



Bahan Ajar
SILVIKA

**PERTUMBUHAN POHON
KAITANNYA DENGAN TANAH, AIR DAN IKLIM**

Oleh

ONRIZAL
NIP 132 259 564

DEPARTEMEN KEHUTANAN

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS SUMATERA UTARA

JANUARI 2009

Bahan Ajar
SILVIKA

**PERTUMBUHAN POHON
KAITANNYA DENGAN TANAH, AIR DAN IKLIM**

Oleh

ONRIZAL
NIP 132 259 564



DEPARTEMEN KEHUTANAN

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS SUMATERA UTARA

JANUARI 2009

KATA PENGANTAR

Penguasaan ilmu silvika secara baik oleh mahasiswa dan sarjana kehutanan merupakan suatu keharusan. Tanpa penguasaan ilmu silvika secara baik, pilihan pengelolaan hutan untuk optimalisasi hasil hutan berupa kayu hanya menjadi impian semata.

Bahan ajar ini hadir untuk membantu mahasiswa kehutanan tingkat sarjana dalam memahami ilmu silvika berbasiskan kasus-kasus pertumbuhan pohon dan kaitannya dengan faktor-faktor lingkungan, seperti tanah, air, dan iklim dengan berbagai karakteristik yang dijumpai di lapangan. Penguasaan teori secara baik yang didukung dengan contoh-contoh kasus diharapkan dapat membuka cakrawala mahasiswa dan sarjana kehutanan dalam menentukan alternatif pengelolaan hutan berbasiskan kondisi sumberdaya hutan tanpa menyebabkan penurunan kualitas ekologis sumberdaya hutan tersebut.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para dosen dan rekan penulis saat mengikuti pendidikan di Fakultas Kehutanan Institut Pertanian IPB atas masukan, bimbingan dan diskusinya, khususnya pada topik yang dibahas dalam bahan ajar ini. Segala masukan berikutnya untuk perbaikan bahan ajar ini sangat diharapkan. Semoga bermanfaat secara khusus bagi mahasiswa dan sarjana kehutanan dan umumnya bagi dunia kehutanan.

Medan, 30 Januari 2009

Onrizal

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
Bab 1 PENDAHULUAN	1
Bab 2 ILMU SILVIKA, PENCEMARAN AIR DAN UDARA	3
Bab 3 PENGETAHUAN SILVIKA DAN PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PERTANIAN DAN KEHUTANAN	7
Bab 4 PERANAN pH TANAH DALAM PERTUMBUHAN POHON	11
Bab 5 OPTIMASILASI PERTUMBUHAN <i>TECTONA GRANDIS</i> YANG DITANAM DI DAERAH DIENG, JAWA TENGAH YANG MEMPUNYAI KARAKTERISTIK TANAH SELALU TERGENANG AIR	16
Bab 6 OPTIMALISASI PERTUMBUHAN <i>TECTONA GRANDIS</i> YANG DITANAM DI DAERAH BANTAR BOLANG, JAWA TENGAH YANG MEMPUNYAI KARAKTERISTIK TANAH KERING	21
Bab 7 AIR DAN PERTUMBUHAN POHON	24
Bab 8 PROSES TRANSPIRASI, FOTOSINTESIS DAN FIKSASI NITROGEN TANAMAN <i>PARASETIANTHES</i> <i>FALCATARIA</i> PADA TANAH PADAT DAN ASAM	31
Bab 9 PROSES TRANSPIRASI PADA TANAMAN PADA DASARNYA ADALAH MEKANISME PENDINGINAN DAUN. MENGAPA DEMIKIAN?	36

Bab 10 PERTUMBUHAN POHON YANG DITANAM PADA TANAH KEKURANGAN UNSUR MN^{+} DAN CL^{-}	38
Bab 11 DARIMANAKAH SUMBER OKSIGEN YANG DIHASILKAN DARI PROSES FOTOSINTESA DAN BAGAIMANA MEKANISMENYA?	40
Bab 12 KECEPATAN FOTOSISTESA TANAMAN <i>SHOREA</i> <i>SELANICA</i> DAN <i>ZEA MAYS</i> APABILA DITANAM PADA KETINGGIAN 500 M, 1.000 M, DAN 1.500 M DI ATAS PERMUKAAN LAUT	42
DAFTAR PUSTAKA	47

Bab 1

PENDAHULUAN

Ilmu silvika menurut "The Society of American Foresters" dalam Manan (1976) dan Soekotjo (1977) adalah ilmu yang mempelajari sejarah hidup dan karakter jenis-jenis pohon hutan dan tegakan, dan kaitannya dengan faktor-faktor lingkungan. Oleh karena itu, Soerianegara & Indrawan (1998) menyatakan bahwa ilmu silvika mendekati autekologi, yaitu salah satu cabang ekologi.

Lebih lanjut Odum (1998) menerangkan bahwa autekologi membahas pengkajian individu organisme atau spesies. Sejarah-sejarah hidup dan perilaku sebagai cara-cara penyesuaian diri terhadap lingkungan biasanya mendapat penekanan. Dalam terminologi kehutanan, sebagaimana yang dijelaskan oleh Soerianegara & Indrawan (1998) bahwa autekologi mempelajari suatu faktor lingkungan terhadap hidup dan tumbuhnya satu atau lebih jenis-jenis pohon. Jadi, penyelidikan autekologi mirip fisiologi tumbuh-tumbuhan, sehingga aspek-aspek tertentu dari autekologi, seperti penelitian tentang pertumbuhan pohon sering disebut fisioekologi (*physiological ecology*).

Soekotjo (1977) menambahkan bahwa dalam ilmu silvika, hubungan antara jenis-jenis pohon dengan lingkungannya merupakan hubungan yang saling mempengaruhi. Untuk keperluan pertumbuhannya, setiap jenis pohon membutuhkan faktor-faktor lingkungan tertentu, seperti iklim (curah hujan, suhu, angin, dan lainnya), dan tempat tumbuh (air, unsur hara, kondisi, dan lainnya). Sebaliknya, setiap jenis pohon yang tumbuh juga dapat mempengaruhi lingkungan, seperti pengendalian erosi tanah dan air, mempengaruhi iklim mikro, sebagai habitat satwa, sumber mata air, tempat rekreasi, dan lain-lain.

Berdasarkan uraian di atas, dalam ilmu silvika minimal akan dipelajari pengetahuan dan informasi tentang (a) proses-proses hidup tumbuh-tumbuhan, khususnya pohon, yang memerlukan pengetahuan tentang proses-proses kimia yang berhubungan dengan aktivitas biologis yang terjadi, (b) persyaratan tumbuh suatu tumbuh-tumbuhan, khususnya pohon, yakni terkait dengan berbagai faktor, yaitu tanah, air, cahaya, atmosfer, biotik dan faktor-faktor kompleks untuk optimalisasi pertumbuhannya, dan (c) adaptasi tumbuh-tumbuhan pada kondisi lingkungan tertentu.

Bab 2

ILMU SILVIKA, PENCEMARAN AIR DAN UDARA

Pencemaran air dan udara

Air dan udara esensial bagi kehidupan. Salah satu dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan adalah tercemarnya lingkungan oleh berbagai material atau kondisi yang dihasilkan oleh kegiatan manusia, seperti limbah, gas-gas dan lainnya yang bersifat mencemari lingkungan.

Riani (2002) mencatat bahwa salah satu dampak pembangunan adalah terjadinya pencemaran dan bahan pencemar tersebut menyebabkan terjadinya perubahan kualitas air. Pencemaran yang dimaksud adalah pengotoran atau penambahan organisme atau zat-zat lain ke dalam air, sehingga dapat mengganggu penggunaan, pemanfaatan, dan kelestarian air dan perairan tersebut. Pencemaran tersebut meliputi pencemaran biologis, kimiawi, dan fisika. Dengan demikian, Soegiharto (1987) menyatakan bahwa air dikatakan tercemar apabila sifat fisik (suhu, kekeruhan); sifat kimia (susunan bahan terlarut, BOD, COD, pH) dan biologis (mengandung patogen) berubah dan melampaui baku mutunya, sehingga air tersebut menjadi tidak sesuai lagi bagi peruntukannya.

Udara dikatakan tercemar apabila komposisi campuran gas-gas dalam udara (CO_2 , CO, NO_x , SO_x , HC, H_2S dll) serta padatan (partikel, debu, asap) tidak seimbang dan konsentrasinya melebihi ambang batas toleransi (Fardiaz, 1992). Pernyataan tersebut sesuai dengan yang dinyatakan oleh Santosa (2002) bahwa pencemaran udara adalah suatu proses perubahan kualitas udara dimana terjadi peningkatan unsur-unsur tertentu atau masuknya bahan/materi ke udara yang berdampak negatif terhadap hidup dan kehidupan.

Kehadiran suatu bahan kimia di suatu tempat yang tidak tepat atau pada konsentrasi yang tidak tepat, maka bahan kimia tersebut disebut "pencemar" atau "polutan" (Waiburn, 1990 *dalam* Santosa, 2002). Jadi ada dimensi ruang atau tempat dan dimensi konsentrasi yang harus diperhatikan untuk menyatakan pencemaran.

Pohon (tumbuhan) pada air dan udara tercemar

Pada kondisi yang tercemar, baik air maupun udara, beberapa tanaman dapat hidup dan tumbuh dengan beberapa mekanisme; yaitu tanaman dapat beradaptasi (adaptif) dan tanaman mampu mentolelir kandungan bahan yang melebihi ambang batas (toleran). Karena kemampuan tersebut jenis-jenis tumbuhan tertentu dapat digunakan untuk menurunkan kadar polutan. Proses penurunan kadar polutan dengan menggunakan tanaman disebut fitoremediasi (Lasat *et al.*, 1996).

Departemen Kehutanan (1986) menjelaskan bahwa vegetasi merupakan penangkal cukup efektif terhadap polutan-polutan di udara, baik gas maupun yang berupa butiran padat (partikel). Beberapa cara vegetasi mengurangi pencemaran udara, antara lain melalui morfologi permukaan daun, cabang yang spesifik, misalnya dengan lapisan bulu-bulu pada daun, proses transpirasi, menjebak butiran padat yang kemudian tercuci oleh air hujan atau dengan pencucuan udara. Selain itu tanaman juga dapat mengabsorpsi dan menyelubungi dari asap dan bau busuk.

Pada kondisi hujan asam yang mengandung H_2SO_4 apabila tiba dipermukaan akan mengalami reaksi. Pada saat permukaan dibasahi, maka asam seperti H_2SO_4 yang bereaksi dengan Ca yang ada di daun membentuk $CaSO_4$ yang bersifat netral (Larcher, 1995). Dengan demikian pH air akan lebih tinggi daripada air hujan itu sendiri, sehingga air hujan tidak begitu berbahaya bagi lingkungan. Apabila

terinventarisir tumbuhan (pohon) yang tahan terhadap kerusakan akibat hujan asam, maka dapat membantu dalam mengatasi dampak negatif hujan asam melalui proses fisiologis tumbuhan.

Beberapa jenis *Thlaspi*, sebagai contoh, tidak hanya mampu tumbuh pada lahan yang mengandung logam berat tinggi, tetapi juga dapat mengakumulasi logam berat pada pucuk. Sebagai contoh, *Thlaspi caerulescens* diketahui mampu mengakumulasi Zn sampai dengan 40.000 $\mu\text{g/g}$ berat kering pucuk, dimana kandungan Zn pada tanaman umumnya 20-200 $\mu\text{g/g}$ berat kering pucuk (Mnegel dan Kirby, 1987 dalam Lasat *et al.*, 1996). Karena kemampuan akumulasi logam berat yang tinggi, jenis *Thlaspi* ini digolongkan sebagai hiperakumulator (Brook *et al.*, 1977 dalam Lasat *et al.*, 1996).

