

## POTENSIAL AIR PADA TURGOR LOSS POINT TUMBUHAN HUTAN GAMBUT DALAM KONDISI STRES GENANGAN DIKAWASAN SUNGAI SEBANGAU, KALIMANTAN TENGAH

[Water Potential at Turgor Loss Point of Peat Land Forest Plant Species During Flooding Stress in Sebangau River, Central Kalimantan]

BP Naiola

Laboratorium Stres Fisiologi  
Balitbang Botani, Puslitbang Biologi-LIPI

### ABSTRACT

Water is one of the main phenomena dominating the life cycle of biodiversity components in tropical peat land area in Central Kalimantan. However, the exist of water is no longer as a determinant positive factor in the life of plants in that area; instead, water has become a factor creating other problems i.e. flooding stress. This report deals with study on the physiological aspects of tropical peat land plant species. Three species were used namely tumih (*Combretocarpus rotundatus*), belangeran (*Shorea balangeran*) dan ramin (*Gonystylus bancatus*). Employed Pressure-Volume Curve generated from Pressure Chamber, this study were concentrated on the water potential at turgor loss points ( $Q_{V_{TM}}$ ) in flooding conditions. It is assumed that ( $Q_{V_{TM}}$ ) is important in explaining the adaptation ability of these plants to flooding stress. Results shows that ( $P_{total}$ ) in tumih was (-1,06 MPa), belangeran (-1,53 MPa) and ramin (-1,51 MPa) were not significant different between the three species; thus they had similar ability in responding to flooding stress. However, turgor pressure of these species were significantly different; thus the ratio of each MPa decrease of turgor pressure of each species against their own ( $Q_{V_{TM}}$ ) were different where tumih (0,73 MPa), balangeran (0,78 MPa) and ramin (0,81 MPa). It is suggested that tumih would reach early turgor loss point than the other two species due to its smaller turgor pressure. Comparisons of ( $Q_{V_{TM}}$ ) among some tropical species were also presented. Due to the relationship between the three water potential components (total water potential, osmotic potential and turgor pressure), thus ( $P_{total}$ ) maybe genetically controlled, thus it is worth to encourage for further study on this topic.

*Kata kunci/keywords:* Potensial air total/ total water potentials, turgor loss point, komponen potensial air/ water potential components, lahan gambut tropik/ tropical peat land, stres genangan/ flooding stress.

### PENDAHULUAN

Dalam memetakan kondisi lingkungan termasuk faktor-faktor yang berinteraksi dan mempengaruhi biodiversitas kawasan lahan gambut di Kalimantan Tengah, aspek tata air tumbuhan setempat (*plant water relations*) merupakan bagian mutlak yang harus ikut dipetakan. Mengapa?; karena air merupakan salah satu fenomena utama yang mendominasi siklus hidup komponen biodiversitas setempat.

Tumbuhan di kawasan lahan gambut tropik (*tropical peat land*) sesungguhnya mengalami berbagai stres fisiologis. Kondisi lingkungan setempat yang tercipta dari sedemikian banyak faktor (baik biotis maupun abiotis) yang

berinteraksi, memberikan gambaran bahwa stres yang dialami dapat berupa stres hara dalam arti defisiensi hara (*nutrient deficiency*) maupun kelimpahan (*excessiveness*) ion-ion maupun molekul-molekul tertentu baik inorganik maupun organik yang mempengaruhi kehidupannya. Sebagai misal, kelimpahan unsur karbon yang berasal dari peruraian berlebihan bahan organik tumbuhan (akar, batang, ranting dan daun) sedemikian besar sehingga merupakan 20% dari keseluruhan karbon tanah (Maltby, 1997). Kelimpahan sejumlah ion tertentu menciptakan suasana asam yang cukup tinggi (oleh karena itu merupakan faktor stres) di sekitar rizosfer (Yonebayashi *et al.*, 1997). Sementara itu, kondisi keasaman ini menyebabkan

kawasan lahan gambut menjadi bersifat oligotropik akibat adanya sejumlah unsur esensial utama bersifat tidak tersedia untuk pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Beberapa logam Zn, Mn & Fe ditemukan terakumulasi di lahan gambut dalam konsentrasi yang cukup tinggi seperti Zn, Mn, Fe dan Cu (Yonebayashi *et al.*, 1997).

