

**STRUKTUR INTERNAL TRANSPORT OKSIGEN PADA
PNEUMATOPHORE AKAR MANGROVE
Sonneratia alba J. Smith**

Hery Purnobasuki^{1*}

¹Departemen Biologi FST Universitas Airlangga

Jl. Mulyorejo (Kampus C Unair)

Surabaya-60115

^{*}hery-p@fst.unair.ac.id

ABSTRAK

Sistem pengangkutan udara sangat penting bagi tumbuhan yang hidup di habitat tergenang dan kekurangan oksigen (anaerobik), karena menyediakan jalur internal bagi ketersediaan oksigen. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui anatomi pneumatophore pada akar mangrove *Sonneratia alba* khususnya sistem ruang interseluler. Pembuatan sediaan dilakukan dengan metode sayatan parafin dan maserasi, serta pengamatan mikroskop cahaya digunakan untuk mengamati data struktur anatomi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pembentukan ruang udara pada akar *S. alba* terjadi dengan cara perluasan dan pemisahan sel (schizogenous) dan meningkatnya volume ruang udara terjadi seiring dengan perkembangan akar dari arah meristem ke jaringan yang lebih tua. Pembentukan ruang gas terjadi awal pada 3-5 mm setelah pucuk akar. Awalnya sel-sel korteks berbentuk bulat pada sayatan melintang, selanjutnya menjadi dua bentuk sel: sel silinder dan sel lengan, yang terintegrasi membentuk ruang udara. Dimana bentuk sel lengan bervariasi, bentuk Y, T, I dan X. Rata-rata dimensi sel-sel korteks meningkat lebih dari 1,3 kali pada arah vertikal dan lebih dari 3,3 kali arah horizontal. Pada saat perkembangan akhir, struktur ruang udara berbentuk tabung panjang tanpa penyekat dengan sejumlah pori-pori pada dinding lateral. Pori ini diduga berfungsi sebagai interkoneksi antar tabung rongga udara dan sebagai jalur radial transport internal udara.

Keywords: anaerobik, pneumatophore, ruang udara, schizogenous, *S. alba*,

PENDAHULUAN

Genangan air dan tipe substrat menyebabkan kondisi anaerobik yang dapat mempengaruhi kehidupan tumbuhan. Tumbuhan yang hidup dalam kondisi kekurangan oksigen akan merespon dalam berbagai bentuk adaptasi, baik dalam hal morpho-anatomi atau fisiologi pada berbagai organ terutama akar. Akar merupakan organ yang membutuhkan oksigen sangat banyak. Kondisi substrat

yang tergenang mengakibatkan akar mengalami hipoksia sehingga respirasi terhalangi. Oleh karena itu perubahan struktur morfologi dan anatomi akar menjadi penting agar tumbuhan tetap survive.

Tumbuhan mangrove beradaptasi dengan karakter habitat yang berlumpur, berpasir, tergenang dan cenderung anaerobik. Sebagian besar jenis mangrove, termasuk diantaranya *Sonneratia alba*

beradaptasi terhadap kondisi anaerobik dengan mengembangkan sistem akar yang unik dan rongga udara di dalamnya (Tomlinson 1986, Hogarth 1999). Pneumatophore adalah salah satu bentuk keunikan akar mangrove yang berperan dalam fasilitasi penyediaan oksigen bagi bagian akar yang terbenam dalam substrat yang tergenang.

Yabuki et al. (1990a, b) menunjukkan bahwa pneumatophore dari beberapa jenis mangrove berperan juga dalam proses fotosintesis pada bagian yang berklorofil di bawah kutikula. Oksigen hasil fotosintesis di pneumatophore dapat berdifusi ke dalam akar bawah substrat dan memfasilitasi respirasi aerobik dalam substrat anaerobik.

Ruang udara dalam jaringan akar (aerenchyma) berfungsi memfasilitasi transport internal oksigen (Armstrong 1979; Jackson & Armstrong 1999). Aerenchyma berperan penting bagi spesies lahan basah, namun masih sedikit informasi tentang perkembangan dan strukturnya dalam sistem akar mangrove. Keberadaan organ pneumatophore dan rongga udara dalam jaringan memfasilitasi difusi oksigen dan tingkat kecukupan respirasi seluler (Curran et al. 1986; Gill 1970).

Dalam penelitian ini diamati struktur anatomi dan pembentukan ruang udara (aerenchyma) pada jaringan korteks pneumatophore untuk melihat peranannya dalam hal sistem transport oksigen pada akar mangrove *Sonneratia alba*.