Berdasarkan hasil penelitian Saepulloh (1995) diketahui bahwa jenis *Avicennia marina* memiliki toleransi yang tinggi terhadap logam berat, seperti Pb, Cd, dan Ni. Begitu juga dengan jenis *R. mucronata* yang resisten terhadap logam berat, seperti Cu, Mn, dan Zn (Taryana, 1995). Jenis-jenis tersebut mengakumulasi berbagai logam berat tersebut pada berbagai jaringannya.

Peranan ilmu silvika dalam mengatasi pencemaran air dan udara

Berdasarkan uraian di atas, secara ringkas diketahui bahwa penyebab terjadinya pencemaran air dan udara adalah masuknya bahan atau materi tertentu ke dalam air dan udara, sehingga melebihi ambang batasnya. Sementara itu, ilmu silvika mencakup pengetahuan tentang proses-proses biokimia yang terjadi di dalam pohon (tumbuhan), dan berbagai bentuk toleransi dan adaptasinya terhadap suatu bahan atau kondisi tertentu.

Oleh karena itu, dalam mengatasi pencemaran air dan udara, ilmu silvika terutama berperan dalam memberikan dasar pemilihan jenis-jenis yang toleran dan adaptif pada kondisi tercemar, sehingga secara fisiologis jenis-jenis tersebut dapat "menetralkan" kembali air dan udara yang tercemar tersebut. Selain itu, pengetahuan silvika akan sangat membantu meningkatkan pertumbuhan pohon (tumbuhan) melalui manipulasi lingkungan sehingga proses remediasi menjadi lebih optimum. Dari berbagai hasil penelitian yang telah diulas sebelumnya, diketahui bahwa polutan-polutan tersebut yang mencemari lingkungan (air dan udara) juga merupakan unsur yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman, tetapi dalam konsentrasi yang tidak melebihi ambang batas.

Bab 3

PENGETAHUAN SILVIKA DAN PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PERTANIAN DAN KEHUTANAN

Produktivitas umumnya diklasifikasikan menjadi 2 (dua) bentuk, yaitu produktivitas primer dan produktivitas sekunder. Produktivitas primer terjadi pada tumbuhan hijau yang memiliki kemampuan mensintesa makanannya sendiri dari bahan-bahan anorganik melalui bantuan cahaya (matahari). Produktivitas sekunder terjadi pada konsumen, melalui rantai makanan melalui proses makan dan dimakan. Oleh karena itu, produktivitas (tumbuhan) pertanian dan hutan termasuk ke dalam produktivitas primer. Produktivitas yang berikutnya akan dibahas adalah produktivitas primer.

Produktivitas primer yang penting untuk ditingkatkan adalah produktivitas primer bersih (*net primary productivity/NPP*), karena NPP-lah yang dapat dimanfaatkan oleh konsumen, termasuk manusia. Jordan (1983); Perry (199?) menyatakan bahwa NPP merupakan perbedaan laju produktivitas primer bruto dengan laju transpirasi. Sementara itu, laju produktivitas primer bruto merupakan laju fotosintesis sebelum dikurangi respirasi. Oleh karena itu, salah satu kunci untuk mengoptimalkan produksi pertanian dan kehutanan adalah dengan cara mengoptimalkan pemanfaatan cahaya matahari untuk proses fotosintesis. Secara prinsip tidak terdapat perbedaan metabolisme komoditas pertanian dan kehutanan, karena keduanya sama tergolong tumbuhan.

Kebutuhan tumbuhan akan cahaya, baik kualitas maupun kuantitas, akan berbeda antara satu jenis dengan jenis lainnya, atau satu jenis namun berbeda umurnya. Secara umum, terkait dengan faktor cahaya tumbuhan digolongkan ke dalam dua kelompok, yaitu toleran

dan intoleran. Oleh karena itu, melalui pengetahuan tentang kebutuhan cahaya matahari, baik kualitas maupun kuantitas, akan sangat membantu dalam optimalisasi penangkapan cahaya matahari untuk fotosintesis, misalnya pencampuran tumbuhan yang toleran dengan intoleran. Selain itu, berdasarkan penambatan karbondioksida, berbagai jenis tumbuhan digolongkan ke dalam C3, C4 dan CAM.

Hutan campuran bisa lebih produktif dibandingkan hutan monokultur, jika adaptasi yang berbeda diantara jenis, pada hutan campuran penggunaan sumberdaya akan optimal dsibandingkan dengan hutan monokultur. Assman (1970 *dalam* Perry, 199?) melaporkan bahwa pencampurn pohon beech (jenis toleran) dengan berbagai jenis intoleran (oak, pinus, larch) menghasilkan 4 – 52 % bahan kering lebih banyak daripada tegakan oak murni, atau pinus saja.

Lebih lanjut Kimmin (1987) menerangkan bahwa selain pengetahuan tentang jenis-jenis yang berbea respon fotosistesisnya, ilmu silvika juga memberikan pengetahuan tentang faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi proses metabolisme, yakni caahaya, aerasi tanah, kandungan CO₂ dan O₂, dan lainnya. Oleh karena itu, kunci kedua untuk meningkatkan produktivitas pertanian dan kehutanan adalah optimalisasi pemanfaat ruang, baik di atas dan di bawah tanah. Sehingga tidak terjadi persaingan antara satu tanaman dengan tanaman lain, baik terhadap unsur hara mineral yang dibutuhkan, maupun kebutuhan ruang, baik di atas maupun di bawah tanah.

Selain optimalisasi pemanfaatan faktor lingkungan, peningkatan produktivitas dilakukan juga dengan mempertimbangkan faktor genetis tumbuhan, karena pertumbuhan tanaman juga dipengaruhi faktor genetis, selain faktor lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk mendapatkan jenis-jenis yang unggul.

Dengan pengetahuan Silvika dapat dilakukan manipulasi lingkungan sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman secara optimal, maksimalisasi pemanfaatan ruang baik di atas maupun di dalam tanah (tajuk dan akar) sehingga meningkatkan efisiensi pemanfaatan udara dan hara yang pada akhirnya akan meningkatkan produktivitas.

Masano (1991) menjelaskan bahwa untuk membudidayakan suatu jenis tanaman secara luas hendaknya dikuasai terlebih dahulu teknik silvikulturnya yang meliputi kegiatan perbenihan dan pengadaan bibit, cara-cara penanaman, pemeliharaan serta penanganan gangguan hama dan penyakit yang terjadi. Untuk dapat tumbuh secara optimal, suatu jenis tanaman memerlukan tempat tumbuh tertentu, apabila persyaratan tempat tumbuh tidak dipenuhi maka tanaman akan tumbuh lambat, kerdil bahkan dapat mengalami kematian. Faktor tempat tumbuh yang utama antara lain meliputi tanah, iklim dan tinggi tempat (Masano, 1991). Faktor-faktor tersebut dipelajari dalam ilmu Silvika.

Sebagai contoh penerapan pengetahuan silvika adalah penggunaan jenis-jenis yang multi guna dan multi produk sehingga dapat dipanen beberapa macam hasil dari suatu jenis tanaman, antara lain adalah (a) menghasilkan aneka jenis produk, misalnya kayu pertukangan, kayu bakar, bahan pangan (buah, biji, bunga, daun atau bagian lain), pakan ternak, bahan obat, pestisida nabati dan lain-lain, (b) produktivitas tinggi, (c) cepat tumbuh, (d) regenerasi mudah, (e) dapat diusahakan bersamaan dengan komoditas lain, dan (g) dapat membantu menyuburkan tanah dan mencegah erosi (Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, 1991).

Sumbangan ilmu silvika yang lain adalah membantu upaya perbaikan genetis, menyediakan varietas-varietas yang cepat tumbuh yang memberi hasil yang tinggi untuk diusahakan sebagai tanaman HTI

serta dapat merehabilitasi lahan yang rusak sehingga penting untuk pelestarian hutan, dengan program-program: (a) penyediaan plasma untuk program pemuliaan plasma nutfah, (b) pengembangan metode untuk produksi biji / benih secara efektif, dan (c) penentuan jasad-jasad renik yang membantu regenerasi (Sastrapradja *et al.*, 1991).

Jadi secara ringkas dapat disampaikan bahwa sumbangan pengetahuan silvika dalam peningkatan produktivitas pertanian dan kehutanan, terutama adalah dalam hal optimalisasi penangkapan cahaya matahari, optimalisasi pemanfaatan hara mineral, dan optimalisasi penggunaan ruang, serta penggunaan bibit unggul. Pengetahuan silvika memberikan bekal bagaimana memilih jenis dalam rangka optimalisasi pemanfaatan sumberdaya dan lingkungan, sehingga akan terjadi sinergis di antara jenis terpilih dan pada akhirnya akan meningkatkan produktivitas.

Bab 4

PERANAN pH TANAH DALAM PERTUMBUHAN POHON

Reaksi tanah menunjukkan sifat kemasaman atau alkalinitas tanah yang dinyatakan dengan nilai pH. Nilai pH menunjukkan banyaknya konsentrasi ion hidrogen (H^+) di dalam tanah. Makin tinggi kadar ion H^+ di dalam tanah, semakin masam tanah tersebut. Di dalam tanah selain H^+ dan ion-ion lain ditemukan pula ion OH^- , yang jumlahnya berbanding terbalik dengan banyaknya H^+ . Pada tanah-tanah yang masam jumlah ion H^+ lebih tinggi daripada OH^- , sedang pada tanah alkalis kandungan OH^- lebih banyak daripada H^+ . Bila kandungan H^+ sama dengan OH^- maka tanah bereaksi netral yaitu mempunyai pH = 7 (Hardjowigeno, 1995).

Metode paling akurat dalam mengukur keasaman tanah adalah dengan menggunakan pH meter. Pada metode elektronik ini konsentrasi hidrogen dari larutan tanah adalah seimbang terhadap standar elektroda hidrogen (Pritchett, 1979).

Larcher (1995); Salisbury dan Ross (1995) menyatakan bahwa kelarutan unsur tertentu dan laju penyerapannya oleh tumbuhan sangat dipengaruhi oleh pH. Besi, seng, tembaga, dan mangan kurang larut pada tanah basa dibandingkan tanah asam karena ion ini mengendap sebagai hidroksida pada pH tinggi. Salisbury dan Ross (1995) memberikan contoh, yaitu klorosis akibat defisiensi besi lazim dijumpai pada tanah di bagian Barat Amerika Serikat, yang sering bersifat basa. Fosfat, yang kebanyakan terserap dalam bentuk ion $H_2PO_4^-$ valensi satu, lebih segera terserap dari larutan hara dengan nilai pH 5,5 sampai 6,5 ketimbang pada nilai pH lebih rendah atau lebih tinggi. Pada tanah ber-pH tinggi, lebih banyak fosfat yang berada dalam bentuk ion HPO_4^{2-} valensi dua yang lambat terserap.

Selain itu, sebagian besar fosfat berada dalam bentuk kalsium fosfat yang tidak larut. Pada tanah ber-pH rendah, yang seharusnya banyak mengandung H_2PO_4^- , konsentrasi ion aluminium yang sering tinggi menyebabkannya mengendap sebagai aluminium fosfat.

