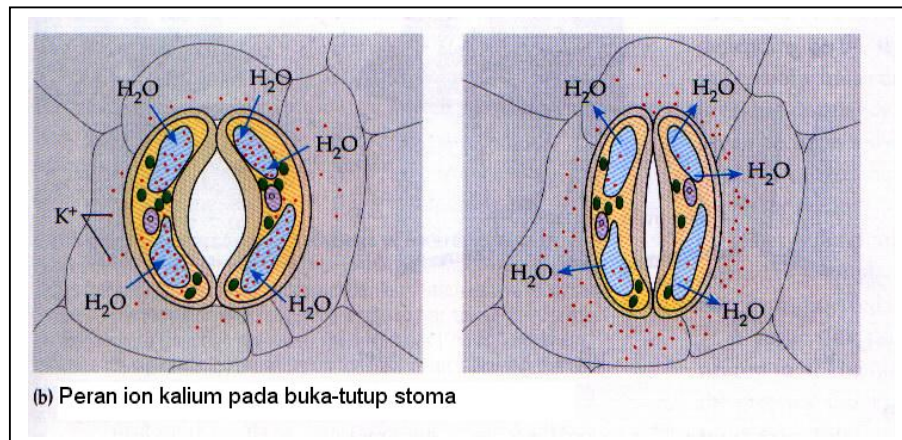
<sup>1</sup> Materi disampaikan pada pembinaan Tim Olimpiade Biologi SMAN 8 Yogyakarta, pada Senin 20 Maret 2006 di SMAN 8 Yogyakarta.

<sup>2</sup> Staf Pengajar di Jurdik. Biologi FMIPA UNY.

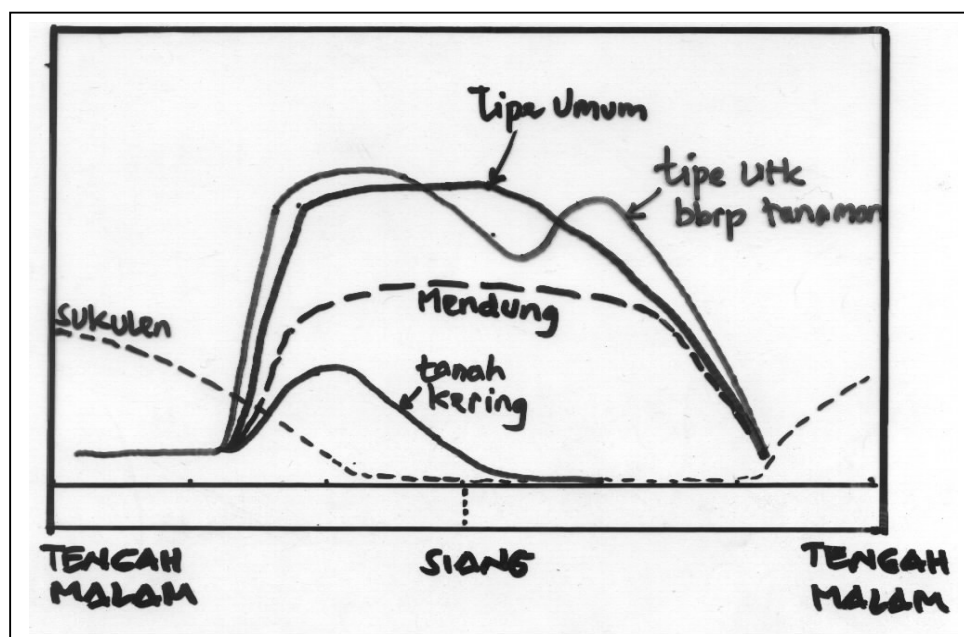
Alat-alat pertukaran zat yang penting pada tumbuhan terutama adalah stomata. Tumbuhan memiliki alat-alat lain yang fungsinya lebih menonjol untuk pengeluaran, seperti lentisel, hidatoda, sel-sel epidermis akar, trikomata dan sel-sel kelenjar. Melalui kelenjar nektaria, tumbuhan mengeluarkan madu. Melalui trikomata, tumbuhan melepaskan air atau zat-zat toksik tertentu yang digunakan untuk pertahanan dari predator atau organisme patogen. Melalui sel-sel khusus modifikasi epidermis daun pada tumbuhan halofit, tumbuhan pantai mengeluarkan kelebihan garamnya ( $\text{Na}^+$ ) ke lingkungannya. Jaringan epidermis akar juga digunakan untuk mengeluarkan cairan atau exudat akar, yang berisi air dan bermacam-macam bahan organik, antara lain asam-asam fenolat, asam amino, dan gula sederhana.

