

# **Adaptasi Tumbuhan Mangrove Pada Lingkungan Salin Dan Jenuh Air**

**Onrizal**

**Jurusan Kehutanan  
Fakultas Pertanian  
Universitas Sumatera Utara**

## **PENDAHULUAN**

Hutan mangrove merupakan formasi hutan yang tumbuh dan berkembang pada daerah landai di muara sungai, dan pesisir pantai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Oleh karena kawasan hutan mangrove secara rutin digenangi oleh pasang air laut, maka lingkungan (tanah dan air) hutan mangrove bersifat salin dan tanahnya jenuh air. Vegetasi yang hidup di lingkungan salin, baik lingkungan tersebut kering maupun basah, disebut dengan halopita (*halophytic*).

Lingkungan salin terutama menyebabkan 2 (dua) bentuk cekaman (*stress*) pada tumbuhan, yaitu cekaman osmotik (*osmotic stress*) dan cekaman keracunan (*toxicity stress*) (Jacoby, 1999). Poljakoff-Mayber dan Lerner (1999) menyatakan bahwa selain menyebabkan kedua hal di atas, akar tumbuhan halopita, termasuk vegetasi mangrove, juga akan mengalami cekaman oksigen yang sedikit (*low oxygen pressure stress*). Cekaman oksigen yang dialami akar tumbuhan mangrove terjadi karena tanahnya secara periodik digenangi oleh pasang air laut.

Selain itu kondisi lingkungan di atas, sebagian besar hutan mangrove tumbuh baik di daerah tropis yang memiliki radiasi sinar matahari dan suhu yang umumnya tinggi. Sehingga tumbuhan mangrove juga mengalami cekaman radiasi sinar matahari dan suhu yang tinggi.

Berbagai kondisi lingkungan ekstrim tersebut, yakni lingkungan salin, tanah jenuh air, radiasi sinar matahari dan suhu yang tinggi akan menyebabkan terganggunya metabolisme tumbuhan dan pada akhirnya akan menyebabkan rendahnya produktivitas atau laju pertumbuhan tumbuhan. Walaupun demikian, hutan mangrove dapat tumbuh dengan baik pada kondisi lingkungan ekstrim tersebut dan berdasarkan berbagai pustaka diketahui bahwa hutan mangrove memiliki produktivitas yang tinggi.

Tulisan ini akan mengulas adaptasi vegetasi mangrove terhadap kondisi habitatnya yang ekstrim berdasarkan berbagai sumber pustaka, sehingga akan didapatkan gambaran bagaimana proses metabolisme vegetasi mangrove di bawah kondisi habitat yang ekstrim tersebut dapat berjalan dengan baik, walaupun diyakini masih ada yang bersifat dugaan dan perlu dikaji lebih lanjut.

## ADAPTASI MANGROVE

Pada dasarnya karakteristik dari ekosistem mangrove adalah berkaitan dengan keadaan tanah, salinitas, penggenangan, pasang surut, dan kandungan oksigen tanah. Adapun adaptasi dari tumbuhan mangrove terhadap habitat tersebut tampak pada fisiologi dan komposisi struktur tumbuhan mangrove (Istomo, 1992).

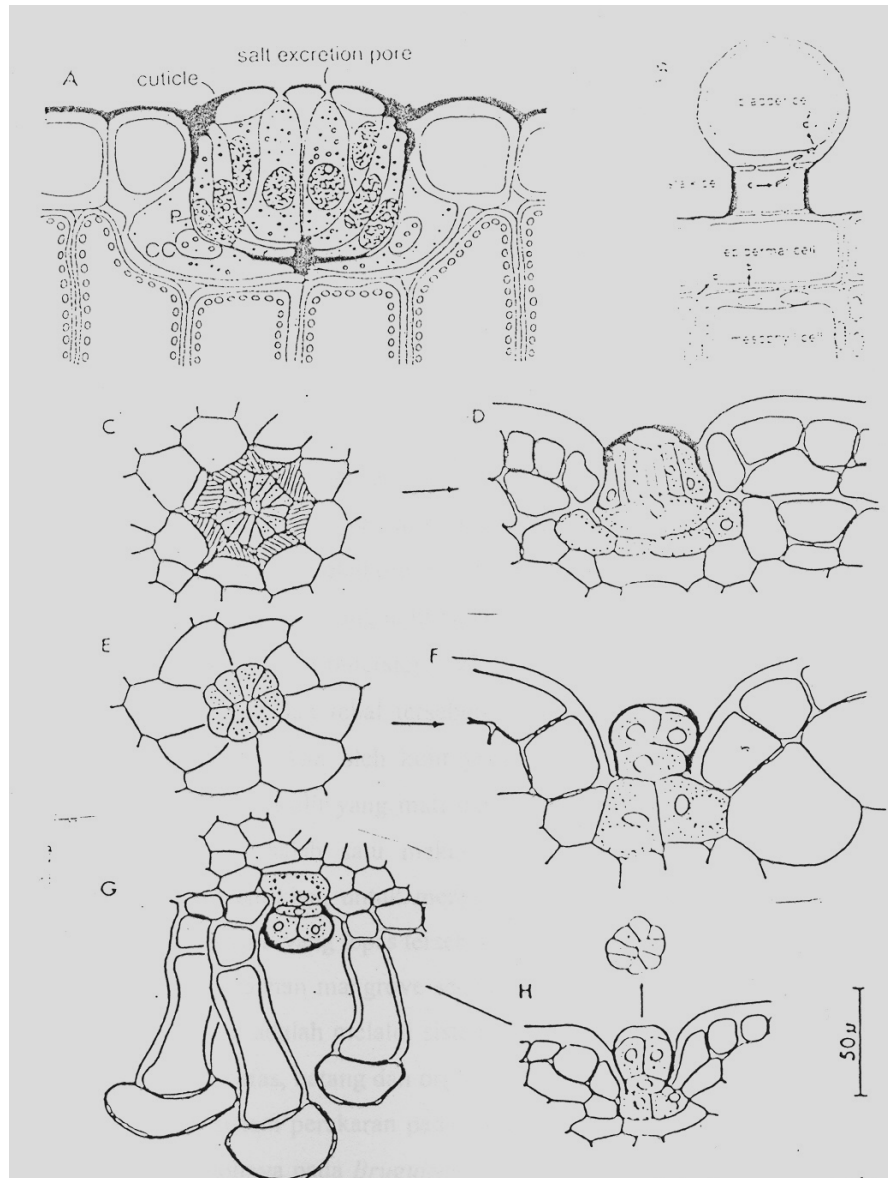
Tumbuh-tumbuhan mempunyai adaptasi anatomi dan fisiologi yang berkembang untuk kelangsungan hidupnya. Pada tumbuhan halofita, seperti halnya mangrove, hal ini penting untuk meningkatkan pertumbuhan yang terbaik di bawah kondisi salin (Shannon *et al.*, 1994).