Konsentrasi aluminium yang cukup tinggi pada tanah asam (pH dibawah 4,7) dapat menghambat pertumbuhan beberapa species, tidak hanya karena efeknya yang merusak ketersediaan fosfat, tapi tampaknya juga karena penghambatan penyerapan besi dan karena efek racun secara langsung terhadap metabolisme tumbuhan. Selain itu Sanchez (1976) *dalam* Tamadjoe (1995) menyatakan, keasaman tanah dapat berpengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap pertumbuhan tanaman. Pengaruh langsungnya adalah terhadap kelarutan ion-ion H^+ dan Al^{3+} , dimana dalam jumlah yang banyak dapat menghambat perkembangan perakaran tanaman, sehingga daerah penyebarannya akan sempit. Sedangkan pengaruhnya yang tidak langsung adalah terhadap ketersediaan unsur-unsur hara makro tanah akan berkurang dengan meningkatnya keasaman tanah. Selain itu jika pH tanah kurang dari 4,2 dapat menyebabkan penyerapan kation-kation oleh akar tanaman dapat terhenti (Black, 1964 *dalam* Tamadjoe, 1995). Kandungan hara mikro seperti boron, tembaga, mangan, dan besi secara umum meningkat seiring dengan meningkatnya keasaman tanah (pH lebih rendah). Pada tanah dimana cadangan hara ini rendah, reduksi nyata pada keasaman tanah akan menghasilkan defisiensi satu atau lebih dari elemen esensial ini. Sebagai contoh, defisiensi cepat dari besi dan boron telah ditandai pada area lokal dari tegakan muda pinus slash di bagian tenggara pesisir Amerika. Pergerakan angin dan air dari partikel batuan kapur atas jalan raya hutan ditemukan penurunan keasaman dari tanah berpasir menyebabkan pohon mengalami defisiensi hara mikro pada 10 – 20 m dari jalan raya. Gejala defisiensi secara umum

menghilang bersamaan dengan terbangunnya sistem perakaran menembus tanah asam (Pritchett, 1979).

Lee (1971) *dalam* Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (1991) melaporkan bahwa keracunan Al akan mengurangi serapan hara P, Ca, K, Mn, Fe, Cu, dan Zn. Hasil penelitian Chandler dan Silva (1974) *dalam* Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (1991) menunjukkan bahwa kadar N, P, dan K daun kedelai sangat berkurang dengan meningkatnya kejenuhan Al tanah. Pada tanah asam unsur Mo juga bisa tidak tersedia atau tidak ada, padahal unsur Mo diperlukan untuk pembentukan bintil akar pada tumbuhan legum.

Lebih jauh lagi, Pritchett (1979) menjelaskan bahwa kebanyakan tanah hutan memiliki keasaman sedang sampai tinggi merupakan hasil dari pelepasan asam organik selama dekomposisi dari lapisan serasah dan efek dari pencucian (*leaching*) dari permukaan tanah mineral. Sebagai hasilnya, tipe vegetasi yang tumbuh pada tanah memiliki pengaruh pada tingkat keasaman tanah karena perbedaan nyata kandungan dasar serasah mereka. Tanah yang mendukung tajuk daun jarum cenderung lebih asam daripada tanah yang mendukung species daun lebar, karena daun jarum dan serasahnya memiliki kandungan dasar lebih rendah. Hubungan ini tidak selalu jelas. Karena species memiliki perbedaan toleransi terhadap keasaman tanah, kondisi tanah lebih mempengaruhi komunitas pohon daripada komunitas pohon mempengaruhi reaksi yang terjadi di tanah. Sebagai contoh, banyak pohon daun lebar seperti *Platanus occidentals*, *Liriodendron tulipifera*, dan beberapa species *Quercus sp.* memiliki area optimum mendekati netral, sementara species daun lebar lainnya tumbuh baik dibawah kondisi asam sedang. Di lain pihak, kebanyakan species *Tsuga*, *Picea*, *Abies*, dan *Pinus* tumbuh

baik pada tanah asam, dan sebagai konsekuensinya serasah mereka asam.

Dengan sedikit pengecualian, species-species hutan beradaptasi baik pada kondisi tanah asam dan, faktanya, tumbuh baik pada media asam sedang. Reaksi tanah, tidak dapat dipungkiri, dapat mengatur distribusi tumbuhan sensitive asam yang lebih. Species seperti *Sabal palmetto* dan *Juniperus silicicola* kadang-kadang berperan sebagai tumbuhan indikator, karena mereka terkadang ditemukan pada tanah yang mengandung batu kapur pada kedalaman dangkal. Bagaimanapun juga, distribusi tumbuhan indikator tersebut tidak selalu penunjuk nyata terhadap keasaman tanah karena efek modifikasi dari iklim dan hara tanah atau supply air pada pertumbuhan pohon. Lebih jauh lagi, beberapa genera pohon yang tahan asam, seperti *Tsuga* dan *Abies*, kadang-kadang ditemukan tumbuh sukses pada tanah *calcareous*, seperti "acidophilous" vegetasi bawah (*Rumex*, *Ledum*, dan *Chamaedaphne*) tumbuh dengan subur pada derajat pH yang relatif tinggi apabila kompetisi species toleran lainnya tidak keras.

Berdasarkan uraian di atas, sebagaimana disimpulkan Hardjowigeno (1995), pentingnya pH tanah terhadap pertumbuhan tanaman sebagai berikut :

1. Menentukan mudah tidaknya unsur-unsur hara diserap tanaman. Pada umumnya unsur hara mudah diserap akar tanaman pada pH tanah disekitar netral, karena pada pH tersebut kebanyakan unsur hara mudah larut dalam air. Pada tanah masam unsur P tidak dapat diserap tanaman karena diikat (difiksasi) oleh Al, sedang pada tanah alkalis unsur P juga tidak dapat diserap tanaman karena difiksasi oleh Ca.

2. Menunjukkan kemungkinan adanya unsur-unsur beracun. Pada tanah-tanah masam banyak ditemukan ion-ion Al di dalam tanah, yang kecuali memfiksasi unsur P juga merupakan racun bagi tanaman. Pada tanah-tanah rawa pH yang terlalu rendah (sangat masam) menunjukkan kandungan sulfat tinggi, yang juga merupakan racun bagi tanaman. Di samping itu pada reaksi tanah yang masam, unsur-unsur mikro juga menjadi mudah larut, sehingga ditemukan unsur mikro yang terlalu banyak. Unsur ini akan menjadi beracun apabila terlalu banyak. Termasuk unsur mikro dalam jenis ini adalah Fe, Mn, Zn, Cu, Co. Unsur mikro yang lain yaitu Mo dapat menjadi racun kalau pH terlalu alkalis. Disamping itu tanah yang terlalu alkalis juga sering mengandung garam yang terlalu tinggi yang juga dapat menjadi racun bagi tanaman.
3. Mempengaruhi perkembangan mikroorganisme yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman.
 - a. Bakteri berkembang dengan baik pada pH 5,5 atau lebih sedang pada pH kurang dari 5,5 perkembangannya sangat terhambat.
 - b. Jamur dapat berkembang baik pada segala tingkat keasaman tanah. Pada pH lebih dari 5,5 jamur harus bersaing dengan bakteri.
 - c. Bakteri pengikat nitrogen dari udara dan bakteri nitrifikasi hanya dapat berkembang dengan baik pada pH lebih dari 5,5.

Bab 5

OPTIMASILASI PERTUMBUHAN *TECTONA GRANDIS* YANG DITANAM DI DAERAH DIENG, JAWA TENGAH YANG MEMPUNYAI KARAKTERISTIK TANAH SELALU TERGENANG AIR

***Tectona grandis* dan persyaratan tumbuhnya**

Tectona grandis L.f. merupakan salah satu jenis dari sedikit jenis marga *Tectona*. Sementara itu *Tectona* merupakan marga satu-satunya dari puak *Tectonae* yang termasuk anak suku Viticoideae, suku Verbenaceae (Sutisna *et al.*, 1998). Nama umum bagi *Tectona* adalah jati. Berbagai formasi hutan jati dikelompokkan ke dalam 3 tipe utama, yaitu formasi jati alami lembab (curah hujan tahunan [1300 -] 1500 – 2500 mm), formasi jati alami kering (curah hujan tahunan 760 – 1500 mm), dan formasi jati Indonesia (curah hujan tahunan 1200 – 2000 mm) (Sutisna *et al.*, 1998).

Penyebaran alam jati terdapat di Asia Tenggara, India, Burma, sampai Laos. Di Indonesia *T. grandis* (jati) terdapat secara alami, terutama di Jawa, Kangean, Bali dan Muna. Selain itu ditemukan pula di Buton, Maluku (Wefer), Sumbawa, dan Lampung (Sastrosumarto dan Suhaedi, 1985 *dalam* Yulianti, 1995). Secara alami tumbuhan jati ditemukan pada berbagai formasi geologi, antara lain pada batu pasir tersier yang lunak dan batu kapur (Wepf, 1954 *dalam* Yuliani, 1995; Hamzah, 1975 *dalam* Tamadjoe, 1995) di tanah-tanah rendah dari 0 sampai 500 m dpl (Wepf, 1954 *dalam* Yuliani, 1995). Di antara berbagai jenis tanah, tanah lempung berpasir yang paling cocok untuk pertumbuhan jati, karena jati memerlukan tanah dengan drainase dan aerasi yang baik (Soerianegara, 1960 *dalam* Tamadjoe, 1995). Sementara itu, Sutisna *et al.*, (1998) menyatakan bahwa tanah yang paling cocok untuk jati adalah aluvial – koluvial yang

dalam, berdrainase baik, subur dengan pH 6,5 – 8,0 dan kandungan Ca dan P yang cukup tinggi.

Direktorat Jenderal Kehutanan (1976) menambahkan bahwa selain kondisi di atas, jati membutuhkan iklim musim yang nyata, yaitu dengan musim kemarau yang periodik. Jati sangat membutuhkan tanah yang beraerasi baik, sedangkan ketinggian tempat tumbuh pada umumnya di bawah 700 m dpl. Menurut Streets (1962) *dalam* Tamadjoe, 1995) pertumbuhan jati akan mencapai optimum apabila curah hujan rata-rata dalam setahun 1250 mm sampai dengan 3750 mm, dengan bulan kering 3 – 5 bulan.

Soekotjo (1977) *dalam* Yulianti (1995) menyebutkan bahwa jati termasuk tanaman yang tahan terhadap kekurangan air untuk selang waktu 0 – 10 hari, dan jika lebih dari itu tanaman akan tumbuh merana dan mati. Sementara itu, Sutisna *et al.*, (1998) menyatakan bahwa jati tidak tahan genangan atau tanah laterit miskin hara, namun merupakan jenis pionir berumur panjang. Salah satu ciri dari perakaran jati yang harus diperhatikan adalah tidak tahan terhadap kekurangan zat asam (O₂).

Temperatur udara optimum untuk pertumbuhan jati adalah 22°C sampai dengan 27°C. Berkurangnya hutan jati di atas ketinggian 700 m dpl disebabkan oleh karena temperatur udara turun kurang dari 22°C (Tamadjoe, 1995).

Pertumbuhan *T. grandis* jika ditanam di daerah Dieng, Jawa Tengah yang mempunyai karakteristik tanah selalu tergenang air

Jika *T. grandis* ditanam di daerah Dieng, Jawa Tengah yang tanahnya selalu tergenang, maka tanah yang selalu tergenang tersebut merupakan faktor pembatas bagi pertumbuhannya, karena *T. grandis*

antara lain tidak tahan genangan. Pada kondisi tergenang, aerasi tanah menjadi jelek dan oksigen dalam tanah sangat berkurang. Sementara itu, jati bukan merupakan jenis tanaman yang toleran dengan kondisi tanah yang kandungan oksigennya rendah, sehingga tanaman *T. grandis* tersebut akan mengalami cekaman (stress) oksigen. Pada tanaman yang mengalami cekaman oksigen, karena tanahnya tergenang air, maka akan menyebabkan ketidakseimbangan metabolisme tumbuhan.