METODE DAN CARA KERJA

Sampel pneumatophore akar *Sonneratia alba* dikoleksi dari komunitas mangrove di tepi Jembatan Suramadu sisi Surabaya, Jawa Timur (7°12'28.82''S 112°46'33.35''T) (7°12'30.90''S

112°46'32.58''T). Sampel pneumatophore dikoleksi saat air surut dengan memotong sejajar sumbu pneumatophore sepanjang 5 cm diukur mulai ujungnya dan segera difiksasi dalam botol sampel.

Pembuatan sediaan histologi dilakukan di Laboratorium Histologi Departemen Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari sampai dengan Juli 2012.

Pembuatan Sediaan Histologi

Sampel disiapkan untuk metode sayatan parafin standar. Fiksasi menggunakan larutan FAA (70% ethanol, 10% formalin, 5% glacial acetic acid - 90:5:5). Udara dalam jaringan sampel dihilangkan dengan proses aspirasi beberapa kali menggunakan pompa vakum (Model SW-20, Sato Vacuum Machinery, Japan). Sampel didehidrasi dalam seri larutan etanol-xilene (50, 70, 85, 95 and 100% etanol, etanol-xilene 1:1, xilene 100%) dan ditanam dalam blok parafin (59°C). Sampel disayat secara melintang dan memanjang (ketebalan 8-12 µm) dengan mikrotom putar (HM 350 Microm, Heidelberg Germany), selanjutnya diwarnai dengan Safranin O-Fast Green (Johansen, 1940; O'Brian & McCully 1981; Sanderson 1994) dan ditempel secara permanen dengan entelan. Pengamatan sediaan dilakukan dengan mikroskop cahaya (BX 50 Olympus Co. Japan).

Untuk sediaan maserasi dilakukan untuk pengamatan sel korteks penyusunan rongga udara. Sampel potongan pneumatophore disayat tipis ketebalan kurang lebih 1 mm sepanjang 1,5 cm. Bahan dalam larutan fiksatif diaspirasi untuk menghilangkan udara, kemudian sampel dimasukkan dalam tabung reaksi

yang berisikan larutan campuran asam asetat glasial dan 6% hidrogen peroksida (1:1) selama 36 jam dalam oven suhu 60°C. Tabung reaksi digoyang-goyang secara perlahan hingga bahan didalamnya dapat terpisahkan selnya, untuk mempercepat pemisahan sel dapat juga dibantu dengan mengaduk secara perlahan menggunakan tangkai gelas. Bahan yang termaserasi dicuci perlahan dengan akuades untuk menghilangkan kandungan asam dari larutan. Selanjutnya bahan yang termaserasi diwarnai dengan 1% Safranin O dan didehidrasi setelah dibilas dengan akuades. Untuk mengamati sel hasil maserasi dilakukan dengan cara penyedotan dengan pipet lalu ditetaskan di gelas objek lalu ditutup dengan gelas penutup dan siap diamati di bawah mikroskop.

HASIL

Morfologi akar *Sonneratia alba*

Tumbuhan dewasa dari *S. alba* memiliki sistem perakaran yang unik dan tersusun atas beberapa jenis akar. Ada empat tipe akar dan mirip dengan akar *Avicennia marina* (Purnobasuki & Suzuki 2004, 2005), yaitu akar kabel, pneumatophore, akar jangkar dan akar nutrisi (Gambar 1). Secara morfologi pneumatophore merupakan tipe akar dari *S. alba* yang arah pertumbuhannya ke atas sejajar dengan pohon atau melawan gravitasi. Sedangkan tipe akar lainnya terbenam dalam substrat.

Histologi Jaringan Korteks

Dari hasil pengamatan sayatan melintang tampak bahwa dari daerah pucuk apeks pneumatophore (500 µm) hampir semua sel-sel korteks berbentuk bulat dan ruang antar sel belum tampak

jelas (Gambar 2A), serta bentuknya berjajar atau berbaris secara radial dari pusat ke tepi akar. sehingga belum jelas terbentuk ruang udara (aerenchyma). Gambaran ini sejalan dengan hasil sayatan memanjang (Gambar 2D). Pada tahap awal ini belum dapat dibedakan secara jelas sel-sel penyusun korteks dalam dan korteks luar. Namun pembatas korteks dengan saluran pembuluh sudah dapat terlihat dengan adanya struktur endodermis yang tergambar lebih tebal dan gelap intensitasnya (Gambar 2A).