### Adaptasi Anatomi Mangrove

Vegetasi mangrove memiliki adaptasi anatomi dalam merespon berbagai kondisi ekstrim tempat tumbuhnya, seperti (1) adanya kelenjar garam pada golongan *secreter*, dan kulit yang mengelupas pada golongan *non-secreter* sebagai tanggapan terhadap lingkungan yang salin, (2) sistem perakaran yang khas, dan lentisel sebagai tanggapan terhadap tanah yang jenuh air, (3) struktur dan posisi daun yang khas sebagai tanggapan terhadap radiasi sinar matahari dan suhu yang tinggi.

Beberapa jenis tumbuhan mangrove toleran terhadap konsentrasi garam di jaringannya dan garam ini dikeluarkan melalui kelenjar-kelenjar khusus yang terdapat pada daunnya. Menurut Scholander (1968) dalam Tanasale (1997), tumbuhan mangrove terbagi atas dua golongan, yaitu (a) *secreter*, yakni jenis-jenis mangrove yang memiliki struktur kelenjar garam (*salt gland*) seperti *Avicennia* spp., *Aegiceras* spp., dan *Aegialitis* spp., dan (b) *non-secreter*, yaitu jenis-jenis mangrove yang tidak memiliki struktur kelenjar garam seperti *Rhizophora* spp., *Bruguiera* spp., *Lumnitzera* spp., dan *Sonneratia* spp.

Lebih lanjut Shannon *et al.*, (1994) menyatakan bahwa pada umumnya adaptasi terhadap salinitas tergolong rumit yang merupakan formasi dari struktur kelenjar garam yang terdapat pada daun (Gambar 1) atau permukaan epidermis batang.



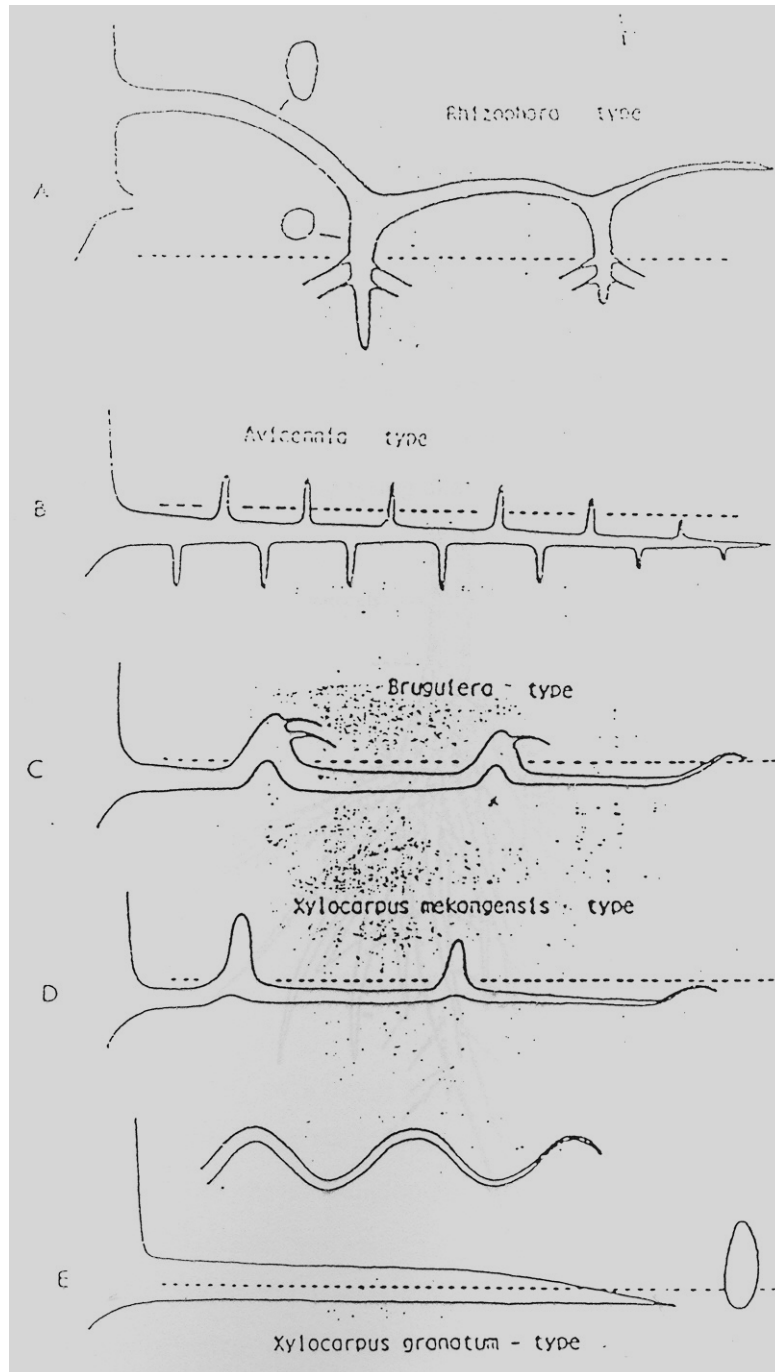
Gambar 1. Kelenjar garam. (A) penampang melintang kelenjar garam pada daun *Limonium gmelini*. Secara relatif kelenjar terdiri dari 16 sel kelenjar, dimana pada simpas kontak via 4 sel pengumpul (CC: *collecting cells*) dengan sel mesofil mengandung kloroplas. Sel-sel kelenjar tertutup di permukaan daun oleh lapisan lilin (terlihat berwarna hitam) dan hanya terbuka pada tempat khusus, yaitu pori (P) (Ruhland, 1915 dalam Mohr dan Schopfer, 1995). (B) diagram melintang dari rambut 'kandung kemih' (*bladder hair*) pada daun *Atriplex spongiosa*. Empat tempat (membran) yang dilalui dalam transpor NaCl: transisi dari apoplas ke simpas (a), pergerakan ke vakuola sel epidermal (*epidermal cell*) yang dapat menyimpan NaCl (b), pergerakan dari sel tangkai (*stalk cell*) ke sel 'kandung kemih' yang berhubungan dengan retikulum endoplasmik yang memotong vesikel (c), dan peleburan (fusi) vesikel dengan tonoplas sel 'kandung kemih.' (Fahn, 1988 dalam Mohr dan Schopfer, 1995). (C, D) *Aegiceras corniculatum*, (E, F) *Acanthus ilicifolius*, dan (G, H) *Avicennia marina* (Tomlinson, 1986).