Lingkungan rizosfer tumbuhan lahan gambut yang dalam sebagian besar waktu tumbuh dan berkembangnya berada dalam milieu akuatik, menimbulkan stres genangan (*flooding stress*) dengan efek tersendiri terhadap tumbuhan yaitu defisiensi (stres) oksigen (*hypoxia, anoxia*), yang diekspresikan melalui kelakuan fisiologi stomata, peluruhan daun, epinasti dan rasio pertumbuhan yang lambat sebagai akibat terusnya proses metabolime (Drew dan Stolzy, 1996).

Berbagai fenomena tersebut di atas yang berinteraksi dalam ekosistem lahan gambut seperti gradasi, dekomposisi, kandungan mineral, bahan organik, stratifikasi dsbnya menentukan sifat fisik air di lahan gambut seperti densitas badan air (*bulk density*), konduktivitas (*hydraulic conductivity*) dan kapasitas keterikatan air (*water holding capacity*) (Rieley *et al.*, 1997). Sifat fisik ini akan berpengaruh terhadap tata air tumbuhan seperti absorpsi dan transport air ke dalam tubuh tumbuhan. Pengaruh terhadap absorpsi dan transport ini akan membawa dampak terhadap aspek hubungan air dan tumbuhan di lahan gambut.

Laporan ini mengemukakan hasil penelitian dalam aspek fisiologi tumbuhan, khususnya hubungan air dan tumbuhan yaitu potensial air pada turgor loss point ( $P_{o}^*$ ) sel/jaringan dari tiga spesies pohon lahan gambut dalam kondisi stres genangan di kawasan hutan gambut Sungai Sebangau, Kalimantan Tengah. Pengamatan dilakukan terhadap besaran/nilai potensial air pada saat mana sel/jaringan ke 3 spesies ini mulai mengalami kehilangan tekanan turgor.

## BAHAN DAN CARA KERJA

Kawasan lahan gambut Sungai Sebangau, merupakan sumber materi penelitian ini. Tiga spesies yang merupakan tumbuhan asli setempat digunakan sebagai bahan penelitian yaitu tumih (*Combretocarpus rotundatus*), belangeran (*Shorea balangeran*) dan ramin (*Gonystylus bancatus*). Pengukuran-pengukuran potensial air pada turgor loss point sel/jaringan dilakukan di Laboratorium Fakultas Pertanian Universitas Palangka Raya, Palangka Raya, Kalimantan Tengah.

### Pengukuran nilai $f_{o}^*$

Sampel tumbuhan diambil sebagai mungkin dengan cara menyebrangi S. Sebangau (dari arah Palangkaraya) ke lokasi Setia Alam menggunakan perahu motor. Sampel yang akan diukur hari itu diambil secukupnya untuk menghindari penyimpanan yang terlampaui lama. Dengan cepat sampel dimasukkan ke dalam kantong plastik kedap air dan dibawa ke laboratorium.

Nilai  $P_{o}^*$  diperoleh dengan cara membentuk kurva "Pressure-Volume" (P-V). Kurva ini dibentuk dengan Pressure Chamber (PC), mengikuti cara Tyree dan Hammel (1972) yang dilengkapi oleh Sinclair dan Venables (1983), dan telah dilakukan pula oleh Naiola dan Murningsih (1995); secara detil dibahas oleh Naiola (2000a). Kurva standar P-V diperlihatkan pada Gambar 1 (Sinclair dan Venables, 1983).

Ranting sampel tumbuhan dimasukkan ke dalam silinder secara terbalik dengan ujung potongannya menonjol keluar. Untuk menghindari blokade udara dalam xilem, pemotongan ranting ini dilakukan dalam wadah berisi air. Gas bertekanan tinggi kemudian disalurkan secara hati-hati ke dalam silinder, sambil memperhatikan cairan yang akan muncul di permukaan potongan ranting yang menonjol keluar itu.