### **Stomata**

Stomata merupakan alat istimewa pada tumbuhan, yang merupakan modifikasi beberapa sel epidermis daun, baik epidermis permukaan atas maupun bawah daun. Struktur stomata sangat bervariasi pada antar tumbuhan, terutama bila dibandingkan untuk antar tumbuhan yang lingkungan hidupnya cukup kontras. Melalui stomata tumbuhan menunjukkan kemampuan adaptifnya terhadap perubahan dan stress dari lingkungannya. Tumbuhan darat banyak mengeluarkan air melalui stomata, terutama pada siang hari yang terik. Melalui alat yang sama, tumbuhan juga melepaskan gas-gas seperti  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$ , terutama pada siang hari, kecuali pada tumbuhan gurun. Sebaliknya, melalui stomata tumbuhan juga menyerap  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$ .



Stomata selain merupakan alat pelepasan dan penyerapan, juga merupakan alat kontrol atau pengatur pertukaran gas agar terjadi keajegan dinamik cairan dan gas-gas dalam jaringan untuk mempertahankan aktivitas fisiologinya. Mekanisme pengaturannya dilakukan melalui adaptasi fisiologis stomata yang mengendalikan membuka-menutupnya stomata. Melalui cara ini konduktivitas stomata bersifat dinamik – adaptif.



Gambar : Aktivitas membuka menutupnya stoma harian

Secara fisiologis, tumbuhan mampu mengatur tingkat konduktivitas stomata, dengan cara mengatur tingkat buka – tutupnya stomata. Secara struktural, adaptasi stoma ditunjukkan dari segi bentuk, ukuran, dan sebaran atau rasio antara permukaan atas dan bawah daun.

Pada tumbuhan air, umumnya daunnya tipis dan lebar, dengan stomata lebih banyak dibentuk pada epidermis atas daun. Sebaliknya, pada tumbuhan darat umumnya, jumlah stomata lebih banyak pada epidermis bawah daun. Pada tumbuhan daerah kering (xerofit), selain stomata kecil-kecil dan lebih banyak dibentuk di permukaan bawah daun, banyak yang diikuti dengan penebalan kutikula untuk membantu menahan laju kehilangan air melalui transpirasi (stomatal dan kutikuler). Pada tumbuhan gurun yang mengalami stress oleh air dan suhu yang panas, struktur stomatanya bahkan melekuk ke dalam hingga menjadi tersembunyi (kriptomer atau sunken). Pada beberapa tumbuhan darat (bukan gurun) yang juga memiliki stomata tipe Sunken, antara lain adalah *Nereum oleander* dan *Pinus merkusii*.