Kozlowski (1984) *dalam* Salisbury dan Ross (1995) menyatakan bahwa salah satu efek kekurangan oksigen tersebut mengakibatkan terjadinya hambatan pengangkutan hormon sitokinin dari akar muda ke batang, sehingga menghambat pertumbuhan tanaman. Dampak lain dari kekurangan oksigen adalah berkurangnya kemampuan tanaman dalam menyerap garam mineral, terutama nitrogen yang dapat mengakibatkan daun layu, kemudian diikuti oleh fotosintesis dan translokasi karbohidrat yang lambat, sebab kekurangan oksigen akan menurunkan permeabilitas akar terhadap air, dan akumulasi bahan beracun yang disebabkan oleh aktivitas mikroba anaerob di sekitar akar (Drew, 1979 *dalam* Salisbury and Ross, 1995; Larcher, W, 1995; Mohr dan Schopfer).

Pada kondisi kekurangan oksigen yang sangat (*anoxia*), maka respirasi yang terjadi berganti ke lintasan anaerob. Ketidakhadiran oksidasi terminal karena oksigen yang sangat kurang, acetaldehyde dan ethanol terakumulasi di dalam sel. Peningkatan kandungan ethanol merupakan ciri dari gejala kekurangan oksigen. Asam abscisic, ethylene dan prekursor ethylene terbentuk dalam jumlah banya, menyebabkan di daun ebagian stomata tertutup, epinasty, dan sering daun gugur. Sistem membran sel rusak, mitokondria dan badan golgi terdisintegrasi dan kerja-kerja enzimnya sebagian

terhambat (Larcher, W, 1995; Mohr dan Schopfer, 1995; Salisbury dan Ross, 1995). Etanol dan asam laktat yang dihasilkan tersebut dapat meracuni tanaman (Salisbury dan Ross, 1995).

Oleh karena itu, tanaman *T. grandis* yang ditanam di daerah Dieng, Jawa Tengah yang tanahnya selalu tergenang air tersebut tidak akan dapat tumbuh dan berkembang, dan pada akhirnya akan mati.

Selain itu, karena daerah Dieng merupakan dataran tinggi yang ketinggiannya lebih dari 700 m dpl, sehingga suhunya diduga kurang dari 22°C. Kondisi suhu yang rendah tersebut menyebabkan terhambatnya proses metabolisme tanaman *T. grandis* sehingga pertumbuhannya terhambat, karena seperti yang disampaikan oleh Tamadjoe (1995) pertumbuhan jati optimal pada suhu 22°C sampai dengan 27°C, dan akan berkurang pada suhu diluar kisaran tersebut.

Cara mengoptimalkan pertumbuhan *T. grandis* yang di tanam di daerah Dieng, Jawa Tengah yang selalu tergenang

Seperti yang sudah diulas sebelumnya, faktor utama sebagai penghambat pertumbuhan *T. grandis* di daerah Dieng tersebut adalah tanahnya yang mengalami defisiensi oksigen karena selalu tergenang. Kondisi tersebut tidak saja menyebabkan pertumbuhan tanaman *T. grandis* terhambat, namun lebih parah dari itu adalah menyebabkan kematian tanaman tersebut. Oleh karena itu, agar pertumbuhan tanaman *T. grandis* tersebut bisa optimal, maka harus dilakukan upaya agar air tidak menggenangi areal penanaman, sehingga defisiensi oksigen di dalam tanah bisa diatasi.

Beberapa upaya yang bisa dilakukan antara lain adalah: (a) membuat saluran air, sehingga air tidak lagi menggenangi areal tanam, (b) pada areal yang akan ditanami, maka penanaman dilakukan setelah

areal tanam tidak lagi tergenang air, (c) pola tanam yang digunakan adalah tumpangsari, dimana jenis sela yang digunakan adalah jenis yang memiliki transpirasi tinggi, sehingga akan semakin memperbaiki aerasi tanah, (d) jarak tanam yang digunakan adalah lebar, sehingga akan mengurangi kelembaban tanah. Upaya pada point (d) sekaligus diperlukan untuk tidak semakin memperbesar kendala suhunya yang memang sudah rendah

Bab 6

OPTIMALISASI PERTUMBUHAN *TECTONA GRANDIS* YANG DITANAM DI DAERAH BANTAR BOLANG, JAWA TENGAH YANG MEMPUNYAI KARAKTERISTIK TANAH KERING

Kondisi Umum Wilayah Bantar Bolang dan Sekitarnya

Daerah hutan Bantar Bolang secara administrasi pengelolaan hutan, termasuk wilayah kerja BKPH Bantar Bolang, KPH Pemalang, Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah. KPH Pemalang dengan luas 24.423,45 ha, secara administratif berada di wilayah Kabupaten Tegal (8500,9 ha) dan Kabupaten Pemalang (15922,5 ha). Sedangkan Secara geografis KPH Pemalang terletak pada 2°2' - 2°45' BT dan 5°45' - 7°05' LS (Firmansyah, 2000).

Wilayah hutan KPH Pemalang dibagi dalam 3 bagian hutan, yaitu:

- Bagian Hutan Jatinegara, 8500,9 ha
- Bagian Hutan Bantar Bolang, 7858 ha
- Bagian Hutan Comal 8064,0 ha

Tanah di KPH Pemalang umumnya bertekstur sedang hingga liat, berstruktur remah hingga bergumpal dengan jenis tanah latosol. KPH Pemalang berada pada ketinggian antara 0-100 mdpl dengan konfigurasi lapangan curam, miring, datar dan berombak. Untuk bagian hutan Bantar Bolang konfigurasi lapangan datar 22%, berombak 37%, miring 39%, dan curam 2%. berdasarkan klasifikasi Scmidt dan Fergusson (1951), KPH Pemalang memiliki tipe iklim D (Firmansyah, 2000). Wilayah yang memiliki tipe iklim D menurut klasifikasi Scmidt dan Fergusson merupakan wilayah yang memiliki musim kering agak keras, sehingga jenis-jenis gugur daun, seperti jati sangat cocok tumbuh di daerah tersebut.

Pertumbuhan tanaman *T. grandis* yang ditanam di Bantar Bolang

Pertumbuhan tanaman akan optimal manakala berbagai persyaratan tumbuhnya terpenuhi. Oleh karena itu, sebelum dilakukan penanaman perlu dilakukan *spesies-site matching*, sehingga akan diketahui apakah suatu jenis cocok ditanam pada areal yang akan ditanami.

Sebagaimana sudah diulas pada jawaban nomor 4, tumbuhan *T. grandis* tumbuh baik dan optimal pada daerah tropis yang memiliki karakter, antara lain sebagai berikut:

- (a) berbagai formasi geologi, antara lain pada batu pasir tersier yang lunak dan batu kapur (Wepf, 1954 *dalam* Yuliani, 1995; Hamzah, 1975 *dalam* Tamadjoe, 1995)
- (b) tanah lempung berpasir, karena memiliki drainase dan aerasi yang baik (Soerianegara, 1960 *dalam* Tamadjoe, 1995), dan tanah aluvial – koluvial yang dalam, berdrainase baik, subur dengan pH 6,5 – 8,0 dan kandungan Ca dan P yang cukup tinggi (Sutisna *et al.*, 1998)
- (c) ketinggian 0 sampai 500 m dpl (Wepf, 1954 *dalam* Yuliani, 1995) dan malah sampai 700 m (Direktorat Jenderal Kehutanan, 1976)
- (d) daerah yang beriklim musim nyata, yaitu dengan musim kemarau yang periodik (Direktorat Jenderal Kehutanan, 1976) dimana curah hujan rata-rata dalam setahun antara 1250 mm sampai dengan 3750 mm, dengan bulan kering 3 – 5 bulan (Streets, 1962 *dalam* Tamadjoe, 1995)

Jika kondisi wilayah yang dibutuhkan (persyaratan tumbuh) tanaman *T. grandis* dikomparasikan dengan data dan informasi kondisi wilayah Bantar Bolang dan sekitarnya, maka dapat disimpulkan bahwa daerah

Bantar Bolang dan sekitarnya cocok untuk ditanami tanaman *T. grandis*. Oleh karena itu, diyakini bahwa tanaman *T. grandis* yang ditanam di daerah Bantar Bolang akan tumbuh dengan baik, selama tidak ada kondisi ekstrim lain terdapat di daerah tersebut.

Dalam rangka untuk optimalisasi produksi, maka sebaiknya digunakan bibit jati unggul yang sudah teruji, dan pemenuhan teknik silvikultur lainnya, serta penanganan kegiatan *social forestry* secara baik. Sehingga masyarakat sekitar kawasan mendukung aktivitas pengelolaan hutan dan pada akhirnya kedua belah pihak, baik Perum Perhutani dan masyarakat, akan mendapatkan keuntungan.

Bab 7

AIR DAN PERTUMBUHAN POHON

Peranan air dalam pertumbuhan pohon

Air esensial bagi kehidupan. Hidup dan kehidupan manusia, flora dan fauna, makroorganisme dan mikroorganisme sangat tergantung pada air. Sehingga, secara alamiah, dapat dipahami bahwa tanpa air tidak ada kehidupan, karena berbagai fungsi air bagi kehidupan tidak tergantikan oleh benda lain.

Tanaman sebagian besar disusun oleh air. Sekitar 85 – 95 % kandungan protoplasma adalah air; dan organel-organel sel, seperti kloroplas dan mitokondria (yang kaya akan lipid – dan protein) mengandung 50 % air. Daging buah sebagian besar komponennya adalah air (85 – 95 % dari berat segar), air menyusun 80 – 90 % bagian daun yang lunak, 70 – 90 % akar. Kayu yang baru ditebang mengandung sekitar 50 % air. Bagian tumbuhan yang mengandung sedikit air adalah buah masak (biasanya 10 – 15 %), dan beberapa biji yang menyimpan banyak lemak hanya mengandung 5 - 7 % air (Kramer, 1983 *dalam* Larcher, 1995).

Air merupakan faktor penting untuk memfungsikan secara tepat sebagian besar proses-proses tumbuh-tumbuhan dan tanah. Air mempengaruhi, baik secara langsung maupun tidak langsung, hampir semua proses dalam tumbuhan, aktivitas metabolisme sel dan tumbuh-tumbuhan berkaitan dengan kadar air (Kramer, 1969 *dalam* Pritchett, 1979). Untuk melangsungkan proses metabolik yang diperlukan tanaman, air memerankan berbagai fungsi di dalam tanah. Sebagai pelarut dan sebagai media transfer unsur hara, sumber hidrogen, pengatur suhu tanah dan aerasi serta sebagai pengencer bahan beracun di dalam tanah (Pritchett, 1979). Selain itu, air bagi

tanaman berperan dalam mempertahankan tekanan turgor (turgiditas) sel dan suhu dalam tubuh tanaman sehingga metabolisme dalam tanaman tidak terganggu akibat fluktuasi suhu lingkungan (Mohr dan Schopfer, 1995; Larcher, 1995; Salisbury dan Ross, 1995).

Selanjutnya Pritchett (1979) menjelaskan bahwa tanah yang kaya akan mineral secara lengkap tanpa adanya air tidak akan produktif, sebaliknya tanah pasir yang miskinpun dapat mendukung produktivitas hutan secara layak jika disertai kadar air yang cukup. Salisbury & Ross, 1995 menyatakan bahwa air mampu melarutkan lebih banyak bahan dan zat cair umum lainnya, karena air mempunyai koefisien dielektrik yang termasuk paling tinggi, yang merupakan kemampuan untuk menetralkan gaya tarik menarik antar muatan listrik. Sisi positif air ditarik oleh ion atau permukaan molekul polar yang negatif dan sisi negatifnya ditarik oleh ion atau permukaan positif. Jadi molekul air membentuk suatu sangkar mengelilingi ion atau molekul polar, sehingga ion dan molekul tersebut tidak dapat bergabung dengan yang lain, dan tidak mungkin mengkristal membentuk endapan.

Air sebagai pelarut dalam suatu organisme sangat penting untuk proses metabolisme, misalnya proses osmosis sangat bergantung pada bahan terlarut yang ada di dalam cairan sel. Struktur molekul protein dan asam nukleat serta aktivitas biologis protoplasma sangat bergantung pada molekul air. Molekul air secara aktif terlibat dalam reaksi kimia yang menjadi dasar kehidupan, bersama dengan molekul CO₂ air merupakan substrat bagi fotosintesis.