Cairan yang keluar ditampung dalam pipa plastik transparan kecil berukuran panjang kurang lebih 12 cm, penampang 5 mm berisi kertas *tissue*. Direkomendasikan untuk menggunakan kertas yang berwarna biru, hijau atau kuning untuk memudahkan pengecekan tinggi noda cairan dalam pipa. Berat pipa plus kertas ini telah lebih dahulu diketahui. Tekanan yang digunakan untuk mengoleksi cairan disebut *holding pressure*. Selang beberapa waktu (menit), *holding pressure* diturunkan beberapa bar (0,1 MPa), berat pipa kolektor ditimbang. Kemudian tekanan dinaikkan kembali secara perlahan-lahan seraya mengamati besarnya *balance pressure*. Koleksi dan penimbangan dilakukan beberapa kali sesuai kondisi sample dan aspek yang dipelajari. Setiap kali koleksi, *holding pressure* dinaikkan beberapa persepuluh MPa.

Untuk mendapatkan kurva P-V, setiap nilai volume cairan sel yang dikoleksi diplot pada sumbu x, dan dihubungkan dengan setiap nilai resiprokal dari *balance pressure* (1/P) yaitu potensial air sample tumbuhan pada sumbu y. Dari setidaknya-tidaknya 3 titik hubungan volume dan tekanan pada kurva P-V yang membentuk garis lurus (yaitu jika tekanan turgor tidak lagi menunjang  $\psi_{sel/jaringan}$ ) jika diekstrapolasikan ke sumbu y, akan diperoleh nilai resiprokal potensial osmotik seperti dijelaskan di atas.

Kurva P-V berbentuk konkaf. Namun bila tekanan turgor ( $\psi^4$ ) tidak lagi mendukung  $\psi_{sel/jaringan}$ , tekanan yang diberikan (yaitu setara

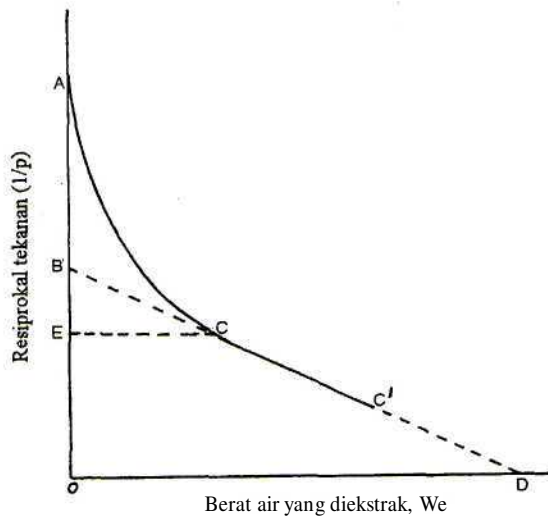
dengan potensial air jaringan) seimbang dengan nilai potensial osmotik sel (Sinclair dan Venables, 1983). Oleh karena itu jika garis C-C diekstrapolasi ke sumbu y, maka ordinat B menunjukkan nilai resiprokal (1/P) dari potensial osmotik sel/jaringan yang sedang dipelajari. Selanjutnya bila garis C-C diekstrapolasi ke sumbu x dan berpotongan di absis D, maka O-D adalah volume air simplastik ( $W_e$ ) yaitu air yang terdapat dalam sel (harus dibedakan dari air apoplastik dalam dinding sel). Ordinat A merupakan nilai  $H^0$  nol yaitu bila sel/jaringan dalam keadaan mencapai turgor penuh (*full turgor*).

Pada Gambar 1, ordinat C merupakan lokasi di mana sel-sel mulai mencapai turgor nol ( $\psi_{po}$ ). Jika dari titik C ditarik sebuah garis sejajar sumbu x dan berpotongan di sumbu y, titik pertemuan ordinat E menunjukkan nilai resiprokal dari  $\psi_{sel/jaringan}$  di mana sel/jaringan mulai kehilangan turgor (*turgor loss point*).