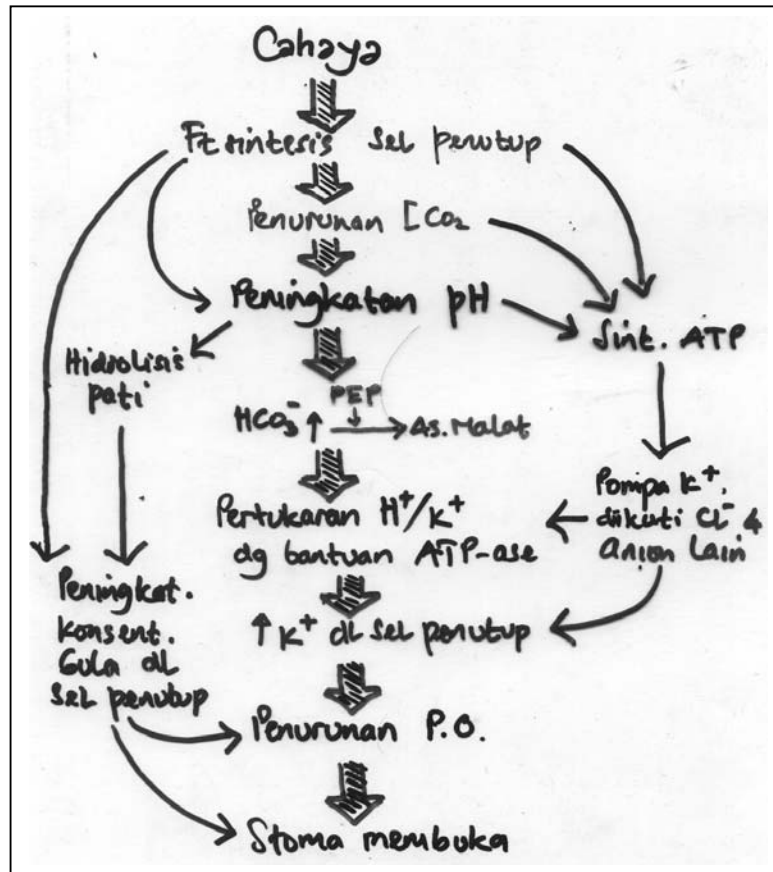
Secara umum, stoma tersusun atas dua sel penutup dan beberapa sel tetangga yang mengelilinginya. Pada sebelah dalam sel penutup terdapat rongga atau ruang stomata. Ruang ini terhubung-hubungan dengan ruang-ruang antar sel mesofil daun. Pada saat penyerapan gas, gas-gas dari atmosfer masuk ke ruang stomata melalui stomata secara difusi sederhana. Gas-gas didorong oleh adanya gradien tekanan gas secara partial, atau ada beda potensial kimia gas antara atmosfer dan ruang stoma. Pada siang hari dimana stomata umumnya membuka (kecuali tumbuhan gurun), melalui stomata masuk gas-gas CO<sub>2</sub>, karena tekanan partial CO<sub>2</sub> atmosfer lebih besar dibanding tekanan partial pada ruang antar sel dan stoma. Seiring dengan itu, O<sub>2</sub> dari fotosintesis mengalir keluar karena tekanan partiel O<sub>2</sub> di ruang antar sel lebih besar daripada atmosfer, selain gas H<sub>2</sub>O yang merupakan sisa metabolisme. Karenanya

kontrol laju hilangnya air selain mengatur tingkat konduktivitas stoma, juga mengendalikan laju respirasinya.

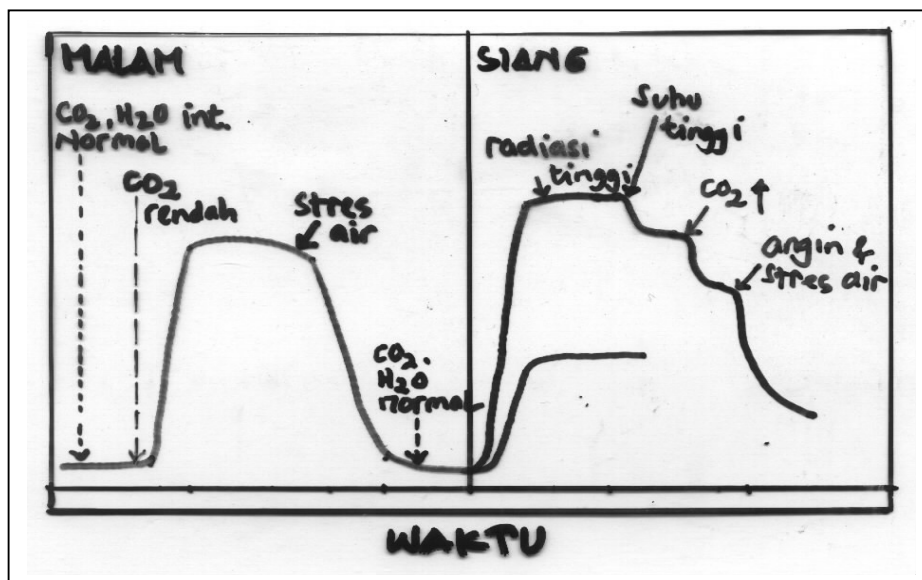
### **Mekanisme Buka – Tutup Stomata**

Mekanisme membuka menutupnya stomata merupakan peristiwa yang kompleks. Para Fisiolog sependapat bahwa membuka – menutupnya stoma terjadi karena perubahan atau pengaturan turgor sel penutup. Tekanan turgor terbentuk oleh adanya aliran air dari sel-sel sekitarnya. Keluar masuknya air dari dan ke sel penutup pada dasarnya adalah peristiwa osmosis (difusi air melalui membran). Masuknya air secara osmotik ke sel penutup membuat stoma membuka. Sebaliknya, stoma akan menutup seiring dengan keluarnya air dari sel penutup ke sel-sel sekitarnya.