Jadi, alasan mengapa air diperlukan untuk pertumbuhan pohon antara lain adalah karena air:

- (a) merupakan komponen utama dan terbesar dari pohon,

- (b) sebagai pelarut dan medium untuk berbagai proses biokimia dalam pohon,
- (c) sebagai pelarut dan sebagai media transfer unsur hara,
- (d) sebagai baku fotosintesis (bersama CO₂), dan reaksi biokimia lainnya dalam pohon,
- (e) mempertahankan tekanan turgor (turgiditas) sel,
- (f) mengatur dan mempertahankan suhu di dalam pohon, sehingga metabolisme pohon tidak terganggu akibat fluktuasi suhu lingkungan
- (g) mengatur suhu tanah dan aerasi serta sebagai pengencer bahan beracun di dalam tanah, sehingga pohon tidak mengalami keracunan.

Mengapa pohon di hutan rawa riapnya lebih kecil daripada di darat?

Sebelumnya sudah dibicarakan mengapa air penting bagi pohon (tumbuhan). Sepertinya terlihat ada kontradiksi, yaitu air sangat dibutuhkan bagi pertumbuhan pohon (tumbuhan), namun mengapa pohon di hutan rawa riapnya lebih kecil daripada di darat? Padahal, jika dibandingkan dengan di darat, di hutan rawa air lebih banyak tersedia. Fenomena ini akan dijelaskan sebagai berikut:

Riap pohon merupakan penambahan dimensi pohon per satuan waktu. Pertambahan riap hanya terjadi manakala hasil fotosintesis lebih besar dari respirasi. Pada tingkat individu pohon, produktivitas pohon dinyatakan Jordan (1983) sebagai perbedaan laju fotosintesis bruto dengan laju respirasi, sehingga didapatkan fotosintesis bersih. Jika laju fotosintesis bruto lebih besar dari laju respirasi, maka riap pohon akan bertambah atau dapat dikatakan pohon tersebut mengalami pertumbuhan.

Sedangkan pada tingkat komunitas pohon (hutan), produktivitas biasanya dinyatakan sebagai produktivitas primer bersih (*net primary productivity/NPP*). Konsepnya serupa dengan fotosintesis bersih, yaitu NPP merupakan perbedaan laju produksi primer bruto dengan laju respirasi (Jordan, 1983; Perry, 199?). Dengan demikian, faktor yang menentukan besarnya riap pohon adalah berapa besar fotosintesis bersihnya. Oleh karena itu, untuk menjawab alasan mengapa riap di hutan rawa lebih kecil dibandingkan hutan di darat harus diperhatikan proses metabolisme yang terjadi antara pohon di hutan rawa dan di darat. Untuk memahami hal tersebut perlu didukung dengan pengenalan kondisi tapak, baik hutan rawa, maupun hutan di darat.

Kebutuhan akan berbagai unsur dan kondisi, serta berbagai komponen lainnya, baik kualitas maupun kuantitasnya, akan berbeda antara (a) satu jenis pohon dengan jenis pohon lainnya, (b) satu jenis pohon yang berbeda umumnya. Bisa jadi suatu jenis pohon mengalami stres karena suatu kondisi, namun jenis yang tidak mengalami hal tersebut karena dapat beradaptasi pada kondisi tersebut. Oleh karena itu, Mohr dan Schopfer (1995) menjelaskan suatu jenis pohon memiliki batas minimum dan maksimum dalam hubungannya dengan berbagai faktor lingkungan (hara mineral, suhu, dan lainnya) yang berbeda antara satu jenis pohon dengan pohon lainnya dan individu dalam satu jenis namun berbeda umurnya.

Hutan Rawa dan Kondisi Habitanya

Secara umum hutan rawa diklasifikasikan ke dalam dua golongan, yaitu hutan rawa gambut dan hutan rawa air tawar (Whitmore, 1975; Anwar *et al.*, 1984; Kusmana, 1995; Nirarita *et al.*, 1996). Hutan rawa gambut terbentuk di daerah pesisir sebagai lahan basah pesisir, maupun jauh di darat sebagai lahan basah daratan. Tipe lahan basah ini berkembang terutama di dataran rendah dekat daerah pesisir, di belakang hutan bakau di sekitar sungai atau danau.

Terdapat dua tipe rawa gambut yaitu gambut ombrogen dan gambut topogen. Pada gambut ombrogen tidak dipengaruhi oleh pasang surut air dan tidak mendapat pasokan air dari sungai. Air yang terdapat di dalamnya hanya berasal dari air hujan. Itulah sebabnya gambut ini biasanya miskin unsur hara dan bersifat asam. Sedangkan gambut topogen umumnya terbentuk di daerah pedalaman dari dalam pantai, namun dapat juga terbentuk di daerah yang terkena pengaruh pasang surut. Rawa gambut topogen biasanya masih mendapat masukan air dari aliran permukaan sehingga memiliki unsur hara yang relatif lebih tinggi dari gambut ombrogen (Anwar *et al.*, 1984).

Sedangkan hutan rawa air tawar antara lain memiliki kondisi antara lain adalah (a) lapisan gambut pada hutan rawa air tawar hanya sedikit (beberapa centimeter) atau tidak mengandung gambut sama sekali, (b) pada umumnya, tanahnya berupa tanah aluvial yang subur dan mempunyai drainase yang relatif baik, sehingga jauh berbeda dari kondisi tanah yang miskin hara di daerah hutan rawa gambut, (c) air yang menggenangi hutan rawa air tawar berasal dari air hujan, sungai dan air permukaan lainnya, (d) pada musim kering, di hutan rawa air tawar terdapat sisa-sisa atau bekas genangan air (Nirarita *et al.*, 1996).

Respirasi anaerob

Kondisi tapak pada hutan rawa mengalami penggenangan dalam waktu lama atau selalu tergenang air, baik rawa gambut maupun rawa air tawar. Jadi, memang dalam kondisi normal hutan rawa tidak mengalami kekurangan, namun akibat habitatnya tergenang air menyebabkan akar mengalami kekurangan oksigen, sehingga akar pohon di hutan rawa mengalami cekaman oksigen yang sangat berkurang. Secara morfologi pohon-pohon di hutan rawa memiliki adaptasi terhadap kondisi tanah yang kekurangan oksigen, yakni

dengan membentuk akar nafas dan lentisel di akar nafas tersebut (Whitmore, 1975; Anwar *et al.*, 1984; Nirarita *et al.*, 1996), sehingga dengan adanya akar nafas dan lentisel tersebut akar yang terendam bukanlah anoksik, tetapi hipoksik (berada pada tingkat oksigen yang berkurang). Kondisi ini berbeda dengan jati yang terendam, karena jati tidak memiliki adaptasi morfologi untuk beradaptasi pada lingkungan yang terendam air.

Bentuk adaptasi morfologi ini umum terdapat pada tumbuhan yang tanahnya kekurangan oksigen (hipoksia), yakni ketika tanah tempat tumbuhannya kekurangan oksigen maka tumbuhan akan membentuk jaringan ventilasi (*aerenchyma*) (Larcher, 1995; Salisbury dan Ross, 1995). Adanya jaringan ventilasi (*aerenchyma*) memungkinkan difusi oksigen yang lebih cepat dari pucuk ke akar, yang akan membantu respirasi akar hipoksia.

Saat kekurangan oksigen, maka salah satu lintasan respirasi yang terjadi adalah lintasan anaerob/fermentasi. Ketidakhadiran oksidasi terminal karena oksigen yang sangat kurang, acetaldehyde dan ethanol terakumulasi di dalam sel. Peningkatan kandungan ethanol merupakan ciri dari gejala kekurangan oksigen. Asam abscisic, ethylene dan prekursor ethylene terbentuk dalam jumlah banyak, menyebabkan di daun bagian stomata tertutup, epinasty, dan sering daun gugur. Sistem membran sel rusak, mitokondria dan badan golgi terdisintegrasi dan kerja-kerja enzimnya sebagian terhambat (Larcher, W, 1995; Mohr dan Schopfer, 1995; Salisbury dan Ross, 1995). Etanol dan asam laktat yang dihasilkan tersebut dapat meracuni tanaman (Salisbury dan Ross, 1995).

Sementara itu, pohon di daratan tidak mengalami stress oksigen, karena dalam kondisi normal oksigen tersedia dalam jumlah cukup di dalam tanah, begitu juga dengan air. Walaupun jumlah air di dalam

tanah darat di sekitar perakaran lebih kecil dibandingkan hutan rawa, namun jumlah tersebut cukup untuk mendukung proses metabolisme pohon (tumbuhan) yang tumbuh di darat tersebut.

Alasan mengapa riap pohon di hutan rawa lebih kecil dibandingkan di darat

Berdasarkan uraian tersebut maka dapat dipahami mengapa riap pohon di hutan rawa lebih kecil dibandingkan di darat. Secara ringkas dapat dikatakan bahwa penyebab lebih rendahnya riap pohon di hutan rawa dibandingkan di darat adalah bukan karena masalah air, tetapi adalah karena dampak dari penggenangan air di hutan rawa yang menyebabkan tanah kekurangan oksigen, sehingga akar pohon di hutan rawa mengalami cekaman oksigen. Sementara pohon di hutan darat tidak mengalami cekaman oksigen tersebut, sehingga pertumbuhan pohon di hutan darat akan lebih besar dibandingkan pohon di hutan rawa.

Kondisi tersebut semakin jelas dengan uraian berikut:

Salah satu efek kekurangan oksigen di tanah adalah terjadinya hambatan pengangkutan hormon sitokinin dari akar muda ke batang, sehingga menghambat pertumbuhan tanaman Kozlowski (1984) *dalam* Salisbury dan Ross (1995). Dampak lain dari kekurangan oksigen adalah berkurangnya kemampuan tanaman dalam menyerap garam mineral, terutama nitrogen yang dapat mengakibatkan daun layu, kemudian diikuti oleh fotosintesis dan translokasi karbohidrat yang lambat, sebab kekurangan oksigen akan menurunkan permeabilitas akar terhadap air, dan akumulasi bahan beracun yang disebabkan oleh aktivitas mikroba anaerob di sekitar akar (Drew, 1979 *dalam* Salisbury and Ross, 1995; Larcher, W, 1995; Mohr dan Schopfer).

Bab 8

PROSES TRANSPIRASI, FOTOSINTESIS DAN FIKSASI NITROGEN TANAMAN *PARASETIANTHES FALCATARIA* PADA TANAH PADAT DAN ASAM

Tanah padat akan menyebabkan porositas tanah berkurang, nilai kohesi tanah meningkat, sudut geser tanah akan bertambah besar (Farrel & Greace, 1996 *dalam* Matangaran, 1992). Hill & Cruse (1985) *dalam* Matangaran (1992) lebih lanjut menyatakan bahwa meningkatnya kepadatan tanah menyebabkan pertumbuhan akar terganggu, terutama untuk pertumbuhan anakan pohon samapai kedalaman 5 cm. Makin tinggi tingkat kepadatan tanah makin dangkal penetrasi akar. Frolich & Robbins (1983) *dalam* Matangaran (1992) menemukan bahwa kenaikan tingkat kepadatan tanah menyebabkan reduksi laju pertumbuhan diameter total pohon *Pinus ponderosa*.