Dalam kondisi stres genangan seperti yang dialami tumbuhan kawasan gambut, nilai potensial air pada tingkat mana turgor mencapai nol (*turgor loss point*) dapat diamati sebagai suatu fenomena tahan stres.

## HASIL

Tabel 1 memuat nilai asli (original values)  $\psi_{tot}$  dan  $\psi_{T_{po}}$  yang diukur pada 3 spesies tumbuhan, masing-masing tumih, balangeran dan ramin. Nilai individual berkisar antara -0,88 MPa dan -1,64 MPa, sedangkan nilai rata-rata antara -1,06 MPa (*C. rotundus*) dan -1,53 MPa (*S. balangeran*).



Gambar 1. Kurva Pressure Volume (P V), yang menjeiaskan cara menurunkan beberapa nilai aspek tata air tumbuhan (Plant Water Relations), antara lain potensial osmotik dan potensial air pada turgor loss point. (Diadopsi dari Sinclair and Venables, 1983).

Tabel 1. Hasil pengukuran (n=3)  $\Psi_{total}$  dan  $\psi\Psi_{po}$  (MPa) pada 3 spesies tumbuhan tumih (*C. rotundatus*), balangeran (*S. balangeran*) dan ramin (*G. bancanus*) di kawasan lahan gambut S. Sebangau, Kalimantan Tengah.

Spesies	$\Psi_{total}$	$\psi\Psi_{po}$
(1)		(2)
tumih, <i>C. rotundatus</i>		1,19
		1,10
		0,88
balangeran, <i>S. balangeran</i>	©	<b>1,06</b>
		1,28
		1,02
		1,36
ramin, <i>G. bancanus</i>	©	<b>1,53</b>
		1,37
		1,64
		1,51
	©	<b>1,51</b>

Paket data ini kemudian dianalisa lanjut dengan metoda *simple analysis of variance* (Martin dan Firth, 1983), untuk menguji signifikansi antar spesies dalam aspek turgor loss point. Terdapat 2 sumber variasi yaitu perbedaan antar spesies dan

perbedaan dalam lokasi dan efek sampling, yaitu variasi dalam spesies (residual). Tabel 2 memuat hasil uji statistik terhadap nilai  $\Psi_{total}$  dan  $\psi\Psi_{po}$ . Hasil anova menunjukkan bahwa tidak terdapat beda nyata antar spesies pada nilai  $\Psi_{total}$  dan  $\psi\Psi_{po}$ .

Tabel 2. Hasil uji *simple analysis of variance* terhadap nilai potensial air total pada turgor loss point ( $\Psi_{total} \nu \Psi_{po}$ ).

Sumber Variasi	Jumlah kuadrat	Derajat bebas	Kuadrat nilai tengah	F
Spesies	0,315	2	0,575	3,27
Residual	0,386	8	0,048	-
Total	0,701	10	0,0701	-

Ho ditolak bila kuadrat nilai tengah spesies lebih besar dari residual. Dalam hal ini nilai  $F_{hitung}$  lebih kecil dari nilai  $F_{tabel}$  sehingga Ho ditolak; dengan demikian perbedaan nilai potensial air total pada turgor loss point antar 3 spesies lahan gambut ini tidak signifikan. Walaupun nilai tekanan turgor pada ketiga spesies ini berbeda secara signifikan (Naiola dan Osaki, 2000), namun ketiganya memiliki kemampuan yang sama dalam mempertahankan nilai potensial air total ( $\Psi_{total}$ ) sebelum mulai terjadinya turgor loss point.

## PEMBAHASAN

Air, dalam kehadirannya di kawasan gambut ini tidak lagi sebagai faktor penentu positif dalam siklus hidup tumbuhan, tetapi telah berubah menjadi suatu faktor yang menciptakan masalah lain, yaitu menimbulkan kondisi stres fisiologis terhadap tumbuhan. Tumbuhan sebagai salah satu komponen utama biodiversitas setempat, tampaknya penggenangan mendominasi hampir sepanjang siklus hidupnya. Fenomena genangan ini jelas membawa dampak terhadap tata kehidupannya.