Halopita merupakan tumbuhan yang mekanisme pengeluarannya kurang kuat pada sistem akar, seringkali memiliki suatu proses desalinasi pada parenkim daun melalui pengeluaran yang aktif. Pada umumnya pengeluaran garam dalam jumlah kecil saja sudah dapat memperbesar kelangsungan hidup dari tumbuh-tumbuhan yang keberadaannya stres pada garam. Sementara *salt-excretion* secara normal sangat selektif terhadap ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ , tetapi berlawanan dengan ion-ion hara (Shannon *et al.*, 1994).

Sedangkan pada jenis-jenis mangrove *non-secreter* kehilangan garam terjadi ketika daun atau bagian tumbuhan lain gugur (Clogh *et al.*, 1982). Berdasarkan pengamatan, jenis-jenis mangrove *non-secreter* memiliki kulit luar yang mati yang jauh lebih tebal dibandingkan jenis-jenis mangrove yang memiliki kelenjar garam. Kulit luar yang mati pada jenis-jenis *non-secreter* berkisar antara 0,5 – 1 cm (Percival dan Womersley, 1975; Onrizal, 1997). Kulit luar yang mati dan tebal tersebut kemudian mengelupas dan lepas dari tumbuhan serta digantikan oleh kulit yang baru. Penulis berpendapat bahwa mekanisme hilangnya kulit yang mati dan tebal pada jenis-jenis mangrove *non-secreter* merupakan salah satu mekanisme hilangnya garam dari tumbuhan tersebut. Namun demikian, untuk mengetahui berapa besar garam yang hilang melalui hilangnya kulit yang lepas tersebut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Adaptasi tumbuhan mangrove secara anatomi terhadap keadaan tanah dan kekurangan oksigen adalah melalui sistem perakaran yang khas (Gambar 2), dan lentisel pada akar nafas, batang dan organ lainnya (Gambar 3) (Tomlinson, 1986). Ada tiga bentuk sistem perakaran pada tumbuhan mangrove, yaitu (a) akar lutur (*knee roots*), contohnya pada *Bruguiera* spp., yang memberikan kesempatan bagi oksigen masuk ke sistem perakaran, (b) akar nafas (*pneumatophore roots*), contohnya pada *Sonneratia* spp., dan *Avicennia* spp. yang muncul dipermukaan tanah untuk aerasi, dan (c) akar tunjang (*stilt roots*), contohnya pada *Rhizophora* spp. yang berbentuk seperti jangkar, berguna untuk menopang pohon.

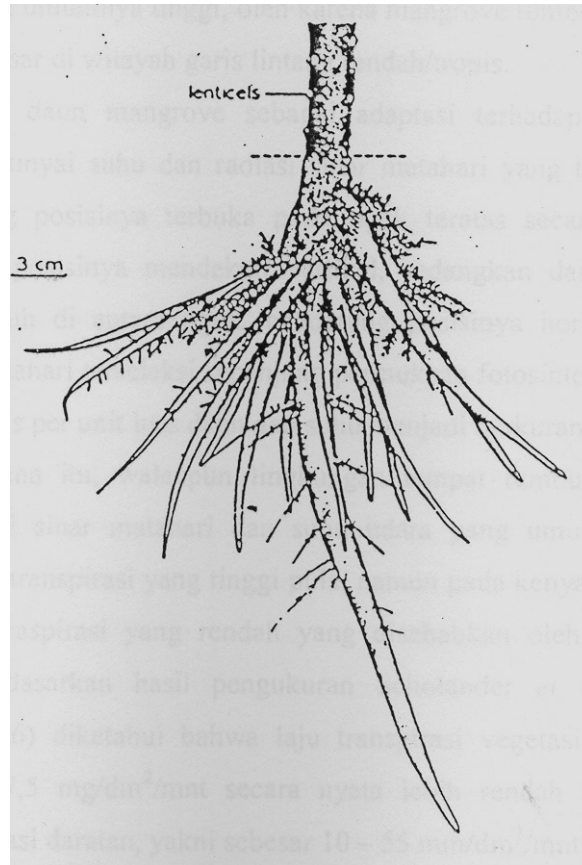
Pada dasarnya sistem perakaran tumbuhan mangrove terdiri dari tiga komponen, yaitu (a) komponen aerasi, yaitu bagian akar yang mencuat ke bagian atas dari sistem perakaran dan berfungsi sebagai pertukaran gas, (b) komponen penyerapan dan penjangkaran, berfungsi untuk membentuk basis penjangkaran pada seluruh sistem dan untuk melakukan penyerapan zat hara, dan (c) komponen jaringan, yaitu bagian horizontal yang meluas dan berfungsi menyatu dengan penyerapan dan penjangkaran dari sistem perakaran (Tomlinson, 1986).



Gambar 2. Skema dari berbagai tipe akar yang khas dari tumbuhan mangrove. Semuanya berkembang dari kiri ke kanan. Garis putus-putus merupakan permukaan substrat.

Akar merupakan organ yang kontak secara langsung dengan lingkungan salin, oleh karena itu akar merupakan suatu struktur dan berfungsi mengatur pengambilan dan transpor ion. Akar merupakan *barrier* utama terhadap pergerakan larutan ke dalam tumbuhan dan sebagai hasilnya konsentrasi ion yang diantarkan ke tunas sangat berbeda dari konsentrasi ion pada medium eksternal (Shannon *et al.*, 1994).

Lawton *et al.* (1985) dalam Shannon *et al.* (1994) membandingkan anatomi akar dari jenis *Avicennia marina* yang mempunyai kelenjar garam (*salt gland*) pada daunnya sebagai kelompok *salt-excrete* dan jenis *Bruguiera gymnorrhiza* yang tidak mempunyai kelenjar garam pada daunnya sebagai kelompok *non-secreter (salt-excluder)*. Perbedaan terlihat pada panjang dan tebalnya pembuluh akar, perkembangan dan posisi dari lapisan kaspari (*casparian strip*), dan diferensiasi jaringan vaskuler. Sub-erisasi sel endodermal dan hipodermal dari *salt-excluder* dimulai dan diakhiri di belakang ujung akar.



Gambar 3. *Rhizophora mangle*. Pada bagian bawah dari sistem akar yang berkembang dari jangkar akar aerial; lentisel pada 'kolom' di atas permukaan substrat (garis putus-putus) (Gill dan Tomlinson, 1977 dalam Tomlinson, 1986).

Selain bentuk akar yang khas dan adanya lentisel di berbagai organ tumbuhan mangrove, kekurangan oksigen juga dapat diatasi dengan adanya lubang-lubang dalam tanah yang dibuat oleh hewan-hewan, misalnya kepiting. Lubang-lubang ini membawa oksigen ke bagian akar tumbuhan mangrove (Ewusie, 1980). Kondisi ini terjadi saat air laut surut, sehingga lantai hutan mangrove saat air laut surut tersebut tidak tergenang air secara keseluruhan.