Banyak faktor mempengaruhi aktivitas buka-tutupnya stoma. Kondisi lingkungan tersebut antara lain seperti konsentrasi CO<sub>2</sub>, suhu, kelembaban udara, intensitas pencahayaan, dan kecepatan angin. Pada umumnya stoma membuka pada siang hari, kecuali tumbuhan gurun. Membukanya stomata pada malam hari untuk tumbuhan gurun merupakan bentuk adaptasi fisiologis untuk mengurangi resiko hilangnya air berlebihan.



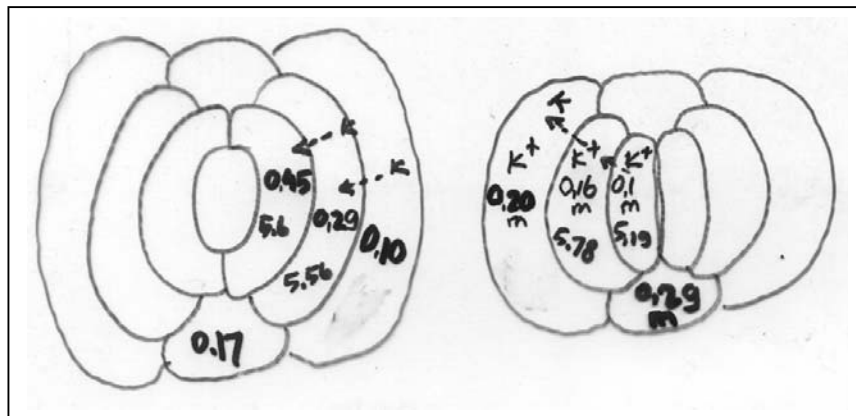
Gambar : Faktor – faktor membuka menutupnya stoma



Gambar : Respons stomata terhadap kondisi lingkungan

Arah pergerakan air ditentukan oleh perbedaan potensial air atau tekanan osmotik antara sel penutup dengan sel-sel di sekitarnya. Bila tekanan osmotik sel penutup lebih negatif (PO meningkat; cairan sel lebih pekat; potensial airnya lebih rendah) daripada sekelilingnya, maka air dari sel-sel sekitarnya akan bergerak masuk menuju sel penutup. Sebaliknya, jika PO sel penutup lebih rendah atau potensial airnya lebih tinggi, maka air akan berosmosis dari sel penutup menuju sel tetangga. Persoalannya adalah bagaimana mekanisme tumbuhan mengontrol PO yang dinamis sesuai fluktuasi perubahan lingkungannya

Beberapa teori berusaha menjelaskan mekanisme buka – tutupnya stomata, di antaranya adalah teori “gerakan atau pompa ion K”. Masuknya ion K terjadi secara difusi melalui pertukaran ion dengan  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{H}^+$ . Telah diketahui bahwa  $\text{K}^+$  terlibat dalam metabolisme karbohidrat, karena perannya mendukung aktivitas enzim fosforilase. Enzim ini berperan dalam konversi amilum menjadi glukosa. Bila ion K meningkat pada sel penutup, aktivitas pengubahan amilum menjadi glukosa juga meningkat. Dengan bertambahnya konsentrasi glukosa sel penutup maka akan meningkatkan potensial osmotik selnya. Dengan demikian akan menggerakkan air sel-sel sekitarnya berosmosis menuju sel penutup. Akibatnya, tekanan turgor sel penutup meningkat dan stoma membuka.



**Gambar : Perubahan  $\text{K}^+$  dan pH pada buka – tutup stoma**

Terbentuknya celah mulut karena ada dua faktor struktural sel penutup yang mendukung.

- 1) kedua ujung daridua sel penutup saling menempel/ berdekatan satu sama lain, sehingga pada saat turgor meningkat, sel penutupnya akan melengkung dan membentuk celah yang dibatasi oleh kedua dinding sel penutup.
- 1) Adanya benang-benang mikrofibril selulosa yang terorientasi secara radial (miselasi radial). Hal ini memungkinkan sel tumbuh memanjang dan bukan tumbuh membesar ke arah samping. Dengan demikian bila turgor ke dua sel penutup memanjang, sementara bagian ujung-ujungnya saling bertautan di tempatnya, maka akan tumbuh melengkung dan membentuk celah mulut.