Pengukuran terhadap aspek  $\Psi_{total} \nu \Psi_{po}$  terhadap ke 3 spesies ini untuk mengetahui kepekaan sel/jaringannya terhadap kondisi stres genangan. Sejauh mana lingkungan genangan mempengaruhi tata airnya yang diindikasikan dengan nilai  $\Psi_{total} \nu \Psi_{po}$  ini. Besar/kecilnya nilai potensial air pada turgor loss point pada suatu spesies tumbuhan menunjukkan kemampuannya dalam beradaptasi terhadap kondisi stres lingkungan. Semakin peka suatu spesies tumbuhan terhadap stres yang berhubungan dengan air, semakin tinggi (kurang negatif) pula nilai potensial

air total pada tingkat mana sel sel mulai kehilangan turgor ( $\Psi_{total} \nu \Psi_{po}$ ) [bandingkan dengan Bowman dan Roberts, 1985].

Dalam kehidupan tumbuhan, turgor berperan dalam pembelahan dan pembesaran sel (Kramer, 1983) yang diekspresikan melalui pertambahan/pembesaran pada bagian bagian tubuhnya. Dengan kata lain, pertumbuhan pada tumbuhan adalah meningkatnya jumlah sel (melalui pembelahan sel) di mana salah satu faktor pengendalinya adalah tekanan turgor (Wenkert *et al*, 1978), yang tetap harus dipertahankan di atas nol (positive turgor pressure). Tekanan turgor dipandang memegang peranan penting dalam mempertahankan pertumbuhan dan perluasan permukaan daun (Drew, 1987). Sedangkan pada kelompok tumbuhan lain seperti anggur (Schultz dan Matthews, 1993) and bunga matahari (Chimete and Hall, 1994), keadaan mempertahankan tekanan turgor turgor tidak selamanya diasosiasikan dengan penambahan pertumbuhan tetapi lebih kepada upaya agar individu tetap memperpanjang periode bertahan hidup (extension of the survival period).

Turgor loss point merupakan suatu kondisi di mana tekanan cairan sel terhadap dinding sel mencapai nol. Pada sekitar nilai ini pula protoplasma mulai terlepas dari dinding sel. Tekanan dinding ditimbulkan oleh interaksi antara potensial osmotik ( $\Psi\pi$ ) dan potensial air total ( $\Psi_{total}$ ). Potensial osmotik diturunkan oleh solut (bahan terlarut berupa ion/molekul inorganik maupun organik) dalam protoplasma; potensial air adalah energi bebas per unit volume air. Energi

bebas adalah bagian dari energi yang dikandung oleh suatu sistem yang bebas untuk melakukan kerja (Street dan Öpik, 1979; Slessor, 1982).

Oleh karena itu, keadaan mempertahankan nilai potensial air serendah mungkin (lebih negatif) sebelum mencapai keadaan turgor loss point menjadi sangat penting dalam upaya adaptasi terhadap kondisi stres lingkungan terutama stres air (drought resistance), stres garam (salinity resistance) dan stres genangan (flooding stress).

Walaupun kelimpahan air merupakan suatu fenomena mutlak dalam kondisi stres genangan, namun tumbuhan dapat saja mengalami kelayuan. Kelayuan pada kondisi genangan dapat terjadi yaitu jika penurunan absorpsi air yang disebabkan oleh meningkatnya resistensi akar secara mendadak pada kondisi air jenuh pada media tumbuh; sedangkan meningkatnya resistensi akar ini akibat toksik karena tingginya konsentrasi CO<sub>2</sub> (Kramer, 1983). Kemungkinan lain karena produksi etilen yang ditranslokasikan ke daun dan berakibat pada menutupnya stomata (Sojka dan Stolzy, dalam Kramer, 1983). Produk anaerob berupa etanol, aldehida dan asam laktat dapat mengakumulasi pada daerah rizosfer dan menimbulkan kerusakan pada daerah absorpsi air pada akar (Kramer, 1983). Keadaan ini dapat menciptakan disintegrasi dalam transport air, sehingga menimbulkan kelayuan walaupun dalam kondisi genangan. Kelayuan permanen akan diikuti dengan reduksi pertumbuhan dan berakhir dengan proses menguning (senescence), gugurnya daun dan mati.

