

DIAGNOSIS FAKTOR PENGHAMBAT PERTUMBUHAN AKAR SENGON (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) PADA ULTISOL DI LAMPUNG UTARA

Kurniatun Hairiah¹, Cipto Sugiarto¹, Sri Rahayu Utami¹,
Pratiknyo Purnomosidhi² dan James M Roshetko³

¹Universitas Brawijaya, Fakultas Pertanian, Jurusan Tanah, Malang

²World Agroforestry Centre - ICRAF SE Asia, P.O. Box 161, Bogor 160011

³World Agroforestry Centre - ICRAF SE Asia dan Winrock International, USA

ABSTRACT

Due to wide-scale deforestation and their need for forest products smallholder farmers in North Lampung are becoming interested in tree farming. Farmers often cultivate a mix of fruit, spice and fast-growing timber species. *Paraserianthes falcataria* (sengon) is the most common timber tree in the area. This species demonstrates inconsistent performance, growing particularly poorly on ridges. Poor performance might be due to poor root development resulting from deficient soil conditions. Inhibition of root growth on acid soil is usually linked to Al toxicity, but other soil characteristics such as low P availability or soil physical factors (such as mechanical impedance or poor aeration) might be involved as well.

The objective of this study was to diagnose the soil factor(s) that limit(s) the growth of *Paraserianthes* on ultisol in North Lampung.

Measurements of soil bulk densities at different soil depths in Ultisol are difficult to interpret because clay content tends to increase with depth. This difficulty was addressed by correcting soil bulk density (BD) by using a 'pedo transfer function' based on clay and silt content. The resultant BD_{ref} value makes it possible to compare soils of different textures (soil depths).

The results shows that the 5 year-old *Paraserianthes* developed a shallow root system, with about 50% of main root growing horizontally in the upper 0-30 cm of the soil. No significant correlation was found between root length density (Lrv) and the concentration of exchangeable Al or monomeric Al. Poor root growth at greater soil depth (40-

70 cm and 70-100 cm) was significantly correlated ($p < 0.05$) with low P availability and high soil bulk density (after correction for texture effects) with BD/BDref values of > 1.14 . The data also suggests lower BD/BDref values and better root growth for microsites with higher soil organic matter as indicated by C_{-org}/C_{ref} . The BD/BDref ratio can be used as a tool to diagnose poor root growth on Ultisol in North Lampung.

Key word: *Paraserianthes falcataria*, Shoot:root ratio, Lrv, Al-toxicity, pedo-transfer

ABSTRAK

Meluasnya penebangan hutan di daerah Lampung Utara menyebabkan ketersediaan produk hutan di pasaran semakin terbatas, sehingga petani tertarik untuk menanam pohon di lahannya. Petani umumnya menanam campuran pohon buah-buahan, pohon penghasil rempah dan penghasil kayu yang cepat pertumbuhannya. Pohon sengon (*Paraserianthes falcataria*) merupakan pohon penghasil kayu yang paling banyak ditanam di daerah tersebut. Namun pertumbuhan sengon tidak merata, bahkan terhambat jika tumbuh di puncak perbukitan. Hal ini diduga karena dangkalnya sistem perakaran pohon sengon. Pada tanah masam, perkembangan akar terhambat biasanya karena tingginya konsentrasi Al di lapisan bawah, tetapi juga bisa disebabkan oleh faktor lain seperti P tersedia yang rendah, dan sifat fisik tanah (misalnya kepadatan tanah yang tinggi dan aerasi tanah yang rendah).

Tujuan dari penelitian ini adalah mendiagnosa faktor-faktor tanah yang menghambat pertumbuhan akar sengon pada Ultisol di daerah Lampung Utara.

Hasil pengukuran berat isi (BI) tanah pada Ultisol di lapangan sulit untuk diinterpretasikan, karena semakin meningkat kedalaman tanah semakin tinggi kandungan liatnya. Untuk mengatasi masalah tersebut data BI dikoreksi dengan menggunakan fungsi 'pedo-transfer' yaitu dengan memperhitungkan kandungan liat dan debu di setiap lapisan (BD_{ref}), sehingga hasilnya dapat dibandingkan.

Hasil pengamatan pada akar sengon umur 5 tahun di desa Karang Sakti, Pakuan Ratu, Lampung Utara, bahwa akar sengon berkembang dangkal; lebih dari 50 % dari total akar utama berkembang secara horizontal di lapisan atas. Tidak ada hubungan yang nyata antara dangkalnya perkembangan akar sengon dengan tingginya konsentrasi Al-dd maupun Al-monomerik di lapisan bawah. Rendahnya perkembangan akar sengon pada kedalaman 40-70 cm dan 70-100 cm berhubungan erat dan nyata ($p < 0.05$) dengan rendahnya P tersedia (P-Bray2) dan tingginya BI terkoreksi ($BI/BI_{ref} > 1.14 \text{ g cm}^{-3}$). Pertumbuhan akar akan membaik bila nilai BI/BI_{ref} tanah menurun karena meningkatnya C_{-org}/C_{-ref} dalam tanah. Nilai BI/BI_{ref} dapat dipakai sebagai alat bantu untuk mendiagnosa penghambatan pertumbuhan akar sengon pada Ultisol di Lampung Utara.

Kata kunci: *Paraserianthes falcataria*, nisbah tajuk:akar, Lrv, keracunan Al, pedo-transfer

PENDAHULUAN

Ketersediaan hutan sebagai penghasil kayu di daerah Lampung Utara semakin berkurang, sehingga ketersediaan kayu-kayuan di pasaran sangat rendah.

Pada umumnya petani menanam pohon dalam kebun campuran, terdiri dari berbagai macam pohon antara lain pohon buah-buahan, pohon penghasil rempah, pohon obat-obatan dan pohon penghasil timber. Menurut Roshetko et al. (2001) sekitar 20 % dari total populasi pohon per satuan luas lahan ditanami dengan pohon penghasil timber dan sekitar 50 % nya adalah pohon sengon (*Paraserianthes falcataria*).