Selain stomata, alat bantu bernafas lain adalah akar nafas atau akar udara. Bagi tumbuhan bakau (Mangrove) seperti *Avicennia germinans*, dan *Rhizophora*, akar nafas (pneumatofor) mencuat ke atas hingga di atas permukaan air (geotropik negatif). Akar ini digunakan untuk membantu memperoleh udara bagi jaringan air yang hidup pada tanah terendam air laut yang aerasinya buruk.

### **Proses Hilangnya Air**

Ada beberapa peristiwa terekait dengan hilangnya air tumbuhan. Peristiwa – peristiwa tersebut meliputi : 1) transpirasi, merupakan proses yang memberi andil paling besar pada hilangnya air jaringan, 2) gutasi, yaitu pelepasan air dalam bentuk tetes air melalui hidatoda yang tersebar pada ujung pertulangan daun atau ujung-ujung daun, 3) pelepasan air melalui lentisel, 4) pelepasan air berupa exudasi atau pengeluaran cairan exudat akar, 5) pelepasan dalam bentuk lendir atau getah.



Tumbuhan mampu mengontrol terhadap cairan jaringannya, melalui beberapa mekanisme, yakni :

1. Mengendalikan laju hilangnya air, terutama transpirasi
2. Melakukan penyerapan dengan lebih efisien, yang responsnya dinyatakan dalam adaptasi struktural sistem perakarannya.
3. Menyesuaikan laju metabolismenya. Pada tumbuhan yang hidup di daerah kurang air (kering), tumbuhan mengembangkan jaringan penyimpan air.

### **Transpirasi**

Pelepasan uap air melalui stomata disebut transpirasi. Bentuk pelepasan air transpirasi bersama-sama dengan air yang menempel pada permukaan daun dan batang, secara keseluruhan disebut evapotranspirasi. Evaporasi merupakan pelepasan uap air dari benda-benda tak hidup, seperti dari bebatuan, tanah, permukaan luar batang, dsb.

Transpirasi merupakan satu mekanisme untuk membuang kelebihan air atau air sisa metabolisme. Laju transpirasi dipengaruhi oleh faktor internal tumbuhan yang bersangkutan, maupun berbagai faktor klimatik lingkungannya. Secara internal, transpirasi dikontrol dengan pengaturan konduktivitas stomata, daya hisap daun, dan tekanan akar, laju fotosintesis dan respirasi, serta jenis dan umur tanamannya. Sedangkan faktor eksternal yang penting adalah suhu, kelembaban udara, kecepatan angin dan beda potensial air antara tanah – jaringan - atmosfer. Oleh bermacam-macam tenaga penggerak dan daya kohesi, maka dalam tubuh tumbuhan terbentuk aliran air atau benang air yang tak terputus.

Di sisi lain, transpirasi dapat dipandang sebagai salah satu mekanisme pelepasan kelebihan panas tubuh tumbuhan, serta mendorong aliran air tanah masuk ke jaringan

untuk mendapatkan berbagai nutrisi yang dibutuhkan. Transpirasi juga merupakan mekanisme kontrol keseimbangan dan stabilitas cairan tubuh. Stabilitas cairan tubuh terjaga apabila volum penyerapan air sebanding dengan volum kebutuhan air untuk mempertahankan turgiditas jaringan (tekanan hidrostatik) dan air untuk mendukung metabolisme serta stabilisasi suhu jaringannya. Bila transpirasi berlebihan yang tidak seimbang dengan aliran air yang masuk, maka jaringan akan kehilangan turgiditasnya. Tumbuhan menjadi layu atau bahkan mengering dan mati.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- AIBS. 1985. Biological Science A Molecular Approach. Toronto, D.C. Heat and Company.
- Albert B.; Bray D.; Lewis J.; Robert K. and Watson, J.D. 1983. The Cell. London : Garland Publishing, Inc.
- Baker J.W. and Lilen, G.E. 1982. Biology. London: Addison-Wesley Publ. Comp.
- Bidwell R.G.S. 1979. Plant Physiology. London: Macmillan Publ. Company.
- Moore T.C. 1974. Research Experiences in Plant Physiol. NY : Springer-Verlag, NY
- Purves W.K. and Gordon H.O. 1983. Life. USA : Willard Grant Press.
- Salisbury F.G and Ross, C.W. 1985. Plant Physiol. California : Wadsworth Publ. Company