Tabel 2 menunjukkan nilai  $\Psi_{total}$  v  $\Psi_{po}$  tidak signifikan antara ketiga spesies tersebut. Sebaliknya dalam laporan lain, nilai  $\Psi_p$  ketiga spesies ini berbeda secara signifikan, yaitu berturut-turut (MPa) tumih (0,77), balangeran (1,19) dan ramin (1,23) (Naiola dan Osaki, 2000). Oleh karena itu, rasio penurunan setiap unit MPa nilai turgor terhadap masing-masing potensial air

totalnya, pada tumih sebesar 0,73 MPa sedangkan pada balangeran 0,78 MPa dan ramin lebih besar yaitu 0,81 MPa. Karena nilai potensial turgor pada tumih lebih kecil, maka spesies ini akan lebih cepat mencapai nilai  $\Psi_{total}$  v  $\Psi_{po}$  dibanding kedua spesies lainnya.

Sebagai bahan perbandingan, pada Tabel 3 dikemukakan nilai  $\Psi_{total}$  v  $\Psi_{po}$  beberapa spesies tumbuhan tropik yang pernah diamati/ dilaporkan. Walaupun nilai  $\Psi_{total}$  v  $\Psi_{po}$  antar spesies ini diperoleh dari latar belakang lingkungan tumbuhan yang berbeda (stres kekeringan, salinitas dan genangan) namun dipandang perlu untuk dikemukakan sebagai bahan referensi karena informasi mengenai aspek  $\Psi_{total}$  v  $\Psi_{po}$  masih belum banyak tersedia.

Tampak bahwa nilai  $\Psi_{total}$  v  $\Psi_{po}$  pada tumbuhan tropik bervariasi antara 1,06 MPa hingga 2,13 MPa. Jika  $\Psi_p$  dikontrol secara genetik (contoh pada gandum: Morgan, 1977; padi: Steponkus *et al.*, 1982; eukaliptus: Myers dan Neales, 1986 dan akasia: Naiola dan Sinclair, 1987), maka  $\Psi_p$  juga demikian karena hubungan kedua komponen potensial air ini sesuai persamaan  $\Psi = \Psi_p + \Psi_{po}$  (Sutcliffe, 1979; Kramer, 1983; Tyree dan Jarvis, 1982). Dengan demikian nilai  $\Psi_{total}$  v  $\Psi_{po}$  juga seyogyanya diregulasi secara genetik pula, dan merupakan peluang untuk dilakukan penelitian lebih lanjut.

Nilai  $\Psi_{total}$  v  $\Psi_{po}$  pada ketiga spesies ini tergolong rendah (Tabel 1). Artinya kelayuan akan dicapai pada nilai potensial air yang kurang negatif (yaitu pada kandungan air relatif maupun air total sel/jaringan yang masih relatif tinggi). Fenomena ini mengindikasikan ciri tumbuhan genangan. Oleh karena itu, jika kondisi fisik lingkungan setempat mengalami perubahan drastis (misalnya kekeringan pada tingkat medium saja) ketiga spesies ini akan sulit beradaptasi terhadap kondisi kekeringan tersebut.

Tabel 3. Nilai  $T_{total} \Psi_{po}$  (-MPa) pada beberapa spesies tumbuhan tropik dibandingkan terhadap 3 spesies lahan gambut ini.