Sengon merupakan pohon yang pertumbuhannya cepat, sehingga masa tunggu panen cukup singkat. Namun pertumbuhan sengon terutama yang tumbuh di puncak bukit seringkali terhambat, apalagi kalau mengalami musim kemarau panjang. Hal ini diduga karena dangkalnya sistem perakaran pohon sengon.

Pada tanah masam di Lampung Utara, perkembangan sistem perakaran tanaman sering kali dihambat oleh tingginya konsentrasi aluminium (Al) (Hairiah, 1992) dan rendahnya konsentrasi P di lapisan tanah bawah, serta adanya hambatan fisika tanah seperti tingginya berat isi (BI) tanah karena masukan bahan organik yang rendah.

Aluminium dapat berpengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap perkembangan sistem perakaran tanaman. Pengaruh langsung Al adalah melalui penghambatan pembelahan sel pada ujung-ujung akar (Foy, 1988), sehingga fungsi akar dalam menyerap air dan hara menjadi terganggu. Tingkat meracun Al dalam larutan tanah berhubungan erat dengan tingginya konsentrasi Al-inorganik monomerik yang terdiri dari Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)^+$, $Al(SO_4)$ (Blamey et al., 1983). Pengaruh tidak langsung Al terhadap perkembangan akar tanaman adalah melalui pengaruhnya terhadap pengikatan P. Ion Al pada tanah masam akan mengikat P menjadi bentuk $Al(H_2PO_4)_3$ yang sukar larut sehingga menjadi kurang tersedia bagi tanaman. Dengan demikian penanganan masalah keracunan Al dalam tanah sulit untuk dipisahkan dari masalah kekahatan P (Hairiah, 1992).

Faktor penghambat pertumbuhan akar tanaman yang lain adalah kepadatan tanah di lapisan bawah yang tinggi, biasanya diukur dari tingginya berat isi tanah (g cm^{-3}). Pada umumnya berat isi tanah semakin meningkat dengan meningkatnya kedalaman tanah, seiring dengan semakin rendahnya kandungan bahan organik tanah, aktivitas perakaran, biota, dan kandungan liat tanah (Lal dan Greenland, 1979). Rusell (1977) melaporkan bahwa BI maksimum pada tanah liat sebesar 1.45 g cm^{-3} dan untuk tanah pasir sebesar 1.75 g cm^{-3} masih memungkinkan akar tanaman untuk tumbuh.

Diagnosa penghambat pertumbuhan akar tanaman di lapangan ternyata tidak mudah dilakukan, karena masing-masing faktor penghambat dapat saling berinteraksi atau berinteraksi dengan faktor luar lainnya. Untuk memperbaiki strategi pengelolaan lahan pertanian, ketrampilan kita dalam memahami dan mendiagnosa faktor penghambat pertumbuhan akar tanaman di lapangan masih perlu ditingkatkan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor penghambat pertumbuhan akar sengon pada Ultisol, di Lampung Utara.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli hingga November, 2001, di lahan milik petani Desa Karang Sakti dan Desa Karang Rejo, Kecamatan Muara Sungkai, Kabupaten Lampung Utara.

Kondisi Umum

Desa Karang Sakti dan Desa Karang Rejo Kecamatan Muara Sungkai Kabupaten Lampung Utara, terletak pada posisi 4°32' LS dan 104°56' BT. Lahan berada pada landform yang datar sampai bergelombang dengan kemiringan antara 0-10%. Tanah dikategorikan ordo Ultisol (Prayogo, 2001). Temperatur maksimum 31.3°C di bulan Januari sampai 33.1°C di bulan Oktober, dan temperatur minimum berkisar antara 20.5°C di bulan Agustus dan 22.4°C di bulan Januari. Curah hujan rata-rata tahunan adalah 2529 mm. Dari data yang dikumpulkan 48 tahun terakhir, curah hujan tahunan terendah 1510 mm dan tertinggi 3385 mm (Hairiah *et al.*, 2002).

Penelitian ini diawali dengan mewawancarai petani pemilik lahan sengon, untuk memperoleh beberapa informasi yang berkaitan dengan pengelolaan dan permasalahan sengon yang dihadapi.

Secara umum petani di daerah ini merupakan petani transmigran dari pulau Jawa. Kedua desa lokasi penelitian dibuka sebagai desa transmigrasi (Resettlement) pada tahun 1980-an. Lahan selanjutnya ditanami ketela pohon atau jagung, kemudian berubah menjadi lahan tebu karena masuknya program TR (Tebu Rakyat) di wilayah ini. Masalah utama yang dihadapi oleh petani di daerah ini adalah rendahnya kesuburan tanah dan adanya gulma alang-alang.

Pengolahan tanah hanya dilakukan pada awal tanam pohon sengon, sekitar 5 tahun yang lalu. Hasil wawancara singkat dengan petani antara lain adalah pada musim kering banyak pohon sengon yang mati dengan berbagai gejala yang mereka temukan, misalnya pohon sengon terlihat kering dengan ciri daun sengon habis dan pada kulit batang pohon tumbuh seperti jamur berwarna kecoklatan.

Estimasi biomasa pohon

Biomasa pohon diestimasi dengan menebang 10 contoh pohon dari berbagai kondisi pertumbuhan, ditimbang berat basah, dan berat kering oven (pada suhu 800C selama 48 jam). Setiap pohon diukur diameter batang pada ketinggian 1.3 m dari permukaan tanah (dbh; *diameter at breast height*), dan data diameter dikorelasikan dengan berat biomasanya dengan persamaan alometrik (Van Noordwijk *et al.*, 2002): $Y = 0.0272 X^{2.831}$. Dimana, Y adalah biomasa kg per pohon; dan X = dbh, cm.

Pengamatan perakaran

Pengamatan perakaran sengon dilakukan pada 2 petak lahan yang berukuran antara 0.75 – 1.25 ha. Pengamatan pada setiap petak diulang 2 kali. Petak yang dipilih adalah didasarkan pada umur pohon yaitu sekitar 5 tahun, yang memiliki pertumbuhan pohon 'baik' dan 'jelek'. Pohon 'baik' adalah pohon yang memiliki dbh antara 12-20 cm, dan pohon 'jelek' dengan dbh < 12 cm.