Hampir semua jenis mangrove, daun-daunnya mempunyai sejumlah kenampakan anatomi yang membatasi hilangnya uap air. Hal ini mencakup kutikula yang tebal, lapisan lilin, dan stomata yang tersembunyi, yang semuanya terdapat hanya pada permukaan abaksial dari beberapa jenis, seperti *Sonneratia* spp., *Osbornia* spp., *Lumnitzera* spp., dan *Laguncularia* spp., (Macnae, 1986 dalam Sukardjo, 1996). Anatomi daun mangrove demikian merupakan adaptasi

terhadap kondisi lingkungan mangrove yang memiliki radiasi sinar matahari dan suhu udara yang umumnya tinggi, oleh karena mangrove tumbuh di daerah pesisir dan sebagian besar di wilayah garis lintang rendah/tropis.

Keunikan daun mangrove sebagai adaptasi terhadap lingkungan yang biasanya mempunyai suhu dan radiasi sinar matahari yang tinggi terlihat pada daun-daun yang posisinya terbuka pada tajuk teratas secara tajam condong, kadang-kadang posisinya mendekati vertikal, sedangkan daun yang ternaungi yang berada jauh di antara tajuk, cenderung posisinya horizontal. Akibatnya radiasi sinar matahari terseleksi sepanjang permukaan fotosintetik luas, sementara pemasukan panas per unit luas daun dan suhu menjadi berkurang.

Oleh karena itu, walaupun lingkungan tempat tumbuh mangrove yang memiliki radiasi sinar matahari dan suhu udara yang umumnya tinggi yang mendorong laju transpirasi yang tinggi pula, namun pada kenyataannya mangrove memiliki laju transpirasi yang rendah yang disebabkan oleh adaptasi anatomi daunnya. Berdasarkan hasil pengukuran Scholander *et al.* (1962) dalam Tomlinson (1986) diketahui bahwa laju transpirasi vegetasi mangrove, yakni sebesar 1,5 – 7,5 mg/dm<sup>2</sup>/mnt secara nyata lebih rendah dibandingkan laju transpirasi vegetasi daratan, yakni sebesar 10 – 55 mm/dm<sup>2</sup>/mnt.

### **Adaptasi Fisiologi Mangrove**

Mangrove sebagai kelompok khusus dari halofita mempunyai kapasitas menahan air yang tinggi dari substrat yang bergaram. Mangrove juga dapat mempertahankan keseimbangan air yang baik karena adanya mekanisme pengaturan yang beragam, seperti perilaku stomata, penyesuaian osmotik, tingkat kesekuleran, dan pengeluaran garam (Tomlinson, 1986, Sukardjo, 1996).

Scholander *et al.* (1962) dalam Tomlinson (1986) dan Walter (1971) dalam Kristijono (1977) menyatakan bahwa pada umumnya transpirasi jenis-jenis mangrove adalah rendah, sedangkan akarnya terus-menerus mengabsorpsi air garam. Hal ini menyebabkan terjadinya akumulasi garam pada daun. Untuk mengatasi hal ini beberapa jenis mangrove mempunyai kelenjar pengeluaran garam (*excretion gland*) pada daunnya, sedangkan bagi jenis mangrove yang tidak memiliki kelenjar pengeluaran garam dilakukan dengan cara mengalirkan garam tersebut ke daun-daun muda yang baru terbentuk.

Sebagaimana halnya halofita lainnya, hampir semua jenis mangrove mengandung konsentrasi garam yang tinggi pada jaringannya. Pada salinitas yang tinggi, ion-ion Na<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup> mendominasi komposisi ion jaringan, tetapi K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> dan Ca<sup>2+</sup> juga terdapat dengan konsentrasi yang nyata (Atkinson *et al.*, 1967 dalam Downton, 1982). Pada konsentrasi lebih kecil dari 50 mM NaCl, maka K<sup>+</sup> dan Mg<sup>2+</sup> terdapat pada konsentrasi rendah yang mendominasi kation dalam cairan sel (Downton, 1982). Secara umum, konsentrasi ion-ion anorganik yang tinggi diperlukan oleh halofita di dalam mengatur potensi osmotik antar sel, agar lebih rendah dari potensi air dalam tanah. Hal ini merupakan kebutuhan minimum untuk mengatur keseimbangan air positif. Penemuan ini didukung oleh hasil lapangan dan laboratorium yang menjelaskan bahwa potensi osmotik pada jaringan mangrove umumnya antara 0,5 – 2,0 Mpa lebih rendah dari substrat tempat tumbuhnya (Chapman, 1979 dalam Downton, 1982).

Semai dari jenis mangrove *non-excretion* mempunyai konsentrasi cairan sel dan kadar garam cairan selnya yang rendah sekali. Hal ini tidak menguntungkan

di dalam translokasi dari akar ke daun. Namun karena semainya juga mempunyai pericarp dan kotiledon yang bertekanan osmotik tinggi, maka translokasi masih tetap dapat berlangsung. Nilai tekanan osmotik tersebut adalah 30 atm<sup>1</sup> pada pericarp, 24,4 atm pada kotiledon, dan 16,4 atm pada jaringan sekitar kotiledon (Walter, 1971 *dalam* Kritijono, 1977).

Blum (1941) *dalam* Walsh (1974) menyatakan bahwa tekanan osmotik pada daun dari beberapa spesies mangrove di Pulau Jawa, seperti *Avicennia* spp. mempunyai tekanan osmotik yang lebih tinggi. Sedangkan *Rhizophora* spp., *Bruguiera* spp., dan *Sonneratia* spp. dengan proses mekanisme pengeluaran garam atau pelarutan garam, sehingga mempunyai tekanan osmotik yang relatif rendah. Bole dan Bharucha (1954) *dalam* Walsh (1974) menyatakan bahwa kecepatan transpirasi yang tinggi dapat menyebabkan akumulasi yang tinggi dari substansi-substansi yang aktif secara osmotik pada daun tua. Tekanan osmotik tidak bervariasi secara langsung dengan kandungan air, tetapi daun yang lebih tua selalu mengandung air yang lebih banyak dan mempunyai tekanan osmotik yang lebih tinggi daripada daun yang lebih muda.