Tanah asam memiliki kelarutan yang tinggi terhadap unsur-unsur Al, Fe dan Mn yang bersifat toksik bagi tumbuhan. Lee (1971) *dalam* Dirjen Dikti (1991) melaporkan bahwa keracunan Al akan mengurangi serapan hara P, Ca, K, Mn, Fe, Cu, dan Zn. Hasil penelitian Chandler & Silva (1974) *dalam* Dirjen Dikti (1991) menunjukkan bahwa kadar N, P, dan K daun kedelai sangat berkurang dengan meningkatnya kejenuhan Al tanah. Pada tanah asam unsur Mo juga bisa tidak tersedia atau tidak ada, padahal unsur Mo diperlukan untuk pembentukan bintil akar pada tumbuhan legum.

Paraseriantes falcataria atau yang dikenal dengan sengon termasuk ke dalam famili leguminosae yang secara alami dapat bersimbiosis dengan bakteri *Rhizobium* untuk membentuk bintil akar. Jenis ini mulai tumbuh dari pantai hingga ketinggian 1.500 m dari permukaan

laut. Pada dasarnya sengon dapat tumbuh pada berbagai macam jenis tanah, bahkan sampai tanah tandus. Namun sengon tumbuh baik pada tanah regosol, aluvial dan tanah latosol, dengan pH netral, yakni sekitar 6 – 7. Tumbuh baik pada iklim basah sampai agak kering. Paling baik pada tempat dengan curah hujan tahunan 4.500 mm tanpa bulan kering (Santoso, 1992)

Berdasarkan kondisi demikian, maka pengaruh tanah padat dan asam terhadap proses (a) transpirasi, (b) fotosintesis, dan (c) fiksasi nitrogen pada tanaman *P. falcataria* (sengon) dapat dijelaskan sebagai berikut:

A. Pengaruh tanah padat dan asam terhadap proses transpirasi tanaman *P. falcataria*

Pada tanah padat dimana poros tanah berkurang maka akan sangat sedikit sekali ruang kosong antar agregat tanah atau pori-pori tanah, sehingga sangat sedikit ruang infiltrasi dan penyimpanan air yang tersedia pada tanah padat tersebut. Transpirasi merupakan proses penguapan air dari daun melalui stomata atau mulut daun. Proses buka mulut stomata antara lain dipengaruhi oleh suplai air, dimana stomata cenderung akan membuka apabila suplai air cukup dan menutup manakala suplai air kurang atau tidak ada. Oleh karena kekurangan suplai air akan mengurangi jumlah stomata yang dibuka, sehingga akan mengurangi transpirasi. Kurangnya transpirasi akan membahayakan keselamatan daun dan bagian-bagian lainnya dari sengatan cahaya matahari, sehingga daun akan layu atau malah bisa rusak permanen lalu mati. Tumbuhan akan mati apabila air yang tersedia mencapai titik layu permanen (neraca air negatif).

B. Pengaruh tanah padat dan asam terhadap proses fotosintesis tanaman *P. falcataria*

Proses fotosintesa secara umum terdiri dari dua reaksi, yaitu reaksi terang dan reaksi gelap. Pada reaksi terang terjadi proses fotolisis yaitu pemecahan molekul air (H_2O) dengan bantuan cahaya matahari menjadi H^+ , O_2 dan energi berupa ATP. Pemecahan molekul air juga dibantu oleh unsur Cl^- . Ion H^+ selanjutnya dibutuhkan sebagai salah satu substrat, selain unsur karbon (C) dalam pembentukan senyawa umum berbentuk karbohidrat $(CH_2O)_n$ setelah melalui reaksi gelap. Pembentukan energi berupa ATP terjadi jika tersedia unsur Pi (phosphor independen) sehingga ADP dapat diubah menjadi ATP. Energi ATP tersebut dibutuhkan dalam rangka untuk menjalankan reaksi gelap dalam rangka pembentukan senyawa karbohidrat. Oleh karena tanah padat dan asam mengalami kekurangan molekul H_2O , maka ion H^+ yang dihasilkan dalam reaksi terang juga berkurang, demikian juga dengan pembentukan ATP akan terganggu karena unsur Al pada tanah masam akan mengurangi penyerapan unsur P oleh akar. Oleh karena itu, suplai ion H^+ dan ATP yang dibutuhkan lebih lanjut dalam reaksi terang akan berkurang.

Reaksi gelap diawali dengan fiksasi CO_2 melalui pembukaan stomata. Oleh karena air dalam daun kurang yang diawali dengan kurangnya air dalam tanah padat menyebabkan stomata cenderung tertutup. Sehingga CO_2 yang dapat difiksasi juga akan berkurang. Selain itu reaksi gelap juga akan terganggu karena suplai ATP yang kurang dari reaksi gelap. Dengan demikian secara umum proses fotosintesis akan terhambat.

Apabila kondisi kekurangan air dan unsur P yang diserap serta fiksasi CO_2 berada di bawah toleransi metabolisme tumbuhan, maka proses

fotosintesis tidak akan terjadi dan akhirnya tanaman akan mengalami kematian.

C. Pengaruh tanah padat dan asam terhadap proses fiksasi nitrogen tanaman *P. falcataria*

Fiksasi nitrogen merupakan proses penangkapan gas nitrogen oleh tumbuhan untuk keperluan pertumbuhannya. Fiksasi nitrogen ini umumnya dilakukan oleh famili Leguminosae, termasuk didalamnya adalah jenis *P. falcataria* yang bersimbiosis dengan bakteri *Rhizobium* membentuk nodul akar. Salah satu unsur penting agar nodul akar terbentuk adalah unsur Mo. Oleh karena pada tanah asam unsur Mo tidak tersedia atau malah tidak ada, maka pembentukan nodul akar akan mengalami hambatan atau malah tidak terjadi, sehingga fiksasi tidak terjadi.

Jikalau pun nodul akar terbentuk atau dalam arti terjadi simbiosis antara akar dengan bakteri *Rhizobium* walaupun dalam jumlah terbatas, maka proses fiksasi nitrogen akan terjadi walaupun sangat terbatas, yang antara lain disebabkan oleh: (1) gas nitrogen, baik dalam bentuk N_2O maupun N_2 yang bisa di fiksasi tanaman, hanya tersedia sedikit karena pori-pori tanah yang terdapat pada tanah padat juga sangat sedikit, dan (2) pada tanah masam mikroorganisme pengurai bahan organik yang menghasilkan gas nitrogen dan bakteri pengikat nitrogen pun tidak bisa hidup, sehingga nodul akar pun bisa tidak terbentuk.

Oleh karena itu, pada tanah padat dan asam proses fiksasi bisa tidak terjadi atau kalau pun terjadi jumlahnya sangat terbatas yang disebabkan oleh (1) sedikitnya gas nitrogen yang tersedia akibat ruang pori tanah yang terbatas, (2) mikroorganisme pengurai bahan organik untuk menghasilkan gas nitrogen tidak bisa hidup, dan (3)

bakteri penambat nitrogen yang dapat bersimbiosis dengan akar, yaitu bakteri *Rhizobium* tidak bisa hidup, sehingga nodul akar tidak terbentuk, serta (4) akan diperparah oleh ketidaktersediaan unsur Mo pada tanah asam, dimana unsur Mo tersebut sangat penting dalam pembentukan nodul akar, sehingga ketiadaan unsur Mo dan bakteri *Rhizobium*, seperti point no 3, maka nodul akar tidak terbentuk dan akhirnya fiksasi nitrogen tidak terjadi.

Bab 9

PROSES TRANSPIRASI PADA TANAMAN PADA DASARNYA ADALAH MEKANISME PENDINGINAN DAUN. MENGAPA DEMIKIAN?

Proses transpirasi merupakan proses pelepasan molekul-molekul air dari daun melalui stomata yang disebabkan oleh terjadinya pemanasan permukaan daun oleh cahaya matahari. Sebagian dari energi cahaya matahari akan diserap oleh tumbuhan, terutama membantu reaksi terang pada proses fotosintesis. Namun sebagian energi cahaya matahari jika tidak dilepaskan justru akan meningkatkan suhu tumbuhan, terutama pada bagian daun yang umumnya berstruktur tipis. Hal ini tentunya akan membahayakan bagi keberlangsungan proses metabolismenya bahkan dapat merusak komponen-komponen penyusunnya dan enzim yang relatif sensitif. Maka untuk menetralkan suhu yang berlebihan, daun melakukan mekanisme pelepasan molekul-molekul air ke udara melalui stomata. Energi cahaya matahari yang diterima daun sebagian akan dipakai untuk meningkatkan energi kinetik molekul-molekul air, sehingga molekul air tersebut bisa lepas ke udara bersama energi panas tersebut (dibutuhkan 580 kalori untuk menguapkan 1 gram air) sedangkan air yang masih tertinggal masih relatif dingin.

Air, sebagaimana salah satu sifatnya, akan bergerak dari daerah yang berenergi potensial tinggi ke daerah yang berenergi potensial rendah. Tanah umumnya memiliki energi potensial yang lebih tinggi dari akar yang lebih besar dari batang dan lebih besar dari daun, serta lebih besar dari udara (energi potensial tanah > akar > batang > daun > udara). Gradien potensial inilah yang menyebabkan pergerakan molekul-molekul air dari akar teris ke batang dilanjutkan ke daun dan kemudian lepas ke udara. Besarnya laju transpirasi ditentukan oleh

perbedaan kerapatan uap air di antara ruang sub stomata dengan udara bebas di sekitarnya serta daya hantar stomata. Berdasarkan mekanisme tersebut, maka air yang masih dingin akan terus mengalir ke daun untuk ditranspirasikan lagi. Demikian secara terus-menerus berlangsung secara simultan, sehingga suhu daun akan tetap terjaga dan relatif dingin. Sehingga dengan demikian dapat disimpulkan bahwa proses transpirasi merupakan mekanisme pendinginan daun.

Bab 10

PERTUMBUHAN POHON YANG DITANAM PADA TANAH KEKURANGAN UNSUR Mn^{+} DAN Cl^{-}

Unsur Mn^{+} bagi tanaman berperan dalam proses respirasi dan metabolisme nitrogen, dimana di dalam kedua proses tersebut Mn^{+} berperan sebagai aktivator enzim (*enzymatic activator*). Misalnya enzim *malic dehydrogenase* yang diperlukan dalam siklus Krebs, demikian juga enzim *oxalosuccinic decarboxylase*. Dalam proses reduksi nitrat, Mn^{+} berperan sebagai aktivator enzim *nitrite reductase* dan *hydroxylamine reductase*. Unsur Mn^{+} juga diperkirakan berperan dalam proses perombakan atau oksidasi *indole-3-acetic acid* (IAA), yakni suatu auksin alami tumbuhan. Unsur Mn^{+} juga dijumpai pada semua tumbuhan tingkat tinggi serta ganggang *Ankistrodesmus braunii* yang berperan dalam proses produksi O_2 dalam proses fotosintesa. Lebih jauh Mn^{+} juga berperan dalam proses elektron dari air kepada klorofil (Devlin & Withan, 1983). Menurut Bishop (1971) dalam Mengel & Kirkby (1981) unsur Mn^{+} berperan penting dalam fotosistem II yang berperan dalam proses fotolisis.

Secara umum semua literatur menyatakan bahwa kekurangan Mn^{+} pada tanah terutama akan menyebabkan gangguan pada kloroplas, yakni akan ditandai dengan meningkatnya sensitifitas kerusakan klorofil oleh panan matahari sehingga menyebabkan klorosis, bercak nekrotis, hilangnya butiran kanji, warna kloroplas menjadi hijau kekuningan, kemudian pecah.

Mengingat kloroplas merupakan tempat dimana terjadi proses fotosintesa, maka apabila terjadi hambatan atau gangguan padanya tentu akan menghambat pula kelangsungan proses fotosintesa. Akibatnya pertumbuhan pohonpun akan terganggu.

Unsur Cl^- terutama berperan dalam memacu oksidasi H_2O dalam fotosintesis. Selain itu, unsur Cl^- juga menyusun *asam 4-kloroindolasetat* yang diduga sebagai *auksin* alami tumbuhan (Salisbury & Ross, 1992). Unsur Cl^- juga berperan penting bagi akar, yakni ikut mengatur tekanan osmosis, dan dalam proses pembelahan sel pada daun.