Metode pengamatan sebaran perakaran yang digunakan adalah metoda penggalian tanah (*profile root trenching*). Lubang profil tanah dibuat berukuran 6 x 1 x 1 m, dengan arah tegak lurus terhadap baris pohon. Setiap lubang profil mencakup sebaran akar dari 3 pohon sengon yang dijadikan contoh. Contoh tanah dan akar di sepanjang dinding profil dipotong-potong dengan ukuran 20 x 10 x 10 cm sehingga diperoleh beberapa potong contoh tanah. Contoh tanah dan akar dipisahkan dengan jalan pengayakan basah, menggunakan 2 lapisan ayakan berukuran lubang 2 mm dan 250 µm. Contoh akar yang diperoleh ditentukan total panjang akar (L_{rv} , cm cm⁻³) berdasarkan metoda intersepsi garis dari Tenant (1975, dalam Smit *et al.*, 2000) dan berat keringnya (D_{rv} , g cm⁻³). Total panjang akar ditetapkan dengan metode intersepsi garis. Contoh akar selanjutnya dioven pada suhu 800 C selama ± 24 jam, dan ditimbang berat keringnya.

Untuk mengukur tingkat kompetisi akar pohon dalam sistem agroforestri dilakukan pengukuran "indeks tingkat kompetisi akar" yaitu dengan mengukur arah sebaran akar (vertikal atau horisontal) di dalam tanah yang terdekat dengan batang pokok (*proximal root*). Tanah di sekeliling pohon digali dengan hati-hati hingga akar utama di sekeliling pohon nampak dengan jelas percabangannya, kedalaman lubang yang terbentuk sekitar 0.5 m. Diameter masing-masing akar proksimal dan distribusinya dalam tanah (horizontal atau vertikal) diukur dengan jalan mengukur sudut akar yang terhadap bidang horizontal. Sebaran akar dibedakan atas horizontal dan vertical; horizontal bila sudutnya <45° dan vertical bila sudutnya >45°.

Pada setiap profil tanah diambil 2 macam contoh tanah yaitu contoh tanah terganggu dan contoh tanah utuh. Contoh tanah diambil dari kedalaman 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 70-80, 80-90 dan 90-100 cm. Contoh tanah terganggu diambil dari beberapa titik dicampur rata, dikering udarkan untuk analisis kimia meliputi C total, pH, P-tersedia (Bray2) konsentrasi Al dapat dipertukarkan (Al-dd), dan Al-monomerik. Contoh tanah utuh diambil dengan menggunakan ring logam berdiameter 5 cm pada setiap kedalaman yang diamati, selanjutnya ditetapkan berat isi (BI) nya dengan metode gravimetris.

Analisis 'pedo-transfer'

Pengukuran perubahan sifat tanah akibat adanya perubahan pengelolaan lahan masih sulit dilakukan, karena variasi kondisi tanah pembandingnya (biasanya tanah hutan). Menurut Hairiah et al. (2004) ada dua parameter tanah yang biasa dipakai sebagai indikator keberlanjutan produktivitas tanah, yaitu kepadatan tanah yang diukur dari berat isi tanahnya (BI, g cm⁻³) dan kandungan bahan organik tanah (total C-organik, %). Semakin rendah kandungan bahan organiknya dan semakin tinggi BI-nya, maka semakin rendah produktivitas tanah. Pada prakteknya interpretasi indikator ini sulit dilakukan, karena adanya perbedaan kandungan liat dan debu (tekstur tanah) dari tanah yang diuji sehingga sifat tanah aslinya (*inherent properties*) memang telah berbeda. Oleh karena itu data BI dan kandungan bahan organik tanah yang diperoleh pada percobaan ini perlu dikoreksi dengan teksturnya. Koreksi dilakukan dengan menggunakan "fungsi pedo-transfer" yang telah dikembangkan sebelumnya oleh Wösten et al. (1995, 1998). Persamaan dikembangkan dari satu seri data tanah yang mencakup banyak macam tanah pertanian di daerah beriklim sedang, sebagai berikut:

$$\text{Bila } ((\text{Liat } \% + \text{debu } \%) < 50, \text{ maka}$$

$$\text{BI}_{\text{ref}} = 1/(-1.984 + 0.01841 * \text{BO} + 0.032 * \text{Lapisan Tanah (atas atau bawah)} + 0.00003576 * (\text{liat } \% + \text{debu } \%)^2 + 67.5 / \text{MPS} + 0.424 * \text{Ln}(\text{MPS}))$$

$$\text{BI}_{\text{ref}} = 1/(0.603 + 0.003975 * \text{liat } \% + 0.00207 * \text{BO}^2 + 0.01781 * \text{Ln}(\text{BO}))$$

Dimana, BO adalah kandungan bahan organik tanah (= 1.7 * total C_{org}) dan MPS adalah rata-rata ukuran partikel pasir = 290² m.

Dengan demikian dapat dibuat index BI yaitu BI/BI_{ref}. Bila BI/BI_{ref} < 1 maka tanah tersebut gembur seperti tanah hutan; tanah pertanian biasanya memiliki BI/BI_{ref} > 1.

Kandungan bahan organik tanah yang diperoleh dikoreksi dengan kandungan liat, debu dan pH tanah (C_{ref}). Perhitungan sederhana yang telah dikembangkan oleh Van Noordwijk et al. (1997) adalah sebagai berikut:

$$C_{\text{ref}} = (Z_{\text{contoh}} / 7.5)^{0.42} \exp(1.333 + 0.00994 * \% \text{liat} + 0.00699 * \% \text{debu} - 0.156 * \text{pH}_{\text{KCl}} + 0.000427 * \text{H})$$

Dimana, Z_{contoh} = kedalaman pengambilan contoh tanah, cm; H = Ketinggian tempat, m di atas permukaan laut.