Semua peristiwa tersebut menyatakan bahwa enzim di dalam sel tumbuhan halofita pada umumnya dihambat oleh konsentrasi garam NaCl yang tinggi (Flower *et al.*, 1977), sehingga seolah-olah hampir sebagian besar NaCl pada jaringan mangrove terbagi dalam sel vakuola. Sementara itu, ion-ion tersebut tampak bersifat responsif untuk mengatur osmotik vakuola. Penyesuaian osmotik pada sitoplasma sel-sel mangrove memungkinkan dikelola secara harmonis oleh larutan organik, seperti kolina dan betaina. Meskipun telah diketahui bahwa kebutuhan tumbuhan mangrove akan garam NaCl dipergunakan untuk mengatur osmosis, namun harus mengontrol pengambilan dan distribusi Na<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup> serta ion lainnya untuk menghindari ion-ion toksik. Mekanisme penting dalam pengaturan keseimbangan garam pada mangrove meliputi: (a) kapasitas akar untuk melawan NaCl yang berbeda, (b) pemilihan kelenjar-kelenjar khas sekresi garam dari beberapa jenis pada daunnya, (c) akumulasi garam pada berbagai bagian tumbuhan, dan (d) hilangnya garam ketika daun dan bagian tumbuhan lainnya gugur (Clough *et al.*, 1982).

Pada tumbuhan yang toleran terhadap salinitas, garam NaCl ditimbun dalam vakuola sel daun, sedangkan dalam sitoplasma dan organel kadar garam NaCl tetap rendah, sehingga tidak mengganggu aktivitas enzim dan metabolisme. Tekanan osmotik di sitoplasma dapat diatur dengan cara melarutkan glisibetain, prolin dan sorbitol. Agar penyesuaian osmotik dapat berfungsi sebagaimana mestinya, potensi zat terlarut di dalam sitoplasma harus sama dengan di dalam vakuola. Namun zat terlarut tertentu tidak dapat menyebar merata pada kedua kompartemen sel tersebut. Dengan demikian, tonoplas mempunyai peranan penting dalam mengatur mekanisme transpor zat terlarut (Lauchi dan Epstein, 1984 *dalam* Bintoro, 1989).

Pada dasarnya akar mangrove, seperti halnya akar tumbuhan tingkat tinggi lainnya, berperan selektif dalam menyeleksi ion-ion yang diserap dan ditransportasikan ke xilem. Berdasarkan pengukuran komposisi cairan xilem mangrove tampak bahwa mangrove dapat mengeluarkan 80 – 90 % garam NaCl dari larutan sekitar akarnya (Atkinson *et al.*, 1967). Menurut Scholader (1968)

---

<sup>1</sup> 1 bar = 0,1 MPa; 1 atm = 0,1013 MPa

dalam Sukardjo (1996) pengeluaran ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  dan ion lainnya merupakan proses pasif dari mangrove. Berdasarkan berbagai bukti bahwa pengambilan  $\text{NaCl}$  terutama terjadi melalui apoplas (*apoplastic pathway*) pada akar mangrove dan perbedaan kapasitas dalam pengeluaran garam di antara jenis mangrove mungkin terjadi karena perbedaan dari garis-garis kaspari (*casparin strip*) di endodermis akar (Cluogh *et al.*, 1982). Sejumlah mangrove seperti *Avicennia* spp., *Aegiceras* spp., *Aegialitis* spp., *Acanthus* spp., *Leguncularis* spp. dan *Sonneratia* spp. mempunyai kelenjar sekresi garam. Kelenjar tersebut mensekresikan garam  $\text{NaCl}$  melalui proses yang aktif (Atkinson *et al.*, 1967).

Meskipun perakaran dapat mengeluarkan garam hingga sebanyak 90 – 95 %  $\text{NaCl}$  dari larutan tanah, efek kumulatif dari sisa sebanyak 5 – 10 % yang terjadi di saluran masuk dapat menyebabkan pengaliran garam yang terus menerus nyata ke daun. Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi garam pada cairan xilem, maka diketahui bahwa kecepatan transpirasi dan konsentrasi  $\text{NaCl}$  pada daun mangrove membuktikan adanya sejumlah garam yang ditransportasikan ke daun melalui xilem selama hidupnya. Untuk jenis mangrove yang mempunyai kelenjar sekresi garam, kecepatan sekresinya dapat mencapai  $0,9 \mu\text{M Cl}^-/\text{m}^2/\text{detik}$  (Atkinson *et al.*, 1967). Kondisi ini menurut Clough *et al.*, (1982) memaksa hampir semua garam yang sampai ke daun melalui xilem.

Kerapatan partikel intramembran dari permukaan protoplasma (P) dan eksoplasmik (E) dari membran plasma dan tonoplas secara nyata lebih tinggi pada sel-sel hipodermal pada daun yang bersekresi daripada daun non-sekresi. Sebaliknya tidak ada perbedaan yang nyata dalam hal frekuensi partikel intramembran di permukaan beberapa membran dari sel-sel mesofil sekresi atau non-sekresi. Selanjutnya kerapatan partikel lebih tinggi di dalam membran plasma dan tonoplas dari sel-sel mesofil daripada sel-sel hipodermal, kecuali permukaan protoplas (P) hipodermal dari jaringan sekresi yang memiliki kerapatan partikel yang lebih tinggi. Sel-sel hipodermal daun dapat berfungsi sebagai tempat cadangan garam, seperti halnya air dan mendorong peredaran sekresi garam (Balsamo dan Thomson, 1995).

Setiap kelenjar ekskresi garam dari jenis *Avicennia marina* terdiri atas 2 – 4 kumpulan sel, 1 sel batang dan 8 – 12 sel ekskresi. Sebagian besar retikulum endoplasmik tubular ditemukan pada sel-sel tangkai dan sel-sel ekskresi, tetapi tidak terdapat di dalam kumpulan sel. Susunan retikulum endoplasmik yang ada menunjukkan bahwa garam tersebut telah melewati apoplas ke retikulum endoplasmik simplas pada sel dasar tangkai, memindahkan kedua tipe sel tersebut ke dalam retikulum endoplasmik dan diekskresikan ke luar kelenjar dengan suatu mekanisme tipe *eccrine*. Meningkatnya pertumbuhan dan perkembangan dari retikulum endoplasmik tubuler akan diikuti dengan diferensiasi sel-sel kelenjar (Drennan *et al.*, 1987).

Pada daun muda dari jenis *Avicennia marina* terdapat dua mekanisme sekresi garam, yaitu (a) *Merocrine* yang terdiri dari formasi sebuah vesikel yang terus bergerak sampai mencapai ukuran maksimum dan pada akhirnya pecah dengan mengeluarkan larutan garam. Selanjutnya vesikel tersebut terdisintegrasi dan vesikel yang baru mulai terbentuk, dan (b) *Halocrine*, mekanisme ini dimulai dengan akumulasi larutan yang tersekresi dalam ruangan sub-kutikula. Hal akhirnya akan merobek lapisan kutikula dan melepaskan larutan garam sebagai titik cair (Ish dan Dubinsky, 1990).