Sel-sel korteks ini berasal dari sel-sel meristem pada pucuk pneumatophore yang mengalami pembelahan periklinal. Dari hasil pembelahan dan perluasan sel, ruang udara sudah mulai tampak pada sayatan 1 mm dari pucuk pneumatophore (Gambar 2B), yang ditunjukkan dengan semakin banyaknya ruang interseluler. Dari sayatan memanjang tampak bahwa ruang interseluler ini semakin memanjang sejajar sumbu pneumatophore (Gambar 2E). Bentuk dari sel-sel korteks sudah mulai tampak jelas. Pada sayatan di atas 5 mm dari pucuk pneumatophore tampak ruang udara semakin melebar dan memanjang (Gambar 2C, F). Bentuk sel kortek penyusun dinding ruang udara adalah rectangular atau polygonal. Pada satu ruang udara disusun oleh lebih dari 3 sel korteks (5-8 sel) yang bentuknya secara individual beragam.

Penyusun dari jaringan korteks ternyata dapat dibedakan menjadi 2 lapisan, yaitu korteks luar dengan sel-sel yang relatif lebih memanjang bentuknya dibandingkan dengan sel-sel penyusun lapisan korteks dalam (Gambar 3). Dari perkembangan selanjutnya tampak bahwa ruang-ruang udara lebih banyak dibentuk di lapisan korteks dalam.

Pada gambar 4 secara jelas menunjukkan bahwa struktur dari ruang udara tersusun dari sel-sel yang berdiferensiasi membentuk struktur memanjang dan berlekuk (sel lengan) dan sel-sel membulat (sel silinder). Secara terintegrasi sel lengan dan sel silinder membentuk semua ruang-ruang udara yang terbentuk dalam korteks pneumatophore. Intensitas warna pada sel lengan tampak lebih gelap dibandingkan sel silinder. Secara umum dari Gambar 4 terlihat kumpulan ruang udara pada pneumatophore *S. alba* menyerupai bentuk jaringan spons atau broad lacunose cortex.

Untuk memastikan bentuk tiga dimensi dari sel-sel lengan penyusun rongga udara, maka dari hasil maserasi didapatkan bahwa dalam jaringan korteks pneumatophore *S. alba* ada 4 tipe sel, yaitu bentuk I, X, Y dan T (Gambar 5).

Dari tabel 1 bisa ditunjukkan bahwa rerata dari dimensi memanjang dari lapisan sel-sel korteks dalam meningkat 1.4 kali (arah vertical) dan 3.8 kali (arah horizontal). Hal ini menunjukkan bahwa secara bertingkat pematangan sel korteks berjalan searah dengan pematangan jaringan pneumatophore.

Pada pengamatan sayatan memanjang pada jaringan yang matang jauh dari pucuk pneumatophore (pada saat perkembangan akhir) tampak bahwa struktur ruang udara berbentuk tabung panjang yang memanjang sejajar dengan sumbu akar tanpa penyekat dengan masing-masing ujungnya meruncing dan dari hasil maserasi terdapat sejumlah pori-pori pada dinding lateral (Gambar 5A, B).

PEMBAHASAN

Awal pembentukan interseluler sel dimulai pada jarak 3-5 mm dari pucuk pneumatophore. Dari hasil pengamatan

tidak terdeteksi adanya kolaps, lisis atau kematian sel dalam pembentukan ruang udara (aerenchyma) pada species ini, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pembentukannya adalah dengan jalan perluasan dan pemisahan sel atau schizogenous. Hal ini disebabkan dalam proses perkembangannya sel-sel korteks sejalan dengan pematangan jaringan korteks, sehingga sel-sel semakin membesar dan saling memisahkan dan membuat ruang interselular semakin meluas. Perluasan ini sejalan dengan semakin jauh jarak dari pucuk semakin membesar ruang udara tersebut. Mekanisme rinci yang menjelaskan tentang hal ini memang masih belum jelas, namun kemungkinannya adalah sangat kompleks dan dipengaruhi oleh beberapa penyebab lain selain faktor genetik (Evans, 2003).

Pembentukan ruang udara pada pneumatophore *S. alba* mempunyai kemiripan dengan species mangrove lainnya, *Avicennia marina* (Purnobasuki & Suzuki, 2005). Hasil ini juga mengkonfirmasi paper Curran (1985) yang menyatakan terdapatnya pembentukan ruang udara secara schizogenous pada *A. marina*. Perluasan secara longitudinal (memanjang) dan radial (melebar) dari perkembangan ruang udara juga sama dengan beberapa species lainnya yang dilaporkan dalam pustaka, seperti halnya pada *Filipendula ulmaria* dan *Caltha palustris* (Sminorff & Crawford, 1983), *Rumex* sp. (Laan et al. 1989), dan *Luffa cylindrica* (Shimamura et al. 2007).