Selanjutnya diperoleh kandungan bahan organik tanah terkoreksi (C_{total}/C_{ref}). Bila C_{total}/C_{ref} = 1 berarti tanah pertanian yang diuji sama suburnya dengan tanah hutan. Bila C_{total}/C_{ref} < 1 tanah semakin tidak subur.

Analisis statistika

Data yang diperoleh dianalisis keragamannya dengan kedalaman tanah sebagai peubah bebas (uji F taraf 5 % dan 1 %) menggunakan program SYSTAT. Uji korelasi sifat tanah dengan total panjang akar lebih difokuskan pada zona perakaran > 30 cm, karena hambatan pertumbuhan akar sengon terbesar terjadi pada kedalaman tersebut.

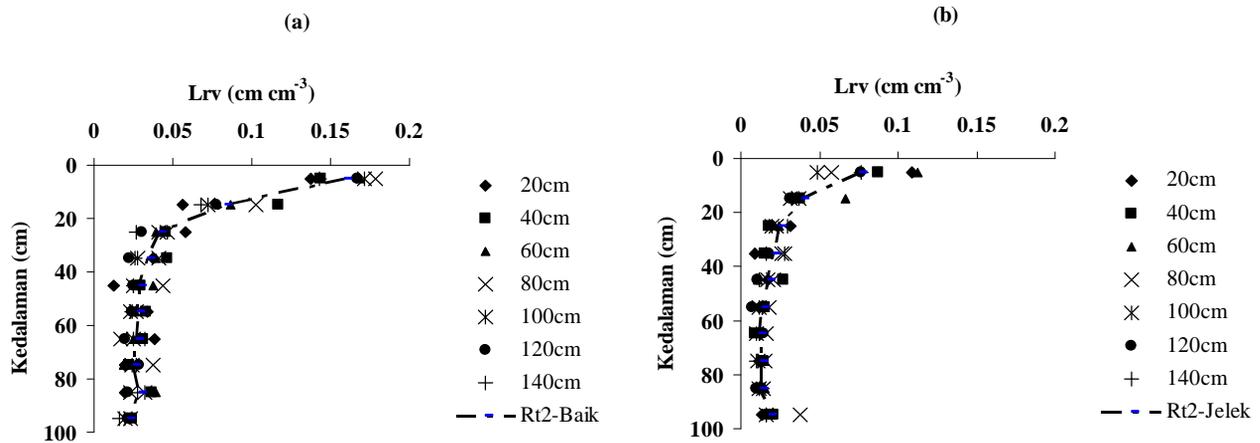
HASIL

Total panjang akar

Akar sengon di lapangan menyebar secara horizontal, berwarna coklat keputihan dan berbau seperti jengkol. Dari pengamatan ini tidak ditemukan adanya gejala hambatan pertumbuhan akar yang spesifik, seperti pembengkakan ujung-ujung akar (root breetle) seperti yang dijumpai pada akar jagung yang keracunan Al (Hairiah, 1992). Dari hasil pengamatan sebaran akar proximal, diketahui bahwa sebaran akar pohon sengon di daerah ini sebagian besar menyebar horizontal. Semua kondisi pohon sengon yang pertumbuhannya 'baik' dan 'jelek' memiliki perakaran yang berkembang secara horisontal dengan rata-rata sekitar 54%. Perakaran horisontal pada pohon dengan pertumbuhan 'baik' rata-rata 58% dan pohon 'jelek' rata-rata 51%.

Total panjang akar (Lrv) menurun dengan meningkatnya kedalaman tanah baik pohon yang pertumbuhannya 'baik' maupun 'jelek' (Gambar 1), dengan nilai Lrv tertinggi diperoleh pada lapisan atas 0-10 cm. Dhyani dan Tripathi (2000) melaporkan bahwa sekitar 38-47 % akar halus *Albizia (Paraserianthes falcataria)* terkonsentrasi di lapisan 0-10 cm, dan akar kasar (sekitar 51 %) terkonsentrasi di lapisan tanah 10-20 cm.

Pada jarak semakin jauh dari batang pokok pohon yang berumur 5 tahun ini, Lrv semakin meningkat. Peningkatan jarak terhadap batang hingga 80 cm masih diikuti oleh peningkatan Lrv. Tetapi pada jarak >80



Gambar 1. Total panjang akar pohon sengon pertumbuhan baik (a) dan pertumbuhan jelek (b) pada berbagai kedalaman tanah dan berbagai jarak terhadap pohon.

cm nilai rata-rata Lrv pada semua kedalaman kurang lebih sama dengan rata-rata Lrv yang dijumpai pada jarak 20 cm terhadap batang yaitu sekitar 0.047 cm cm⁻³ untuk pohon ‘baik’ dan 0.024 cm cm⁻³ untuk pohon ‘jelek’.

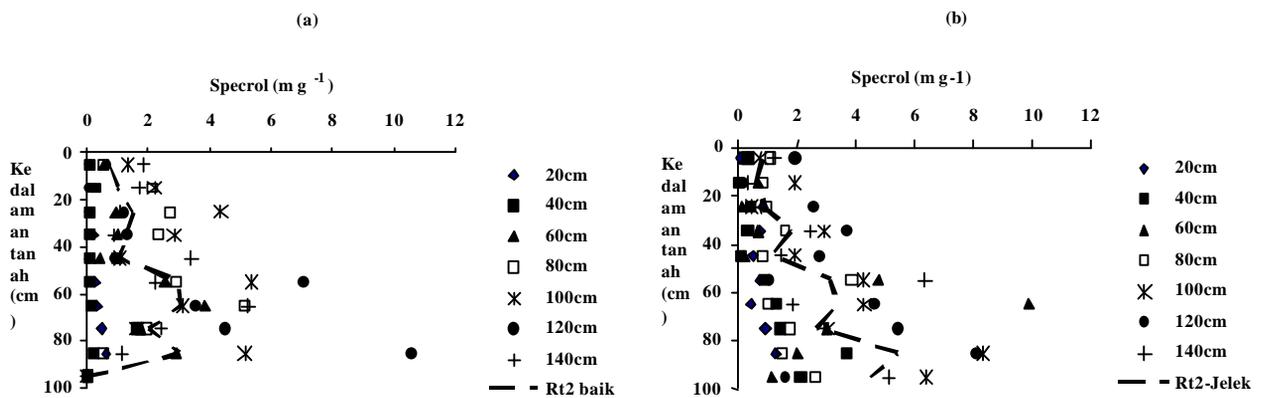
Pengetahuan akan distribusi dan kedalaman akar ini sangat diperlukan bila petani ingin mengkombinasikan pohon dengan tanaman semusim di lahannya. Dari hasil tersebut di atas, potensi terbesar terjadinya persaingan dalam menyerap air dan hara adalah pada lapisan tanah atas pada zona antara 20 – 80 cm dari batang. Apabila dibandingkan, akar tanaman jagung ternyata memiliki total panjang akar yang lebih tinggi yaitu dengan rata-rata 4.81 cm cm⁻³ pada musim basah dan 2.23 cm cm⁻³ pada musim kering (Akiefnawati, 1995).