### **Proses Penyerapan Garam**

Senyawa yang tersedia untuk tumbuh-tumbuhan hanya dalam bentuk kation atau anion (Soepardi, 1983, Dwijoseputro, 1994, Salisbury dan Ross, 1995). Absorpsi air beserta ion-ion dilakukan terutama oleh ujung-ujung akar yang memiliki permukaan yang luas. Proses penyerapan sebagian besar akan terjadi pada epidermis akar. Ion-ion yang diserap oleh sel epidermis akan bergerak menuju xilem melalui simpas, kemudian menembus epidermis, eksodermis, beberapa sel korteks, endodermis dan akhirnya perisiklus. Walaupun lintasan ion untuk menuju akar dapat beragam, ion harus selalu menerobos membran plasma sel akar yang hidup, bahkan juga saat diserap pertama kali. Meskipun demikian, membran plasma merupakan penghalang bagi penyerapan ion (Salisbury dan Ross, 1995). Hal ini akan menyebabkan terjadinya timbunan garam.

Tomlinson (1986) menyatakan bahwa proses pengambilan garam tumbuhan mangrove merupakan sistem transport pasif. Sistem transport pasif merupakan transport yang digerakkan oleh kekuatan fisik, dalam hal ini dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah yang terdapat dalam sel (Prawiranata *et al.*, 1995). Ion-ion anorganik, seperti ion natrium dan klorida yang diambil oleh tanaman yang digunakan untuk proses fisiologi. Ion klorida terlibat proses fotosintesis (Salisbury dan Ross, 1995), dan pengendalian tekanan osmosis (Terry, 1997 *dalam* Tanasale, 1997), sedangkan ion natrium terlibat didalam proses fotosintesis dan pertukaran kation khususnya dengan kalium (Saeni, 1989).

Kadar ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  yang besar pada vakuola ditemukan dalam hypodermis dan ada penurunan pada lapisan bagian dalam dari sel korteks akar. Kadar ion daun yang aktif fotosintesis diatur oleh (a) filtrasi ujung yang melingkar kortek akar, (b) pertukaran dari sel parenkim xylem, dan (c) penyerapan  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  di dalam kantong air hypodermal dari daun (Werner dan Stelzer, 1990). Dengan adanya timbunan garam menyebabkan kadar ion di dalam sel akan lebih banyak dari pada di luar sel. Penimbunan garam dipengaruhi oleh oksigen, proses transpirasi dan suhu. Kemampuan untuk menimbun garam tersebut berkurang pada sel-sel yang telah mencapai dewasa (Dwijoseputro, 1974).

Flower *et al.* (1977) menyatakan bahwa hubungan laju pertumbuhan dan penyerapan ion merupakan hal yang penting, khususnya pada tahap awal penyesuaian terhadap kadar garam ketika terjadi peningkatan konsentrasi larutan dalam cairan berlangsung. Lebih lanjut Greeway (1973) *dalam* Tanasale (1997) menyatakan bahwa penyesuaian tersebut pada khususnya dipengaruhi oleh pengurangan laju pertumbuhan sebagai respon awal terhadap salinitas. Jika pertumbuhan pada konsentrasi eksternal yang rendah dibatasi oleh laju pengambilan ion, maka peningkatan pertumbuhan diikuti oleh peningkatan konsentrasi ion eksternal.

### **Air dan Keseimbangan Garam**

Hubungan antara air dan keseimbangan garam pada tumbuhan mangrove dapat dilihat di dalam bentuk tekanan potensial air, yaitu penjumlahan tekanan potensial dan tekanan osmotik (Salisbury dan Ross, 1995) yang secara matematika dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$W = W_p + W_n$$

W = tekanan potensial air

$W_p$  = tekanan potensial

Wn= tekanan osmotik.

Air tawar murni memiliki tekanan potensial = nol, sedangkan air laut dengan salinitas (NaCl) 3 ppt memiliki tekanan potensial sebesar 25 bars. Tekanan air pada jaringan daun selalu lebih rendah dari air laut. Dalam keadaan stomata tertutup, maka tidak terdapat aliran air pada xilem, sehingga terdapat tambahan tekanan hidrostatis sebesar 1 bars untuk setiap ketinggian 10 m (Field, 1984).

Pada keadaan stomata terbuka, maka terjadi pergerakan ke bagian atas, karena tanaman mengalami penurunan tekanan yang disebabkan oleh transpirasi, sehingga air memasuki sel daun dan akhirnya ke luar melalui proses transpirasi. Scholander *et al.* (1962) dalam Tomlinson (1986), seperti yang sudah diungkapkan sebelumnya, menyatakan bahwa tumbuhan mangrove pada umumnya mengalami transpirasi lebih rendah dibandingkan dengan tumbuhan darat, yaitu sebesar 1,5-7,5 mg/dm<sup>2</sup>/menit, sedangkan pada tumbuhan darat mengalami transpirasi sebesar 10 – 55 mg/dm<sup>2</sup>/menit. Hal ini membuktikan bahwa tumbuhan mangrove tergolong transpirator rendah.

Hampir semua jenis mangrove tumbuh di tanah yang jenuh air, yang potensi airnya diatur oleh potensi osmotik substrat. Akibatnya status air mangrove dipengaruhi secara nyata oleh salinitas substrat. Pada daerah yang selalu tergenangi air laut, potensi air maksimum dari daun dan organ lainnya diperkirakan sebesar  $\pm -2,5$  Mpa. Meskipun demikian banyak sedimen mangrove yang mempunyai daya hantar hidrolis yang rendah dan drainase yang jelek, akibatnya salinitas air yang terkandung di dalamnya lebih tinggi daripada salinitas air dari air pasang yang datang menggenangi. Pengeluaran garam oleh akar selama pengambilan air diduga karena penurunan gradasi kadar garam jauh dari perakaran. Berarti secara normal akar-akar mangrove terkondisi dengan potensi osmotik yang rendah pada substratnya, yang dapat dilihat dengan pengukuran potensi osmotik daripada kejenuhan air pada substrat atau air pasang yang menggenangi (Sukardjo, 1996).

Sebagian efek dari penyerapan garam adalah gradasi yang secara nyata mengganggu keseimbangan air pada mangrove. Di bawah kondisi yang sesuai, kecepatan transpirasi mungkin berlipat ganda atau lebih besar, meningkatnya konsentrasi garam pada permukaan daun, sehingga perakaran dapat terbuka terhadap potensi osmotik -3 sampai 5 Mpa. Berarti tidak banyak berbeda dari potensial-potensial tekanan hidrostatis -2,5 sampai -6 Mpa yang pada xilem mangrove (Scholander, 1986 dalam Sukardjo, 1996). Hal ini dapat menyebabkan terjadinya defisit air selama periode evapotranspirasi yang tinggi. Hal ini dapat dijumpai pada laporan Joshi *et al.*, (1975) dalam Sukardjo (1996) tentang penutupan stomata daun mangrove selama siang hari, bila tekanan potensi hidrostatis pada xilem  $\pm 10$  kali lebih besar dari potensi osmotik getah xilem (-0,2 MPa). Penutupan stomata daun mangrove selama siang hari ini mirip dengan perilaku tumbuhan CAM (*crasulacean acid metabolism*).