Kekurangan unsur Cl^- ditandai dengan gejala menurunnya pertumbuhan, terjadi pelayuan, dan munculnya bercak klorosis dan nekrotis. Daun menjadi berwarna coklat tembaga, akar pendek dan tebal atau membengkak di bagian ujung (Salisbury & Ross, 1992). Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa kekurangan unsur Cl^- akan sangat menghambat berlangsungnya pertumbuhan pohon.

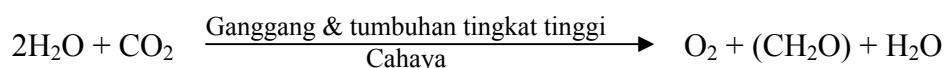
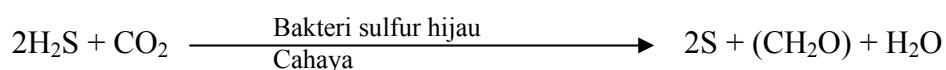
Bab 11

DARIMANAKAH SUMBER OKSIGEN YANG DIHASILKAN DARI PROSES FOTOSINTESA DAN BAGAIMANA MEKANISMENYA?

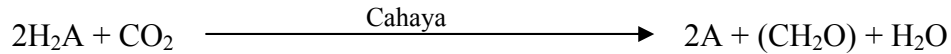
Berdasarkan substrat pada proses fotosintesa, ada dua kemungkinan sumber oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesa tersebut, yaitu mungkin dari air (H₂O) atau mungkin dari karbondioksida (CO₂).

Van Niel (1941) dalam Devlin dan Withan (1983) melakukan studi biokimia yang kemudian memperlihatkan konsep awal proses fotosintesa. Van Niel menyatakan bahwa reduksi CO₂ oleh bakteri fotosintetik memerlukan suatu oksidasi yang simultan dari substrat (donor) hidrogen dari media pertumbuhan. Dia juga memperhatikan bahwa asimilasi CO₂ tidak disertai dengan evolusi O₂ dan proses berhenti jika suplai substrat donor hidrogen habis. Variasi senyawa sebagai substrat donor hidrogen dapat digunakan. Beberapa senyawa tersebut adalah senyawa organik, misalnya alkohol dan asam organik; juga yang anorganik, seperti hidrogen sulfida (H₂S) tiosulfat dan molekul hidrogen.

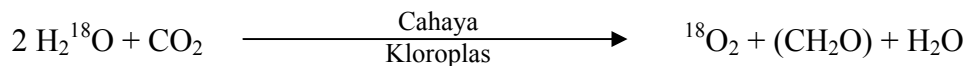
Proses asimilasi CO₂ oleh bakteri sulfur hijau membutuhkan kehadiran H₂S sebagai sumber hidrogen. Salah satu hasil reaksinya adalah molekul sulfur. Kemudian dibandingkan dengan proses fotosintesa jenis ganggang dan tumbuhan tingkat tinggi yang memerlukan H₂O sebagai sumber hidrogennya, dimana molekul O₂ menjadi salah satu hasil reaksinya. Persamaan di bawah ini menggambarkan dua tipe fotosintesa.



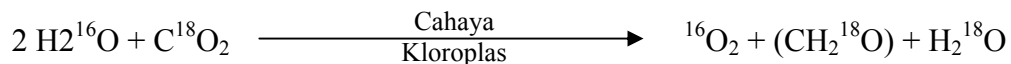
Dari kedua persamaan reaksi di atas, van Niel menyarankan rumus umum fotosintesa adalah sebagai berikut:



Berdasarkan persamaan-persamaan reaksi di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa O_2 yang dihasilkan dari proses fotosintesa berasal dari molekul H_2O , bukan dari CO_2 . Kesimpulan ini juga didukung oleh suatu studi isotropik yang menggunakan isotop oksigen berat (^{18}O). Apabila fotosintesa berlangsung dengan adanya H_2^{18}O dan CO_2 , maka dihasilkan molekul oksigen berisotop berat dengan reaksi sebagai berikut:



Sebaliknya, jika fotosintesa dengan menggunakan H_2O isotop normal dan C^{18}O_2 , maka molekul oksigen yang terbentuk adalah molekul oksigen isotop normal (^{16}O) dengan reaksi sebagai berikut:



Bab 12

KECEPATAN FOTOSISTESA TANAMAN *SHOREA SELANICA* DAN *ZEA MAYS* APABILA DITANAM PADA KETINGGIAN 500 M, 1.000 M, DAN 1.500 M DI ATAS PERMUKAAN LAUT

***Shorea selanica* Bl.**

Shorea selanica (Fam. Dipterocarpaceae) merupakan salah satu jenis meranti asli Indonesia yang secara alami banyak terdapat di Pulau Buru, Maluku Utara. Selain di Pulau Buru, *S. selanica* banyak dijumpai di kepulauan Sula dan Obi (Pulau Obira). Jenis ini tumbuh pada tanah-tanah latosol dan podsolik merah kuning dengan tipe-tipe iklim antara A (Sula Barat), B (Pulau Santana), dan D (Namlea, Pulau Buru). Rata-rata bulan kering berkisar 2 – 5 bulan dan bulan basah 6 – 7 bulan dengan curah hujan per tahun sebesar 1.388 mm di Namlea dan 1.720 mm di Sula. Jenis ini merupakan jenis yang dominan pada hutan-hutan dataran rendah dari ketinggian 15 sampai 120 m di atas permukaan laut (dpl) (van Slooten, 1952 dalam Soerianegara, 1990). Sedangkan menurut LBN-LIPI (1977) dalam Matangaran (1992), jenis *S. selanica* tumbuh pada hutan tropis dengan tipe curah hujan B, pada tanah latosol, podsolik merah kuning dan podsolik kuning, pada ketinggian sampai 1.300 m dpl.

Pohon *S. selanica* berukuran raksasa dengan tinggi mencapai 50 m bahkan 60 m dengan diameter setinggi dada 1 m. Kayunya terbilang keras dengan kulit berwarna coklat tua, banyak dipergunakan untuk membuat rumah dan tiang-tiang perahu (Heyne, 1950 dalam Soerianegara, 1990). Bagian pinggir daunnya berwarna coklat tua dengan bentuk bagian ke arah memanjang lebih panjang daripada bagian lebar. Bagian ujung daun meruncing setelah bentuk cembung. Bagian pangkal daun meruncing. Panjang daun 10 – 20 cm dengan

lebar 4,5 – 7,5 cm. Permukaan daunnya tertutup oleh rambut-rambut pendek halus, kecuali pada bagian ibu tulang daun. Bagian bawah berwarna lebih suram, agak berkerut dengan sisik-sisik seperti jambul, juga berbulu coklat (Hamimah, 1970 *dalam* Matangaran, 1992).

Jenis-jenis pohon famili Dipterocarpaceae bersifat toleran pada tingkat semai, dan bersifat intoleran setelah meningkat pada tahap pancang dan tinang (Tugadar, 1978 *dalam* Soerianegara, 1990).

***Zea mays* L.**

Zea mays atau lebih dikenal dengan jagung merupakan makanan penting ketiga di dunia setelah gandum dan padi. Tanaman ini dapat tumbuh pada berbagai keadaan lingkungan mulai dari daerah tropis hingga subtropis, di daerah dengan curah hujan sebanyak 25 cm hingga 500 cm tiap tahun, dan tumbuh mulai ketinggian 0 m sampai 4.000 m dpl, seperti di Andes, optimum pada ketinggian 800 m. Tinggi tanaman ini mulai dari 60 cm dengan jumlah daun sebanyak 8 (delapan) lembar hingga tinggi 700 cm dengan jumlah daun sebanyak 48 lembar. Umur mulai dari 3 bulan hingga lebih dari setahun pada beberapa lokasi yang tinggi (Duncan, 1975 *dalam* Sitaniapessy, 1985).

Tumbuhan C3 dan C4

Berdasarkan produk utama awal penambatan CO₂, tumbuhan digolongkan ke dalam spesies C3 dan C4. Spesies tumbuhan yang menghasilkan asam 4-karbon sebagai produk utama awal penambatan CO₂ dikenan sebagai spesies C4, sedangkan yang mula-mula menambat CO₂ menjadi 3-PGA disebut spesies C3. Tapi beberapa spesies mempunyai sifat antara yang dianggap sebagai

spesies peralihan secara evolusi dari C3 ke C4 (Edward dan Ku, 1987 dalam Salisbury dan Ross, 1995).

Jagung beserta tebu dan sorgum yang termasuk tanaman pertanian penting, serta berbagai rumput pakan ternak tergolong tumbuhan C4. Lintasan C4 terjadi pada lebih dari 1.000 spesies anggota Angiospermae. Semua gymnospermae, briofita, dan ganggang, serta sebagian besar pteridofita termasuk ke dalam tumbuhan C3, sebagaimana juga hampir semua pepohonan dan semak (Salisbury dan Ross, 1995). Dengan demikian, jenis *S. selanica* termasuk tumbuhan C3.

Tumbuhan C4 banyak mendapat perhatian terutama karena beberapa diantaranya penting secara ekonomi dan karena pada penyinaran tinggi dan suhu panas, tanaman C4 mampu berfotosintesis lebih cepat dan menghasilkan lebih banyak biomassa dibandingkan dengan tumbuhan C3.

Terbukti bahwa pada spesies C4 terdapat pembagian kerja antara dua macam sel fotosintesa, yaitu: sel mesofil dan sel seludang berkas. Kedua sel tersebut diperlukan untuk menghasilkan sukrosa, pati, dan produk tumbuhan lainnya. Satu atau kadang-kadang dua) lapisan sel seludang berkas yang sangat rapat, sering berdinding tebal dan agak tak permeabel terhadap gas, hampir selalu mengelilingi berkas pembuluh daun dan memisahkannya dari sel mesofil. Berbeda dengan tumbuhan C3 yang juga sering mempunyai seludang berkas yang lebih tersamar, sel seludang berkas tumbuhan C4 memiliki dinding yang lebih tebal, jauh lebih banyak kloroplas, mitokondria, dan organel lain, serta vakuola pusat yang lebih kecil.

Tumbuhan C4 lebih banyak menyesuaikan diri dan berkembang daripada spesies C3 pada daerah gersang berskala, seperti savana

tropika. Apabila suhu mencapai 25°-35°C dan cahaya cukup terik, tumbuhan C4 sekitar dua kali lebih efisien dibandingkan tumbuhan C3 dalam mengubah energi matahari menjadi bahan kering.

Fotosintesis pada tumbuhan C3 sering dibatasi oleh tingkat CO₂ atmosfer, tapi tumbuhan C4 dibatasi sedikit saja oleh CO₂ sebab tumbuhan ini secara efektif memompa CO₂ ke seludang berkas, ketika asam malat dan asam aspartat diangkut ke dalam sel tersebut. Pemompaan ini akan menimbun CO₂ di seludang berkas yang akan digunakan dalam daur Calvin, sehingga CO₂ tidak terlalu membatasi fotosintesis pada tumbuhan C4 dibandingkan tumbuhan C3. Efisiensi fotosintesis yang rendah pada tumbuhan C3 terutama disebabkan oleh hilangnya sebagian CO₂ yang ditambat dengan meningkatnya cahaya, kehilangan ini terjadi karena fenomena fotorespirasi atau respirasi yang tergantung sepenuhnya pada penerimaan cahaya (Salisbury dan Ross, 1995).

Laju fotosintesis sebanding dengan jumlah sinar matahari yang diterima, akan tetapi pada titik jenuh cahaya, penambahan cahaya tidak akan menambah laju fotosintesis, sehingga untuk setiap tumbuhan pada tingkat pertumbuhan berbeda memerlukan intensitas cahaya yang berbeda (Toumey dan Korstian, 1958 dalam Soerianegara, 1990).