Spesies	$\Psi_{total} \Psi_{po}$	Sumber	Keterangan
Rambutan			
var. sikki	2,13	Naiola	<i>in press</i>
var. aceh	1,96	idem	
var. lebakbulus	1,85	idem	
Kedelai			
var. galunggung	1,57	Naiola, 2000b	
var. krakatau	1,43	idem	
Puspa			
( <i>Schima wallichii</i> )	1,95*	Naiola <i>et al.</i>	<i>in press</i>
Podolindak	1,43	Naiola, 2000c	
( <i>Baccaurea</i> sp.)			
Tumih	1,06		
( <i>C. rotundatus</i> )			
Balangeran,	1,53		
( <i>S. balangeran</i> )			
Ramin, <i>G bancanus</i>	1,51		

\* nilai rata-rata dari 3 kali sampling.

## KESIMPULAN

Nilai potensial air total pada turgor loss point ( $\Psi_{total}$ ,  $\Psi_{po}$ ) pada suatu spesies tumbuhan, penting untuk diketahui sebagai data dasar interpretasi kemampuan spesies itu terhadap berbagai stres yang berhubungan dengan air. Dalam penelitian ini tampak bahwa nilai ( $\Psi_{total}$  u  $\Psi_{po}$ ) ketiga spesies tumbuhan lahan gambut di kawasan S. Sebangau, Kalimantan Tengah, tidak berbeda nyata; sebaliknya nilai tekanan turgor menunjukkan perbedaan yang signifikan. Di samping rasio penurunan tekanan turgor terhadap potensial air lebih kecil pada tumih, spesies ini akan lebih cepat mengalami pelayuan karena nilai turgor lebih kecil. Jika  $\Psi_{po}$  dikontrol secara genetik, maka nilai ( $T_{total}$  u  $T_{pJ}$ ) seyogyanya demikian, sehingga perlu penelitian lanjut yang lebih mendalam terhadap aspek-aspek ini pada spesies-spesies tumbuhan lahan gambut lain.

## DAFTAR PUSTAKA

**Bowman WD and Roberts SW. 1985.** Seasonal and Diurnal Water Relations Adjustment in Three Evergreen Chaparral Shrubs. *Ecology*, 66: 738-742.

**Chimenti CC and Hall AJ. 1994.** Responses to Water Stress of Apoplastic Water Fraction and Bulk Modulus of Elasticity in

Sunflower (*Helianthus Annuus* L.) Genotypes of Contrasting Capacity for Osmotic Adjustment. *Plant and Soil* 166, 101-107.

**Drew MC. 1987.** Function of Root Tissues in Nutrient and Water Transport. Dalam: *Root Development and Function*. Gregory PJ, Lake JV And Rose DA (Editor). Cambridge University. Cambridge.

**Drew MC and Stolzy LH. 1996.** Growth Under Oxygen Stress. Dalam: *Plant Roots-The Hidden Half*. Waisel Y, Eshel A and Kafkafi U (Editor). Marcel Dekker, New York, Basel, Hongkong.

**Kramer PJ. 1983.** *Water Relations of Plants*. Academic. Orlando.

**Maltby E. 1997.** Developing Guidelines for the Integrated Management and Sustainable Utilization of Tropical Lowland Peat lands. Dalam: *Biodiversity and Sustainability of Tropical Peat lands* (Proceedings of the International Symposium on Tropical Peat lands). Rieley JO and Page SE (Editor). Samara Publishing. Tresaithe, Cardigan, UK.