Sebagian besar jenis mangrove tumbuh di wilayah garis lintang rendah yang radiasi sinar matahari dan suhu udara umumnya tinggi. Akibatnya suhu daun mencapai 5 – 10 °C lebih tinggi dari suhu sekitarnya, memberikan defisit tekanan uap yang besar di antara daun dan udara sekitarnya, meskipun secara normal terdapat kelembaban yang tinggi pada lingkungan mangrove. Defisit tekanan uap

antara daun mangrove dan lingkungannya dapat mencapai 5 kPa. Walaupun tekanan uap besar, evapotranspirasi dari daun mangrove dapat tinggi. Hampir semua jenis mangrove daun-daunnya mempunyai sejumlah kenampakkan anatomi yang membatasi hilangnya uap air. Hal ini mencakup kutikula yang tebal, lapisan lilin dan stomata yang tersembunyi, yang semuanya terdapat hanya pada permukaan abaksial dari beberapa jenis, seperti *Sonneratia* spp., *Osbornia* spp., *Lumnitzera* spp., dan *Laguncularia* spp., (Macnae, 1986 dalam Sukardjo, 1996). Suhu daun dan defisit tekanan uap yang tinggi, dapat mengurangi Daya Hantar Listrik (DHL) daun menjadi uap air. Meskipun demikian berkurangnya DHL pada daun secara drastis, tidak mengganggu dalam meningkatkan defisit tekanan uap antara daun dan udara. Dengan demikian hilangnya air dari daun berkaitan dengan meningkatnya defisit tekanan uap dan suhu daun. Uap air juga, menurun dengan meningkatnya salinitas (Ball, 1981 dalam Sukardjo, 1996). Scholander (1968) dalam Sukardjo (1996) menyatakan bahwa terjadinya perubahan besar dalam hal potensi air daun, hanya akan memberikan pengaruh yang sangat kecil terhadap perubahan kadar air pada jaringan.

### **Fiksasi Karbon**

Fotosintesis tumbuhan mangrove secara khas terpenuhi hingga 1/2 - 2/3 dari seluruh radiasi sinar matahari, mempunyai suhu optimum di bawah 35°C dan mempunyai titik kompensasi CO<sub>2</sub> yang mudah ditera. Pada kondisi normal keseimbangan CO<sub>2</sub> secara linier berhubungan dengan DHL daun. Dengan DHL daun mangrove rendah, maka kecepatan asimilasinya juga rendah dibandingkan dengan tanaman budidaya. Pada dasarnya kecepatan maksimum rata-rata asimilasi mangrove, baik di laboratorium maupun lapangan <15 µM CO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>. detik) (Ball, 1981 dalam Sukardjo, 1996). Adanya hubungan linear antara CO<sub>2</sub> dengan DHL daun menunjukkan bahwa tekanan parsial CO<sub>2</sub> di mesofil mendekati konstan.

Menurut Ball (1981) dalam Sukardjo (1996) kecepatan asimilasi banyak berkurang pada suhu daun yang tinggi. Pada beberapa jenis mangrove, kecepatan asimilasi relatif tidak terpengaruh oleh suhu dengan kisaran 17 – 30°C, tetapi menurun secara tajam pada suhu di atas 30°C dan mendekati nol pada suhu 40°C.

Perbedaan respon terhadap cahaya antara daun yang beradaptasi dengan sinar matahari dan daun yang beradaptasi dengan naungan dari masing-masing jenis mungkin terjadi. Meskipun Ball (1981) dalam Sukardjo (1996) menyatakan bahwa tidak ada perbedaan yang nyata dalam hal sifat pertukaran gas antara daun yang beradaptasi dengan sinar matahari dan daun yang beradaptasi dengan naungan dari spesies *Avicennia marina*. Nilai salinitas dan defisit tekanan uap mempengaruhi respon CO<sub>2</sub> pada tekanan parsial yang tinggi di antara saluran sel. Dengan demikian kadar garam yang tinggi di antara saluran sel akan menghambat reaksi karboksilat dari proses fotosintesis. Pada umumnya kecepatan reaksi gelap pada daun dari beberapa jenis mangrove berkisar 0,7 – 0,2 µM CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/ detik. Kecepatan respirasi daun meningkat dengan meningkatnya suhu (Moore *et al.*, 1973 dalam Sukardjo, 1996).

Osmoregulasi dan cara pembagian ruangan dari ion-ion yang terdapat pada vakuola dari sel akar dan jaringan lainnya, memerlukan energi metabolik. Dengan demikian aktivitas respirasi akar dan jaringan lainnya meningkat dengan meningkatnya salinitas (Field *et al.*, 1981 dalam Sukardjo, 1996).

Daun mangrove mempunyai potensi air, konduktansi stomata dan laju pertukaran CO<sub>2</sub> antara saturasi-cahaya yang rendah. Daun mangrove yang terkena matahari menerima kelebihan energi yang besar daripada bagian yang lain. Efisiensi konversi energi menurun dengan bertambahnya jumlah sinar matahari yang diterima. Daun yang terkena sinar matahari langsung akan menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi pada mangrove yang ditanam pada 10% air laut daripada 100% air laut, tetapi salinitas air dalam kultur hanya kecil efeknya terhadap efisiensi. Peningkatan energi sinar matahari akan memberikan perlindungan pada pusat reaksi terhadap kerusakan akibat kelebihan penyerapan sinar (Bjorkman *et al.*, 1988).

Salinitas dan area daun pada umumnya berhubungan terbalik. Hal ini dapat dijelaskan oleh terjadinya defisit air dalam organ yang membesar. Namun bukan hanya area daun saja, tapi juga fiksasi CO<sub>2</sub> per unit daun mungkin menurun. Sedangkan respirasi gelap meningkat, sehingga mengakibatkan penurunan asimilasi CO<sub>2</sub> per unit area daun per hari. Rendahnya fiksasi CO<sub>2</sub> selama periode terang tidak sepenuhnya disebabkan oleh defisit air dan penutupan sebagian stomata, namun juga diakibatkan efek langsung ion klorida yang besar. Pada tanaman tertentu, laju fiksasi CO<sub>2</sub> berbanding terbalik dengan kadar ion klorida daun. Bila berada pada kondisi salinitas yang tinggi dalam jangka waktu yang lama, laju fotosintesis net akan menurun, yang juga diakibatkan oleh menurunnya kadar klorofil per unit area daun, bukan per unit bobot klorofil (Robinson *et al.*, 1983 dalam Marschner, 1986).