Selanjutnya dikatakan bahwa produksi dari tanaman tidak akan mencapai potensi produksinya disebabkan oleh berbagai kendala, antara lain kendala biofisik. Kendala biofisik meliputi air, pupuk, karbondioksida, cahaya, suhu udara, tanah, selain dari varietas yang digunakan.

Tabel 1. Beberapa karakter fotosintetik tumbuhan C3 dan C4

No.	Karakter Fotosintetik	Tumbuhan C3	Tumbuhan C4
1.	Anatomi daun	Sel fotosintesa tidak punya berkas yang jelas	Sel seludang berkas tertata baik, kaya organel
2.	Enzim karboksilase	Rubisko	PEP karboksilase, lalu rubisko
3.	Kebutuhan energi (CO ₂ : ATP : NADPH)	1 : 3 : 2	1 : 5 : 2
4.	Nisbah transpirasi (g H ₂ O/g peningkatan bobot kering)	450 – 950	250 – 350
5.	Nisbah klorofil daun <i>a</i> terhadap <i>b</i>	2,8 ± 0,4	3,9 ± 0,6
6.	Kebutuhan Na ⁺ sebagai mikrohara	Tidak	Ya
7.	Titik kompensasi CO ₂ (μ mol / mol CO ₂)	30 – 70	0 – 10
8.	Fotosintesis dihambat O ₂ 21%	Ya	Tidak
9.	Adakah fotorespirasi	Ya	Hanya diseludang berkas
10.	Suhu optimum bagi fotosintesis	15° – 25 °C	30° – 47°C
11.	Produksi bahan kering (ton/ha/th)	22 ± 0,3	39 ± 1,7
12.	Produksi bahan kering Maksimum yang tercatat (ton/ha/th)	34 – 39	50 – 54

Sumber: Salisbury & Ross, 1995

Kecepatan fotosintesa *S. selanica* vs *Z. mays* apabila ditanam pada ketinggian 500 m, 1000 m dan 1500 m dpl.

Perbedaan ketinggian elevasi terutama terkait dengan masalah perbedaan suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan kandungan CO₂ di udara. Berdasarkan tinjauan pustaka sebelumnya, terkait laju fotosintesa terutama diduga lebih pada aspek ekologi suhu dan ketersediaan CO₂ di udara.

Seperti data pada Tabel 1, jenis *S. Selanica* tumbuh baik pada ketinggian tanah 15 m sampai 120 m dpl, dan masih dapat tumbuh sampai ketinggian 1.300 m dpl, sedangkan *Z. mays* dapat tumbuh mulai dari 0 m sampai 4.000 m dpl dan optimum pada ketinggian 800 m dpl. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua jenis tumbuhan tersebut memiliki tingkat adaptasi lingkungan yang berbeda, dimana *Z. mays* memiliki tingkat toleransi yang jauh lebih lebar.

Atas dasar kondisi tersebut, apabila kedua jenis tersebut ditanam pada ketinggian 500 m dpl, maka diduga laju fotosintesa *Z. mays* tetap akan lebih tinggi dibandingkan *S. Selanica*. Ketinggian 500 m dpl tersebut bukan merupakan kisaran elevasi pertumbuhan terbaik *S. Selanica*, sedangkan *Z. mays* sebagai tumbuhan C4 dengan susunan organel-organel fotosintisnya yang spesifik (sel mesofil dan sel seludang berkas) akan lebih mampu memanfaatkan energi matahari serta penyerapan CO₂ yang ada.

Apabila ketinggian penanaman ditingkatkan menjadi 1.000 m dpl, laju fotosintesis *S. Selanica* akan semakin rendah dibandingkan *Z. mays*. Pada ketinggian tersebut, kandungan CO₂ udara semakin kurang dan *S. Selanica* sebagai tumbuhan C3 tidak menambat CO₂ hasil respirasinya yang berbeda dengan *Z. mays* sebagai tumbuhan C4 dapat menambat CO₂ hasil respirasinya pada sel seludang berkas.

Pada ketinggian 1.500 m dpl diduga *S. Selanica* tidak dapat hidup lagi, tidak mampu berfotosintesis dan melakukan metabolisme lainnya, sedangkan *Z. mays* masih bisa tumbuh dengan baik. Hal terutama disebabkan perbedaan struktur anatomi organ-organ fotosintesisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, J., S.J. Damanik, N. Hisyam, dan A.J. Whitten, 1984. Ekologi Ekosistem Sumatera. Gadjah Mada University Stress. pp. 246 – 271.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. 1991. Rangkuman. Prosiding Lokakarya Nasional Penelitian dan Pengembangan Pohon Serbaguna. Bogor.
- Departemen Kehutanan. 1986. Studi Penyusunan Pola Pengembangan Hutan Perkotaan di DKI Jakarta. Departemen Kehutanan – Kantor Wilayah DKI Jakarta, Jakarta.
- Devlin, R.M. & F.H. Witham. 1983. Plant Physiology. 4th Ed. Wadsworth Publ. Co. Belmont, California.
- Direktorat Jenderal Kehutanan. 1976. Vademecum Kehutanan Indonesia. Departemen Pertanian, Jakarta. p. 142 – 143.
- Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. 1991. Kesuburan Tanah. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta.
- Dwijoseputro, D. 1980. Pengantar Fisiologi Tumbuhan. PT. Gramedia. Jakarta.
- Fardiaz, S. 1992. Polusi Air dan Udara. Penerbit Kanisius Jakarta.
- Firmansyah, M.A., 2000. Laporan Praktek Pengenalan dan Pengelolaan Hutan. Fahutan IPB
- Hardjowigeno, S. 1988. Ilmu Tanah. PT. Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta.
- Jordan, C.F. 1983. Productivity of Tropical Rain Forest Ecosystems and Implication for their Use as Future Wood and Energy Sources. *Dalam* Golley, F.B. (Ed.). Tropical Rain Forest Ecosystem: Structure and Function. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. pp. 117 – 136.
- Kusmana, C. 1995. Wetland (Lahan Basah). Fakultas Kehutanan IPB, Bogor.
- Larcher, W. 1995. Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. 3rd Ed. Springer-Verlag, Berlin.
- Lasat, M.M., A.J.M. Baker and L.V. Kochian. 1996. Physiological characterization of Root Zn²⁺ Absorption and Translocation to Shoots in Zn Hyperaccumulator and Nonaccumulator Species of *Thlaspi*. *Plant Physiology* 112:1715-1722
- Manan, S. 1976. Silvikultur. Diktat Kuliah. Lembaga Kerjasama Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Masano. 1991. Permasalahan Teknik Silvikultur Jenis Pohon Serbaguna dalam Budidaya Secara Luas. Prosiding Lokakarya Nasional Penelitian dan Pengembangan Pohon Serbaguna. Bogor.

- Matangaran, J.R. 1992. Pengaruh Intensitas Penyaradan Kayu oleh Traktor Berban Ulat terhadap Pematatan Tanah dan Pertumbuhan Kecambah Meranti (*Shorea selanica* Bl.) dan Jeunjing (*Paraserianthes falcataria* Nelson). Tesis Program Pascasarjana IPB. Bogor.
- Mengel, K. & E.A. Kirkby. 1981. Principle of Plant Nutrition. Part I. Dr Bund AG. Bern, Switzerland.
- Mohr, H., & P. Schopfer. 1995. Plant Physiology. Springer-Verlag, Berlin.
- Nirarita, C. E., P. Wibowo, S. Susanti, D. Padmawinata, Kusmarini, M. Syarif, Y. Hendriani, Kusniangsih, & L.br. Sinulingga. 1996. Ekosistem Lahan Basah Indonesia. Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Pelestarian Alam, Wetlands International Indonesia Programme, Canada Fund, Pusat Pengembangan Penataran Guru Ilmu Pengetahuan Alam, dan British Petroleum, Bogor. pp. 95 - 106
- Odum, E.P. 1998. Dasar-dasar Ekologi. Edisi Ketiga (Terjemahan). Gadjah Mada University Press.
- Perry, D.A. 199?. Forest Ecosystem. The John Hopkins University Press, Baltimore and London. pp. 300 – 338.
- Pritchett, W.L. 1979. Properties and management of forest soils.
- Riani, E. 2002. Perubahan Kualitas Air dan Dampaknya dalam Upaya Pemulihan Kerusakan Sumberdaya Alam. Makalah disampaikan pada Workshop Penetapan Kriteria Perhitungan Beban Biaya Kerusakan Sumberdaya Alam pada tanggal 31 Oktober 2002 di Institut Pertanian Bogor.
- Saepulloh, C. 1995. Akumulasi Logam Berat (Pb, Cd, Ni) pada Jenis *Avicennia marina* di Hutan Lindung Angke Kapuk DKI Jakarta. (Skripsi). Fakultas Kehutanan IPB, Bogor.
- Salisbury, F.B. & C.W. Ross. 1995. Fisiologi Tumbuhan. Terjemahan Lukman, D.R. & Sumaryono. Penerbit ITB. Bandung.
- Santosa, I. 2002. Perubahan Kualitas Udara dan Dampaknya dalam Upaya Pemulihan Kerusakan Sumberdaya Alam. Makalah disampaikan pada Workshop Penetapan Kriteria Perhitungan Beban Biaya Kerusakan Sumberdaya Alam pada tanggal 31 Oktober 2002 di Institut Pertanian Bogor.
- Sastrapradja, Sd; S. Adisoemarto; T. Basuki & N. Sumiasri. 1991. Bioteknologi untuk Pengembangan Pohon Serbaguna untuk HTI. Prosiding Lokakarya Nasional Penelitian dan Pengembangan Pohon Serbaguna. Bogor.
- Sitaniapessy, P.M. 1985. Pengaruh Jarak Tanam dan Besarnya Populasi Tanaman terhadap Absorpsi Radiasi Surya dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). Disertasi Doktor Fakultas Pascasarjana IPB. Bogor.
- Soekotjo. 1977. Silvika. Diktat. Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

- Soerianegara, I & A. Indrawan. 1998. Ekologi Hutan. Diklat Kuliah. Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- Soerianegara, I. 1990. Upaya Peningkatan Kualitas Semai *Shorea selanica* Bl. melalui Pengaturan Intensitas Cahaya dan Pemupukan. Fakultas Kehutanan IPB. Bogor
- Sugiharto. 1987. Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah. UI Press. Jakarta.
- Sutisna, U., T. Kalima, & Purnadjaya. 1998. Pedoman Pengenalan Pohon Hutan di Indonesia. Yayasan PROSEA Bogor, Pusat Diklat Pegawai dan SDM Kehutanan, Bogor.
- Tamadjoe, A. 1995. Pengaruh Pembukaan Lahan terhadap Sifat Tanah dan Produktivitas Tanaman Jati di Areal HTI Laiwoi Selatan, Propinsi Sulawesi Tenggara. (Tesis). Program Pascasarjana Institutu Pertanian Bogor, Bogor.
- Taryana, A.T., 1995. Akumulasi Logam Berat (Cu, Mn, Zn) pada Jenis *Rhizophora mucronata* di Hutan Tanaman Mangrove Cilacap, BKPH Rawa Timur, KPH Banyumas Barat, Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah. (Skripsi). Fakultas Kehutanan IPB, Bogor.
- Whitmore, T.C. 1975. Tropical Rain Forest of the Far East. Clarendon Press, Oxford. pp. 144 – 157.
- Yuliani. 1995. Evaluasi Uji Keturunan Saudara Tiri (Half-Sib) Tanaman Jati (*Tectona grandis* L.f.) di Kendal, Cepu, dan Saradan. (Tesis). Program Pascasarjana Institutu Pertanian Bogor, Bogor.