Lapisan luar dari jaringan korteks tampak lebih memanjang dan tebal, diasumsikan akan menggantikan peranan epidermis bagi perlindungan akar, kondisi ini menyerupai fungsi eksodermis pada akar monokotil, berperan mencegah dan

mengurangi keluarnya oksigen secara difusi radial (Smirnoff & Crawford 1983; Justin & Armstrong 1987). Hal ini merupakan ciri khas pada *S. alba*.

Dari hasil sayatan melintang dan memanjang dapatlah digambarkan bahwa secara terintegrasi bentuk dari ruang udara per unitnya adalah bentuk tabung memanjang dengan ujung runcing dan secara keseluruhan saling berdampingan satu unit dengan unit lainnya secara berkesinambungan. Bentuk tabung berkesinambungan dari aerenchyma berperan penting dalam transport oksigen ke seluruh bagian akar. Selain pengangkutan oksigen arah sejajar dengan sumbu pneumatophore, ditenggarai bahwa juga terjadi penyebaran udara ke arah samping (radial), hal ini difasilitasi dengan adanya lubang-lubang kecil (pori-pori) di antara perlekatan sel-sel korteks pembentuk ruang udara. Secara diagramatis dapat direkonstruksikan seperti Gambar 6. Banyaknya pori-pori kecil di dinding aerenchyma menunjang orthographical transport oksigen tegak lurus terhadap sumbu akar atau transport ke arah lateral atau samping.

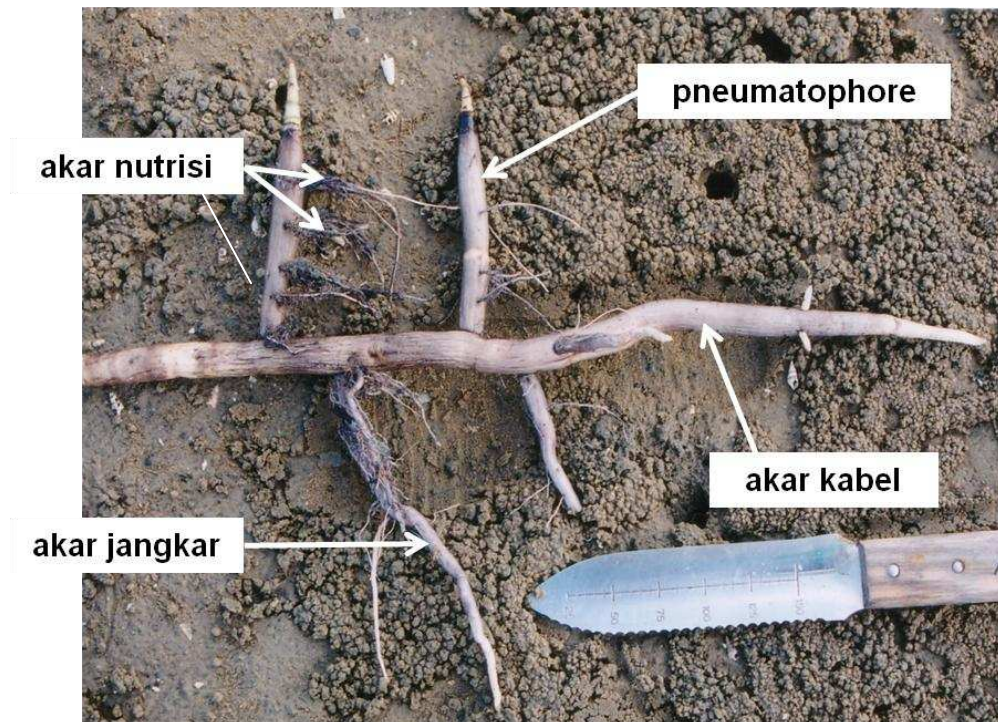
Secara umum struktur anatomi ruang udara yang berfungsi sebagai alat transport oksigen dalam jaringan pneumatophore *S. alba* ini sesuai dengan yang dijelaskan oleh Baylis (1950) terkait pemanjangan dan perluasan radial ruang udara pada pneumatophore, serta adanya pori-pori yang tampak pada sayatan membujur/memanjang. Kesinambungan dari keseluruhan unit ruang udara yang terbentuk menciptakan jalur transport oksigen jarak jauh secara apoplas di jaringan pneumatophore. Struktur ini dapat memfasilitasi secara optimum kebutuhan oksigen dan memperkecil resiko kekurangan oksigen (asphyxiation)

jaringan akar pada mangrove, terutama akar yang terbenam dalam substrat pada saat tergenang air atau kondisi laut pasang (William & Barrber 1961; Skelton & Allaway 1996). Dalam hal ini keberadaan ruang udara (aerenchyma) mempunyai dua fungsi dasar yaitu sebagai sistem transportasi dan jaringan penyimpan oksigen untuk pernapasan saat laut pasang bagi tumbuhan mangrove.