Banyaknya akar yang menyebar horizontal ini diduga menyebabkan sengon kurang tahan terhadap kekeringan seperti yang umum dijumpai di Lampung Utara. Selain itu, bila pohon sengon akan ditanam dalam

sistem agroforestri peluang terjadinya kompetisi cukup besar, untuk itu jarak tanam harus diperlebar.

Adanya gangguan dalam lingkungan tanah, biasanya juga akan diikuti oleh perubahan diameter akar. Pada penelitian ini, pengukuran diameter didekati dengan menghitung total panjang akar spesifik (‘specrol’, m g⁻¹) yang merupakan nisbah antara Lrv (cm cm⁻³) dan Drv (g cm⁻³), semakin tinggi nilai specrol berarti semakin kecil diameter akar. Dari hasil perhitungan diketahui bahwa pohon yang pertumbuhannya ‘jelek’ memiliki ‘specrol’ lebih tinggi dari pada pohon yang pertumbuhannya ‘baik’ (Gambar 2) kecuali pada kedalaman 15 cm dan 25 cm. ‘Specrol’ akar semakin meningkat dengan meningkatnya kedalaman tanah. Hal ini mungkin karena adanya pemadatan di lapisan bawah.

Meningkatnya kepadatan tanah berarti jumlah pori makro tanah berkurang, dan hingga tingkat kepadatan tertentu biasanya diikuti oleh mengecilnya diameter akar tanaman agar dapat menembus pori tanah



Gambar 2. Total panjang akar spesifik (specrol) pohon pertumbuhan ‘baik’ dan ‘jelek’ pada berbagai kedalaman tanah dan jarak terhadap pohon.

(Russel, 1997), tetapi tidak diikuti oleh peningkatan Drv. Dengan demikian specrol menjadi lebih tinggi.

Nisbah tajuk : akar

Akar berfungsi menyerap air dan hara dari dalam tanah untuk memenuhi kebutuhan tajuk. Terjadinya hambatan media pertumbuhan tanaman akan diikuti oleh penurunan nisbah tajuk dan akar (Hairiah et al., 2000). Pada pengamatan ini pohon sengon yang pertumbuhannya ‘baik’ memiliki nisbah tajuk akar sekitar 5:1 dengan biomas tajuk sekitar 73 kg per pohon atau setara dengan 60 Mg ha⁻¹, tetapi nisbah ini akan meningkat dua kali lipat pada pohon yang ‘jelek’ pertumbuhannya yaitu 11:1 atau setara dengan 16 Mg ha⁻¹. Hasil ini menunjukkan adanya gangguan pertumbuhan sengon terutama pada pertumbuhan akarnya.

Sifat Tanah

Tanah di ke dua lokasi percobaan memiliki pH masam, dengan kisaran pH_{H2O} sekitar 5.0 – 5.2 dan pH_{KCl} sekitar 4.1 – 4.2. Tidak ada perbedaan yang nyata

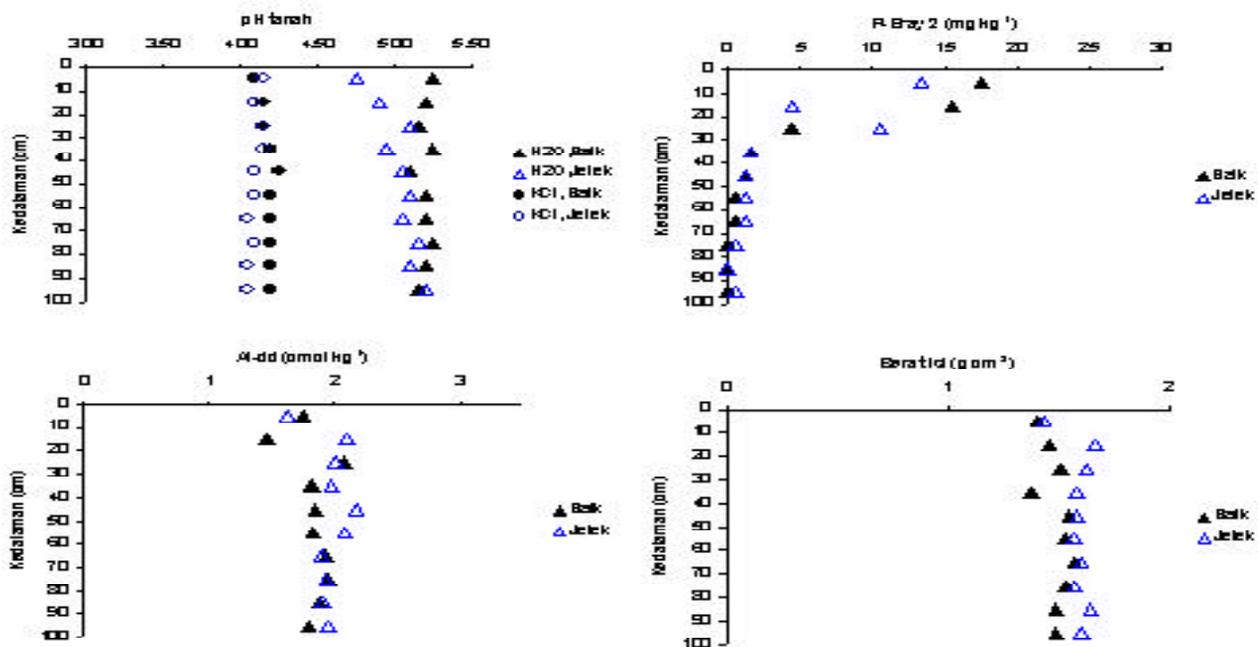
nilai pH rata-rata pada lahan sengon yang pertumbuhannya ‘baik’ dengan yang jelek (Tabel 1). Namun, pada tanah lapisan atas yang pertumbuhan pohonnya ‘baik’ diperoleh nilai pH_{H2O} rata-rata lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang pertumbuhan pohonnya ‘jelek’. Semakin meningkat kedalaman tanah diikuti dengan sedikit meningkatnya pH-H₂O dan pH-KCl (Gambar 3a).