**Martin ET dan Firth JR. 1983.** *Core Business Studies: Statistics*. Mitchell & Beazley, London.

**Morgan JM. 1977.** Differences in Osmoregulation between Wheat Genotypes. *Nature* 270, 234-235.

**Myers BA and Heales TF. 1986.** Osmotic

- Adjustment, Induced by Drought in Seedlings of Three *Eucalyptus* Species. *Australian journal of Plant Physiology* 13, 597-603.
- Naiola BP. 2000a.** "Pressure Chamber", Alat untuk Mengukur Status dan Tata Air Dalam Tumbuhan. *Berita Biologi* 5 (1), 125-130.
- **2000b.** Studi Perubahan Tata Air (Water Relations) Sebagai Indikator Tahan Stres Salinitas (NaCl) Dua Varietas Kedelai dengan Interpretasi Kurva Pressure-Volume. *Prosiding Lokakarya Penelitian dan Pengembangan Produksi Kedelai di Indonesia*. BPPT-Puslitbang Tanaman Pangan-German Federal Ministry for Education and Research. Him 203-206.
- **2000c.** Tata Air Podolanda (*Baccaurea* sp.), Spesies Jarang Kawasan Hutan Tropik Terdegradasi Akibat Penambangan Emas Di Bojongpanti, Jampang, Pelabuhan Ratu, Jawa Barat. *Berita Biologi* 5 (2), 239-245.
- **and Sinclair R. 1987.** Water Relations of Australian Acacias. *Paper Presented on the 27<sup>th</sup> Annual Meeting of the Australian Society of Plant Physiologists*, University of Western Australia, Perth.
- **dan Tri Murningsih. 1995.** Estimasi Osmotic Adjustment dan Akumulasi Proline sebagai Komponen Osmotikum Sitosolite pada Kedelai dalam Stres Salinitas NaCl. *Prosiding Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional VI*, Jakarta/Serpong 11-15 September 1995.
- **and Osaki M. 2000.** Preliminary Study on the Water Relations of Tropical Peat Land Plants. *Proceedings of the International Symposium on Tropical Peat Lands*. Hokkaido University and The Indonesian Institute of Sciences. Him 173-178.
- , **Syarif F, Juhaeti T, Sambas E, Suciati and Sinclair R.** Seasonal Water Relations of Puspa (*Schima Wallichii* (DC) Korth.), A Dominant Plant Species of a Degraded Tropical Forest Area Under Gold Mining Pressure in Jampang, West Java, Indonesia. *In Press*.
- Rieley JO, Page SE, Limin SH and Winarti. 1997.** The Peat Land Resource of Indonesia and the Kalimantan Peat Swamp Forest Research Project. *Dalam: Biodiversity and Sustainability of Tropical Peatlands* (Proceedings of the International Symposium on Tropical Peatlands). Rieley JO and Page SE (Editor). Samara Publishing. Tresaith, Cardigan, UK.
- Schultz HR and Matthews MA. 1993.** Growth, Osmotic Adjustment, and Cell-Wall Mechanics of Expanding Grape Leaves During Water Deficits. *Crop Science* 33, 287-294.
- Sinclair R and Venables WN. 1983.** An Alternative Method for Analysing Pressure-Volume Curves Produced with the Pressure Chamber. *Plant, Cell and Environment* 6, 211-217.
- Slesser M. 1985.** *Dictionary of Energy*. MacMillian, London.
- Steponkus PJ, Shahan KW and Cutler JM. 1982.** Osmotic Adjustment in Rice. *Dalam: Drought Resistance in Crop with Emphasizes on Rice*. International Rice Research Institute, Los Banos.
- Street HE and Öpik H. 1979.** *The Physiology of Flowering Plants*. 2<sup>nd</sup> Edition. Edward Arnold, London.
- Sutcliffe JF. 1979.** *Plants and Water*. Edward Arnold, London.
- 'Tyree MT and Hammel HT. 1972.** The Measurement of Turgor Pressure and the Water Relations of Plants by the Pressure-Bomb Technique. *Journal of Experimental Botany* 23, 267-282.
- **and Jarvis PG. 1982.** Water in Tissues and Cells. *Dalam: Physiological Plant Ecology II. Encyclopedia of Plant Physiology* 12B, 35-77. Springer-Verlag, Berlin.
- Wenkert W. 1980.** Measurement of Tissue Osmotic Pressure. *Plant Physiology* 65, 614-617.
- Yonebayashi K, Okazaki M, Kaneko N and Funakawa S. 1997.** Tropical Peatland Soil Ecosystems in Southeast Asia. *Dalam: Biodiversity and Sustainability of Tropical Peatlands* (Proceedings of the International Symposium on Tropical Peatlands). Rieley JO and Page SE (Editor). Samara Publishing. Tresaith, Cardigan, UK.