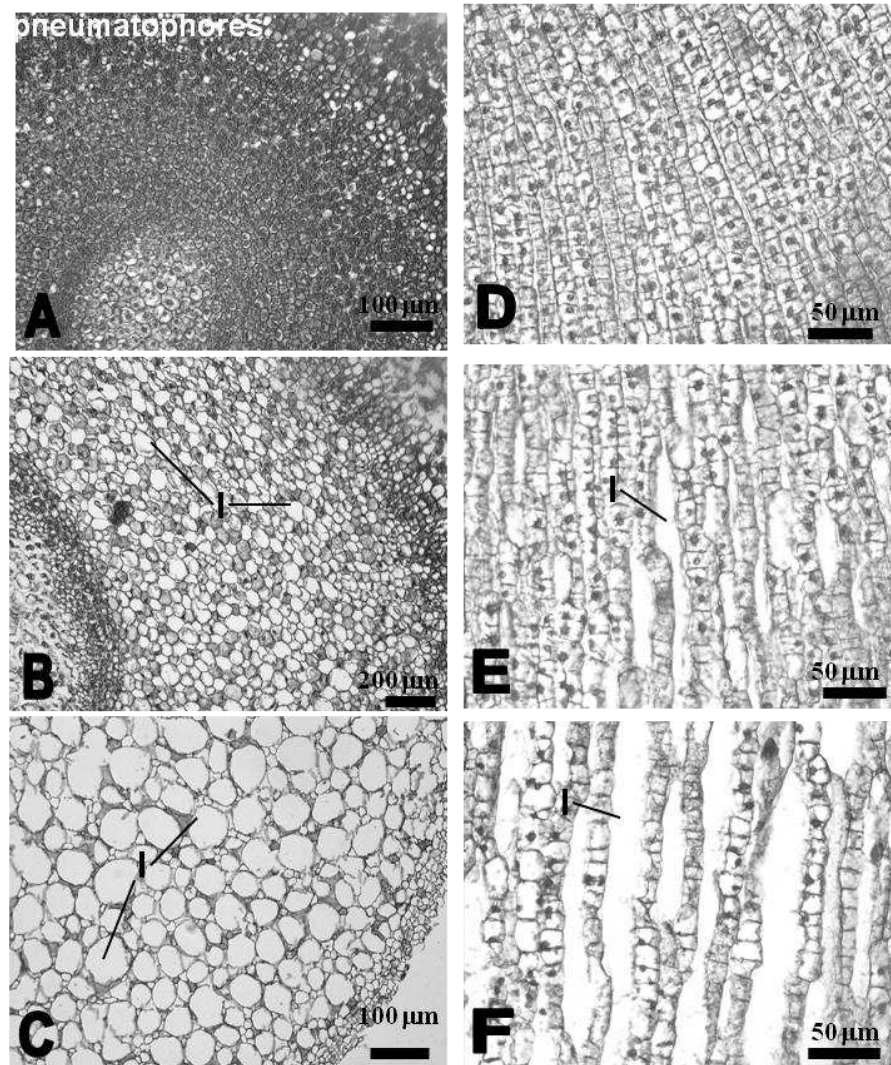
DAFTAR PUSTAKA

- Armstrong, W. 1979. Aeration in higher plants. *Advance of Botanical Research* 7: 275-332.
- Baylis, G.T.S. 1950. Root system of the New Zealand mangrove. *Transactions of the Royal Society of New Zealand* 78: 509-514.
- Curran, M. 1985. Gas movement in the roots of *Avicennia marina* (Forks.) Vierh. *Australia Journal of Plant Physiology* 12: 97-108.
- Curran, M., Cole, M. and W.G. Allaway. 1986. Root aeration and respiration in young mangrove plants [*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.] *Journal of Experimental Botany*. 37: 1225-1233.
- Evans, D.E. 2003. Aerenchyma formation. *New Phytologist* 161:35-49.
- Gill, C. J. 1970. The flooding tolerance of woody plants. *Forest Abstract* 31:671-678.
- Hogarth, P.J. 1999. *The Biology of mangrove*. Oxford University Press. Oxford-NewYork.
- Jackson MB, Armstrong W (1999) Formation of aerenchyma and the process of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence. *Plant Biology* 1:274-287.