Pada lapisan atas tanah dengan pertumbuhan pohon ‘baik’, konsentrasi P_{Bray2} (12.5 mg kg⁻¹) 30 % lebih tinggi dari pada tanah dengan pertumbuhan pohon ‘jelek’ (Tabel 1). Konsentrasi P_{Bray2} pada lapisan tanah atas jauh lebih tinggi dari pada lapisan bawah. Status unsur hara P_{Bray2} semakin menurun dengan meningkatnya kedalaman tanah (Gambar 3b) pada kedua kondisi pohon. Kondisi ini mungkin merupakan salah satu penyebab dangkalnya sistem perkembangan akar tanaman sengon.

Konsentrasi Al_{dd} pada tanah yang pertumbuhan pohonnya ‘baik’ relatif lebih rendah daripada yang pertumbuhannya ‘jelek’ pada lapisan atas dan bawah (Tabel 1), tetapi tidak dijumpai adanya perbedaan yang

Tabel 1. Nilai rata-rata beberapa parameter tanah pada lapisan atas (0-30 cm) dan lapisan bawah (30-100 cm), pada tanah dengan pertumbuhan pohon baik dan jelek.

Lapisan	pH-H2O		pH-KCl		P _{Bray2} (mgkg ⁻¹)		Al _{dd} (cmol kg ⁻¹)		BI (g cm ⁻³)	
	Baik	Jelek	Baik	Jelek	Baik	Jelek	Baik	Jelek	Baik	Jelek
Tanah Atas	5.20	4.92	4.13	4.13	12.48	9.47	1.76	1.91	1.46	1.58
Tanah Bawah	5.19	5.09	4.21	4.09	0.54	0.86	1.86	1.98	1.51	1.60



Gambar 3. Nilai rata-rata dari (a) pH tanah, (b) konsentrasi P_{Bray2}, (c) konsentrasi Al_{dd} dan (d) berat isi tanah pada berbagai kedalaman.

kelas antara konsentrasi Al_{dd} pada tanah lapisan atas dengan lapisan bawah (Gambar 3c).

Parameter tanah yang lain yang mungkin akan membatasi pertumbuhan akar tanaman adalah BI tanah. BI tanah yang pertumbuhan pohonnya 'baik' relatif lebih rendah daripada yang pertumbuhannya 'jelek' pada lapisan atas dan bawah (Tabel 1), dan perbedaan ini semakin besar dengan semakin dalamnya lapisan tanah (Gambar 3 d).

PEMBAHASAN

Di daerah tropika basah, pohon yang berperakaran dalam umumnya lebih menguntungkan karena dapat memanfaatkan hara yang tercuci, dan biasanya lebih tahan terhadap kekeringan. Pada penelitian ini akar sengon lebih banyak tersebar di lapisan atas, yang ditunjukkan dari hasil pengamatan akar proximal yaitu lebih dari 50 % dari total akar utama sengon tumbuh horizontal. Ada 3 faktor utama pembatas pertumbuhan akar (a) genetik, (b) kimia (rendahnya ketersediaan hara dan kandungan bahan organik tanah serta tingginya tingkat keracunan hara tertentu), (c) fisik (tingginya BI, genangan air).

Pada tanah masam, penghambat utama pertumbuhan akar adalah tingginya konsentrasi Al di lapisan bawah (Hairiah *et al.*, 2000), terutama Al-inorganik monomerik yang dapat meracuni pertumbuhan akar tanaman (Hairiah *et al.*, 1992). Selain itu dangkalnya sistem perakaran tanaman mungkin karena adanya respon lokal dari akar tanaman, dengan memilih tempat yang menguntungkan (dalam hal ini misalnya kaya unsur P di lapisan atas) atau dengan menghindari tempat yang beracun di lapisan bawah (Hairiah *et al.*, 1995).

Hasil analisis korelasi beberapa parameter tanah menunjukkan P-tersedia dan berat isi (BI) tanah yang berhubungan lebih erat dengan Lrv dari pada Al_{dd} dan Al-monomerik (Tabel 2). Faktor penghambat pertumbuhan akar sengon yang pertama adalah rendahnya ketersediaan P. Pada tanah masam umumnya rendahnya ketersediaan P berkaitan erat dengan tingginya konsentrasi Al_{dd} (Setijono, 1996). Fosfat tersedia dapat terjerap pada permukaan koloid tanah karena adanya ion-ion Al^{3+} , Fe^{3+} dan Mn^{3+} (Tan, 1995) sehingga berubah bentuk menjadi tidak tersedia bagi tanaman.

Berdasarkan uji statistika pada data percobaan ini, P tersedia tanah memiliki hubungan positif dengan Lrv ($r=0.239$), yang berarti meningkatnya P tersedia akan meningkatkan Lrv. Ketersediaan P dalam tanah berhubungan sangat nyata ($p<0.01$) dengan Lrv hanya pada kedalaman antara 10-40 cm ($r=0.792$) tetapi tidak berhubungan nyata pada kedalaman 40-70 cm.