## KESIMPULAN

Vegetasi mangrove yang merupakan tumbuhan resisten terhadap garam (*salt-resistant plants*) mampu memelihara pertumbuhannya dalam kondisi cekaman osmotik, seiring dengan menghindari konsentrasi garam yang tinggi di dalam sitoplasmanya. Pertumbuhan terutama dipelihara dengan meningkatkan jumlah larutan di dalam sel dan berikutnya dengan pengaturan turgor. Mekanisme ini dapat meningkat dengan peningkatan plastisitas dinding sel dan penurunan ambang turgor. Penurunan turgor diatur oleh “sensor turgor” di dalam plasma membran.

Mekanisme penting dalam pengaturan keseimbangan garam pada mangrove, sehingga tidak lagi meracuni tumbuhan, meliputi: (a) kapasitas akar untuk melawan NaCl yang berbeda, (b) pemilihan kelenjar-kelenjar khas sekresi garam dari beberapa jenis pada daunnya, (c) akumulasi garam pada berbagai bagian tumbuhan, dan (d) hilangnya garam ketika daun dan bagian tumbuhan lainnya gugur.

Tanah yang jenuh air, sehingga tanah mengandung sedikit oksigen direspon tumbuhan mangrove dengan memiliki sistem perakaran yang khas dan lentisel pada bagian di atas permukaan substrat sehingga memungkinkan penyerapan oksigen dari udara. Selain itu, keberadaan lubang-lubang tanah yang dibuat oleh satwa tanah, seperti kepiting, juga membantu penyediaan oksigen bagi akar. Oleh karena itu, respirasi dapat berjalan dengan baik.

Daun vegetasi mangrove yang memiliki kutikula yang tebal, lapisan lilin, dan stomata yang tersembunyi serta pengaturan posisi daun, sehingga radiasi sinar

matahari terseleksi sepanjang permukaan fotosintetik luas, sementara pemasukan panas per unit luas daun dan suhu menjadi berkurang. Hal ini merupakan adaptasi anatomi yang unik dari daun mangrove dalam mengatasi cekaman radiasi sinar matahari dan suhu yang tinggi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson, M.R., G.P. Findly, A.B. Hope, M.G. Pitman, H.D.W. Sadler, dan K.R. West. 1967. Salt regulation in the mangroves *Rhizophora murconata* Lam. and *Aegiliatis annulata* R. Br. *Australian J. of Biol. Sci.*, 20: 589 – 599.
- Balsamo, R.A. dan W.W. Thomson. 1995. Salt effects on membrane of hypodermis and mesophyll cell of *A. germinans* (Avicenniaceae): a freeze-fracture study. *American J. of Bot.*, 82 (4) : 435 – 440.
- Bintoro, M.H. 1989. *Toleransi tanaman jagung terhadap salinitas*. Disertasi, Pascasarjana IPB, Bogor.
- Clough, B.F. dan P.M. Attiwill. 1982. Primary productivity of mangroves. In B.F. Clough (Ed.). *Mangrove ecosystem in Australian: structure, function and management*. Australian University Press, Canberra. pp. 213 – 222.
- Downton, W.J.S. 1982. Growth and osmotic relation of mangrove *Avicennia marina*, as influenced by salinity. *Australian J. of Plant Physiol.*, 9 (5) : 519 – 528.
- Ewusie, J.Y. 1980. Specialized ecosystem within the tropical forest and long the sea coast. *Elements of tropical ecology*. pp. 155 – 166.
- Field. C.D. 1984. Ions in mangroves. In Teas, H.J. (Ed.). *Physiology and management of mangrove*. DR W. Junk Publisher, The Hague, Boston. Pp. 43 – 48.
- Flowers, T.J., P.F. Troke, dan A.R. Yeo. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28: 89 – 121.
- Ish, S.G. dan Z. Dubinsky, 1990. Possible modes of salt secretion in *Avicennia marina* in the Sinai. *Pl. and Cell Physiol.*, 13 (2) : 27 – 32.
- Istomo. 1992. *Tinjauan ekologi hutan mangrove dan pemanfaatannya di Indonesia*. Fakultas Kehutanan IPB, Bogor.
- Jacoby, B. 1999. Mechanism involved in salt tolerance of plants dalam Pessaraki, M (Ed.). *Handbook of plant and crop stress*. 2sd edition. Marcel Dekker, Inc. New York. pp. 97 –124.
- Kritijono, A. 1977. *Pengaruh keadaan tempat tumbuh pada perkecambahan Bruguiera gymnorrhiza (tanjang) di hutan payau Segara Anakan Cilacap, KPH Banyumas Barat*. Fakultas Kehutana IPB, Bogor.
- Mohr, H., dan P. Schopfer. 1995. *Plant physiology*. Springer-Verlag, Berlin.

- Poljakoff-Mayber, A., dan H.R. Lerner. 1999. Plants in saline environments *dalam* Pessaraki, M (Ed.). *Handbook of plant and crop stress*. 2nd edition. Marcel Dekker, Inc. New York. pp. 125 – 151.
- Prawiranata, W., S. Harran, dan P. Tjondronegoro. 1995. *Dasar-dasar fisiologi tumbuhan*. FMIPA-IPB, Bogor.
- Salisbury, M.S. dan C.W. Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan*. Terjemahan Lukman, D.R. dan Sumaryono. Penerbit ITB, Bandung.
- Shannon, M.C., C.M. Grieve, dan L.E. Francois. 1994. Whole plant response to salinity. *In*. Wilkinson, R.E. (Ed.). *Plant environment interaction*. Marcel Dracker, Inc., New York. pp. 199 – 228.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan ciri tanah. Fakultas Pertanian – IPB, Bogor.
- Sukardjo, S. 1996. *Fisiologi mangrove suatu catatan pengetahuan*. Pelatihan pelestarian dan pengembangan ekosistem mangrove secara terpadu dan berkelanjutan. PSL-PPLH Unibraw, Malang.
- Tanasale, M.F.J.D.P. 1997. *Desalinasi dengan tanaman mangrove*. Jurusan Kimia, FMIPA, IPB Bogor.
- Tomlinson, P.B. 1986. *The botany of mangroves*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Walsh, G.E. 1974. Mangroves : A Review. *dalam* Reimold, R.J. dan W.H. Quenn. (Eds.). *Ecology of halophytes*. Acad. Press, Inc., New York. Pp. 51 – 174.