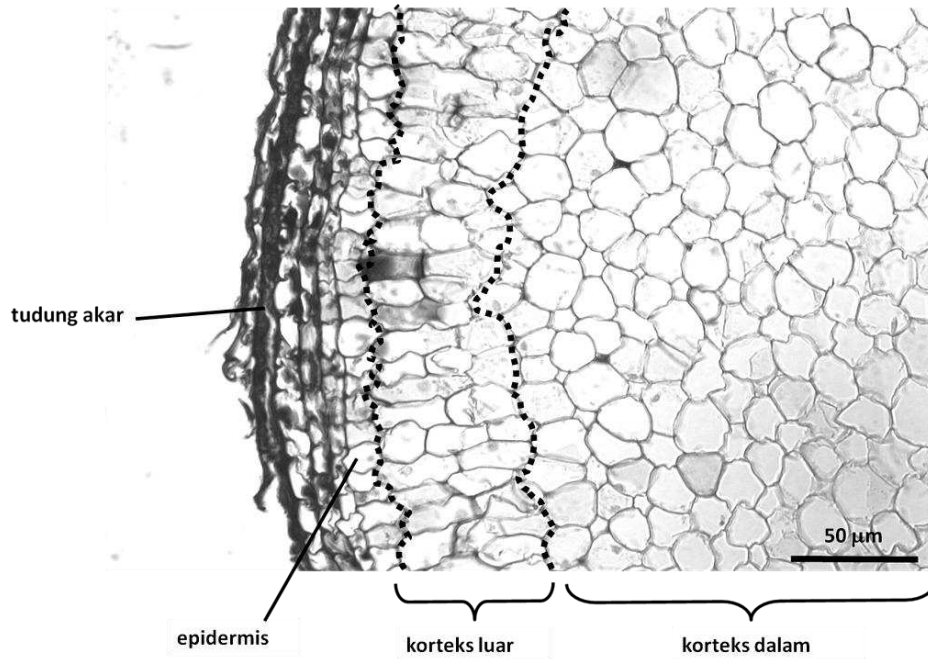
- Kitaya, K., K. Yabuki, M. Kiyota, A. Tani, T. Hirano, and I. Aiga. 2002. Gas exchange and oxygen concentration in pneumatophores and prop roots of four mangrove species. *Trees* 16:155-158.
- Laan. P., Berrevoets, M.J., Lythe, S., Armstrong, W., and Blom, C.W.M. 1989. Root morphology and aerenchyma formation as indicators of the flood-tolerance of *Rumex* species. *Journal of Ecology*;77:693–703.
- Purnobasuki, H. 2011. Structure of Lenticels on the Pneumatophores of *Avicennia marina*: as aerating device deliver oxygen in mangrove's root. *Jurnal BIOTA* 16 (2): 309–315.
- Purnobasuki, H. and Suzuki, M. 2004. Aerenchyma formation and porosity in root of a mangrove plant, *Sonneratia alba* J. Smith. *Journal of Plant Research* 117: 465–472.
- Purnobasuki, H. and Suzuki, M. 2005. Functional anatomy of air conducting network on the pneumatophores of a mangrove plant, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Asian Journal of Plant Sciences* 4: 334–347.
- Shimamura, S., Yoshida, S. and Mochizuki, T. 2007. Cortical aerenchyma formation in hypocotyl and adventitious roots of *Luffa cylindrica* subjected to soil flooding. *Annals of Botany* 100 (7): 1431-1439.
- Skelton, N.J. and W.G. Allaway. 1996. Oxygen and pressure changes measured in situ during flooding in roots of the grey mangrove *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. *Aquatic Botany* 54: 165-175
- Smirnoff, N. & R.M.M. Crawford. 1983. Variation in the structure and response to flooding of root aerenchyma in some wetland plants. *Annals of Botany* 51: 237-249.
- Tomlinson, P.B. 1986. The botany of mangroves. Cambridge University Press, Cambridge
- William, W.T. and Barber, D.A. 1961. The functional significance of aerenchyma in plants. *Society of Experimental Biology Symposium* 15: 132-144.
- Yabuki, K., Kitaya, Y., and Sugi, J. 1990a. Studies on the function of mangrove pneumatophores (1). *Environmental Control of Biology* 28:95–98.
- Yabuki, K., Kitaya, Y., and Sugi, J. 1990b. Studies on the function of mangrove pneumatophores (2). *Environmental Control of Biology* 28:99–102.