Hubungan P tersedia dengan Lrv akar sengon pada kedalaman 10 - 40 cm ditunjukkan dalam Gambar 4. Semakin meningkat P tersedia dalam tanah diikuti oleh meningkatnya Lrv akar baik pada sengon yang pertumbuhannya 'baik' maupun 'jelek'. Meningkatnya P tersedia dalam tanah diikuti oleh peningkatan Lrv yang lebih tinggi pada pohon yang pertumbuhannya 'baik' dari pada pohon yang pertumbuhannya 'jelek'.

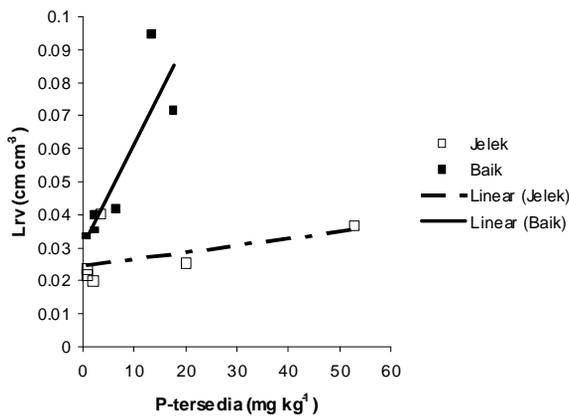
Faktor penghambat pertumbuhan akar yang ke dua adalah lebih padatnya tanah di lapisan bawah. Dari hasil uji korelasi diperoleh hubungan yang sangat erat dan nyata ($p<0.05$) antara berat isi (BI) dengan Lrv pada kedalaman 40-70 cm dan 70-100 cm. Pada umumnya pertumbuhan akar tanaman akan terhambat dengan semakin meningkatnya BI tanah, namun pada penelitian ini justru hal sebaliknya yang ditemukan (Gambar 5). Pada kedalaman 40-70 cm dan 70-100 cm pada ke dua kondisi pohon, meningkatnya BI justru meningkatkan Lrv akar.

Meningkatkan kandungan liat di dalam profil tanah ultisol meningkat dengan kedalaman tanah (Gambar 6a), maka perbandingan BI antar kedalaman tidak dapat dibenarkan karena sifat aslinya yang telah berbeda. Tanah lapisan bawah memiliki BI yang lebih tinggi dari pada lapisan atas tidak saja karena posisinya atau kandungan bahan organik tanahnya yang lebih rendah daripada di lapisan atasnya, tetapi juga karena kandungan liatnya yang lebih tinggi. Meningkatnya kandungan liat dalam tanah akan meningkatkan BI tanah (Russel, 1977). Untuk itu analisis pemahaman faktor pembatas pertumbuhan akar sengon dapat dipertajam dengan menggunakan analisis pedotransfer dengan jalan mengkoreksi BI tanah dengan tekstur tanahnya. Hasil koreksi pedotransfer terhadap BI tanah disajikan dalam Gambar 6b.

Nilai rata-rata BI/BI_{ref} tanah di bawah pohon pertumbuhan 'baik' sedikit lebih rendah dari pada yang dijumpai di bawah pohon pertumbuhan 'jelek'. Semakin meningkatnya BI/BI_{ref} hingga 1.14 g cm^{-3} diikuti oleh menurunnya Lrv akar sengon (Gambar 7a). Tingginya BI di lapisan bawah berhubungan erat dengan

Tabel 2. Hasil uji korelasi sifat tanah dengan total panjang akar (Lrv).

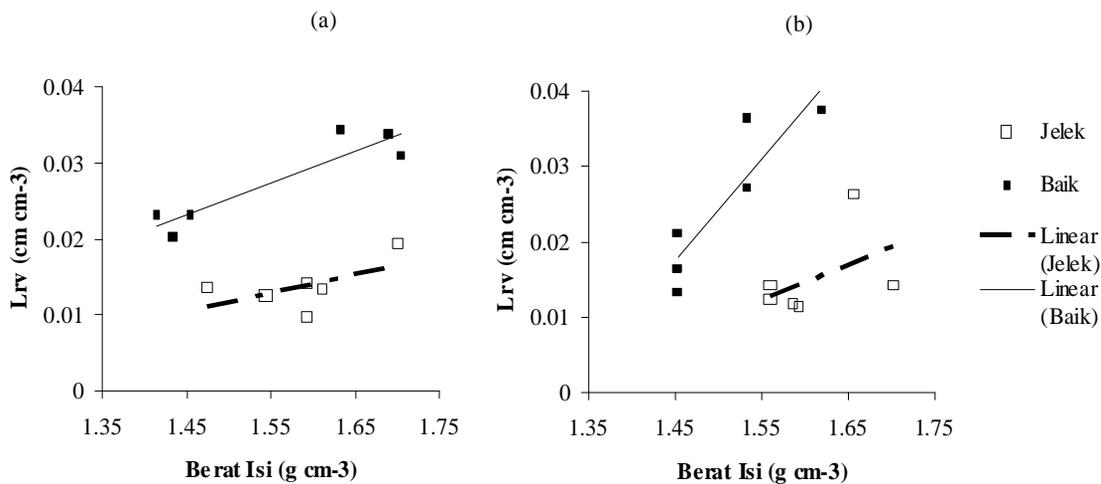
Parameter Sifat Tanah	Nilai Probabilitas	F-test	Indeks Korelasi	Pengaruh
Al_{dd}	0,452	ns	0.007	Lemah
Al-monomerik	0,522	ns	-0.087	Lemah
P-tersedia	0,017	*	0.239	Cukup
Berat Isi Tanah	0,004	**	-0.161	Cukup