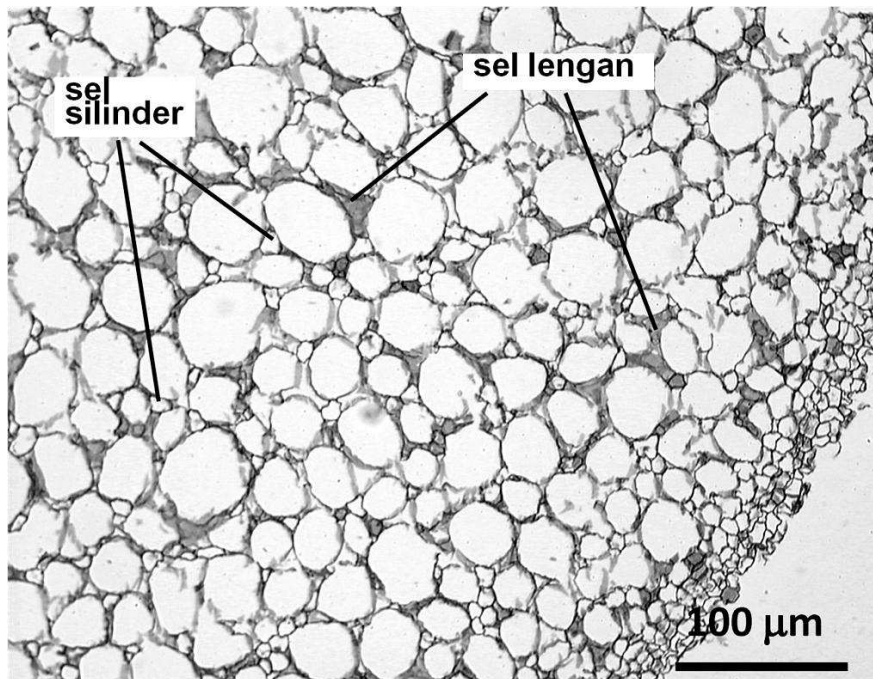
Gambar 1. Potongan akar *S. alba* yang menunjukkan adanya 4 tipe akar. Pneumatophore merupakan tipe akar yang muncul ke permukaan atau tumbuh vertikal sejajar dengan pertumbuhan batang.



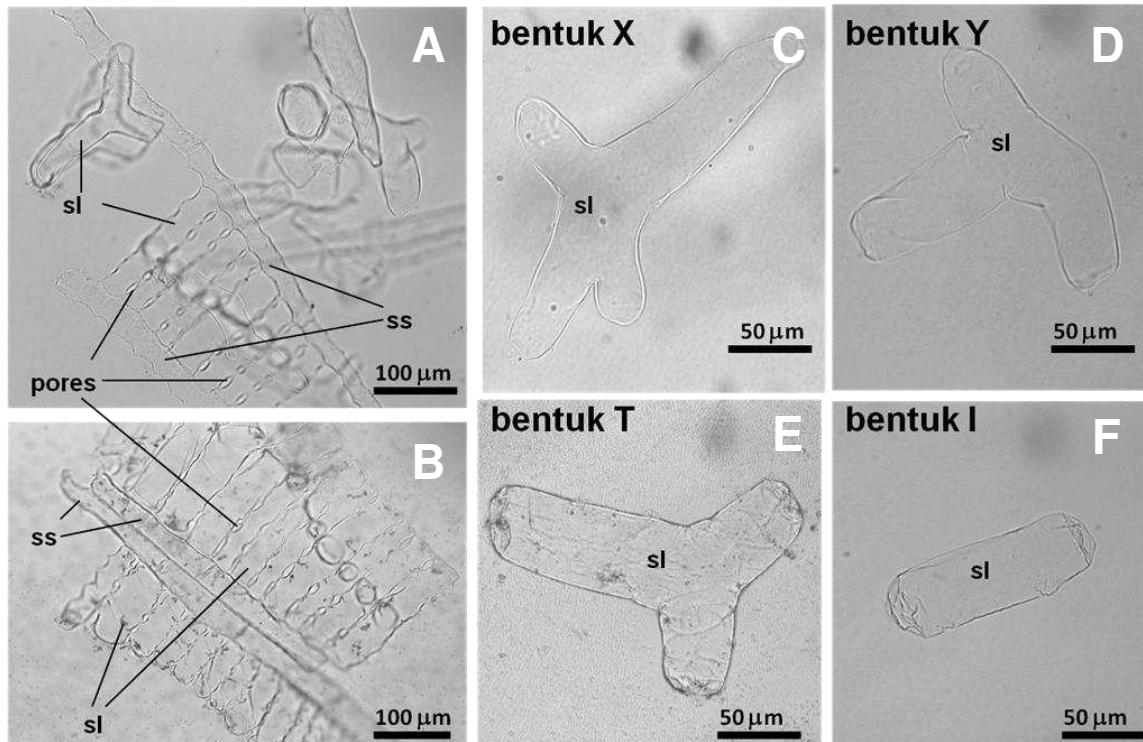
Gambar 2. Seri sayatan melintang (A-C) dan sayatan memanjang/membujur (D-F) pneumatophore *S. alba* pada jarak yang berbeda dari pucuk pneumatophore. **A.** 500 μm (Bar=100 μm); **B.** 1 mm (Bar=200 μm); **C.** 8 mm (Bar=100 μm); **D.** 200 μm (Bar=50 μm); **E.** 1 mm (Bar=50 μm); **F.** 6 mm (Bar=50 μm). en. endodermis; I. ruang interseluler.



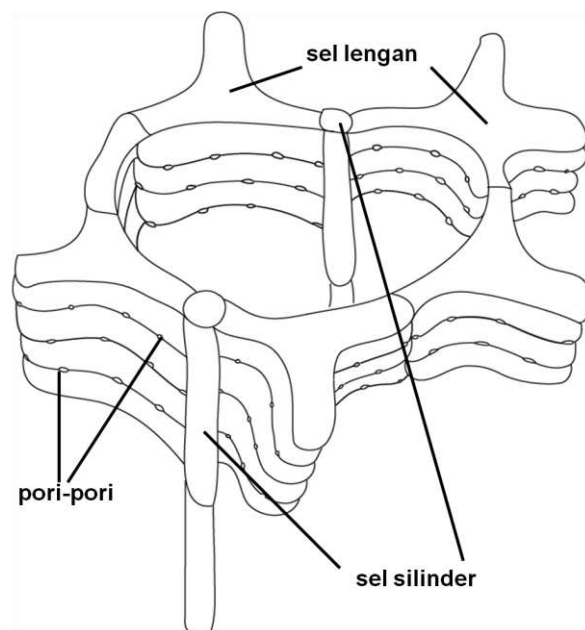
Gambar 3. Sayatan melintang yang menggambarkan struktur jaringan korteks pneumatophore *S. alba*. Lapisan korteks berdasarkan bentuk selnya ada dua, yaitu korteks luar dan korteks dalam.



Gambar 4. Jaringan korteks dewasa pneumatophore *S. alba* yang telah dipenuhi ruang udara (aerenchyma). Penyusun masing-masing ruang udara terdiri dari sel lengan (bentuk memanjang dan berlekuk, intensitas warna lebih gelap) dan sel silinder (bentuk bulat dan tidak terwarnai).



Gambar 5. Variasi bentuk-bentuk sel lengan penyusun ruang udara pada jaringan korteks pneumatophore *S. alba*. **A, B.** Hasil maserasi yang masih menunjukkan perlekatan antara sel lengan (sl) dan sel silinder (ss); **C.** sel lengan bentuk X; **D.** sel lengan bentuk Y; **E.** sel lengan bentuk T; dan **F.** Sel lengan bentuk I.



Gambar 6. Skematik rekontruksi susunan satu unit tabung ruang udara (aerenchyma) pada pneumatophore *S. alba*. Ruang udara terbentuk dari penyatuan sel lengan dan sel silinder.

Tabel 1. Diameter, jumlah sel korteks dan kolom sel radial pada beberapa jarak dari pucuk pneumatophore of *Sonneratia alba*.

Jarak dari pucuk pneumatophore (mm)	Diameter (mm)	Jumlah sel-sel korteks luar (sayatan melintang) (n)	Jumlah jajaran radial sel-sel pada korteks dalam (sayatan memanjang) (n)
Pneumatophores			
2	2.25 ± 0.02	430 ± 12.26	38 ± 7.44
6	3.50 ± 0.03	428 ± 15.04	37 ± 4.62
10	4.25 ± 0.03	445 ± 10.98	36 ± 5.41
20	6.88 ± 0.02	451 ± 20.43	36 ± 3.22