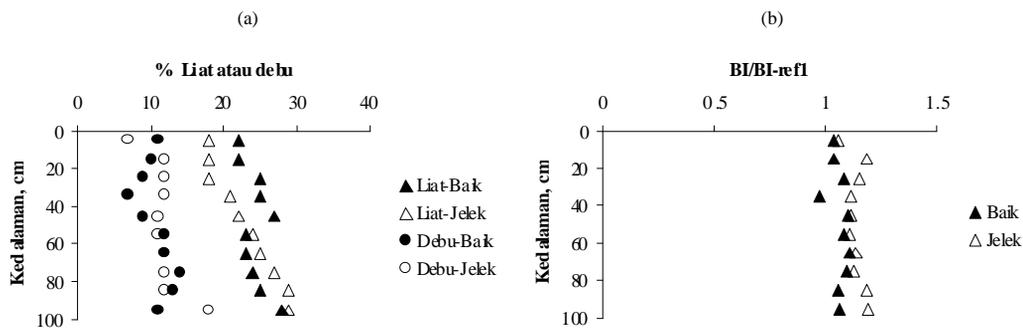
Gambar 4. Hubungan konsentrasi P tersedia (P_{Bray2}) dengan Lrv akar sengon pada kedalaman 10–40 cm.

rendahnya kandungan bahan organik tanah (Hairiah et al., 2002). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa BI/BI_{ref} berhubungan cukup erat dengan C terkoreksi (C_{org}/C_{ref}) seperti dalam Gambar 7B, semakin meningkatnya nilai C terkoreksi (C_{org}/C_{ref}) cenderung menurunkan BI/BI_{ref} tanah.

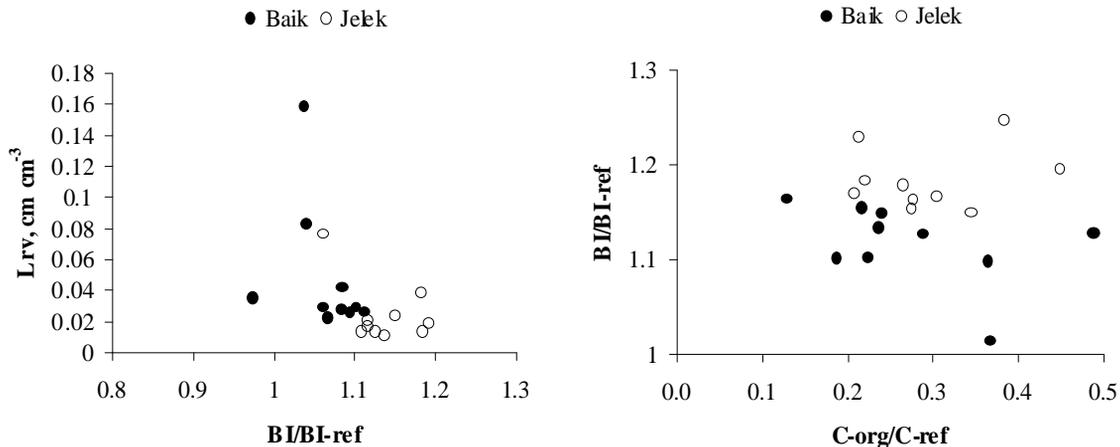
Dapat disimpulkan bahwa faktor pembatas pertumbuhan akar tanaman di Ultisol daerah Lampung Utara adalah rendahnya ketersediaan P dan tingginya kepadatan (BI) tanah di lapisan bawah. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian yang ditunjukkan oleh Russel (1977) bahwa pertumbuhan akar tanaman berkurang dengan meningkatnya BI tanah dan pertumbuhan sudah terhenti bila $BI > 1.45 \text{ g cm}^{-3}$. Tingginya nilai BI tanah akan lebih memperburuk ketersediaan air tanah, karena semakin rendah jumlah ruang pori makro semakin tinggi limpasan permukaan (Suprayogo et al., 2004).



Gambar 5. Hubungan total panjang akar dengan berat isi tanah pada kedalaman 40-70 cm (a), 70-100 cm (b).



Gambar 6. (a) Distribusi persentase liat dan debu dalam profil tanah ultisol dan (b) BI terkoreksi (BI/BI_{ref}) pada berbagai kedalaman tanah di bawah pohon pertumbuhan ‘baik’ dan ‘jelek’.



Gambar 7. Hubungan antara BI/BI_{ref} dengan L_{rv} (a) dan C_{org}/C_{ref} dengan BI/BI_{ref} (b) akar sengon pertumbuhan 'baik' dan 'jelek'

KESIMPULAN

1. Akar sengon berkembang di lapisan atas, lebih dari 50 % total akar utama tumbuh secara horisontal.
2. Tingginya konsentrasi Al-dd di lapisan bawah bukan merupakan faktor pembatas utama pertumbuhan akar sengon. Faktor tanah yang membatasi pertumbuhan akar sengon adalah rendahnya ketersediaan P dan tingginya BI tanah di lapisan bawah (40-70 cm dan 70-100 cm).
3. Aluminium hanya memberi pengaruh tidak langsung terhadap penghambatan pertumbuhan akar, yaitu melalui pengikatan terhadap P tersedia di lapisan bawah sehingga ketersediaan P menjadi rendah.
4. Analisis pedotransfer dengan mempertimbangkan tekstur tanah, dapat dipakai sebagai alat bantu untuk mempertajam diagnosa pembatas pertumbuhan akar tanaman.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dapat terlaksana berkat dukungan finansial dari *Indonesia Forest Seed Project (IFSP)*, Bandung dan dari *US State Department, East Asia and Pacific environmental Initiative*, USA. Terimakasih pula kepada Dr Meine van Noordwijk atas sarannya yang berharga dalam analisis pedotransfer sehingga dapat mempertajam analisis pemahaman kita akan faktor pembatas pertumbuhan akar di lapangan yang cukup kompleks; Dr. Fahmuddin Agus atas sarannya sehingga memperjelas penyajian makalah ini. Bantuan kolega Cahyo Prayogo, MP dalam menetapkan petak percobaan sangat dihargai.

DAFTAR PUSTAKA

- Akiefnawati, R. 1995. Pengaruh naungan, kompetisi serapan air dan hara tanaman pagar terhadap pertumbuhan dan produksi jagung pada ultisol daerah Lampung Utara. Thesis S2. Program Pasca Sarjana, Universitas Brawijaya, Malang.
- Blamey, F.P.C.; Edwards, D.G. and C.J. Asher. 1983. Effect of aluminium, OH:Al and P:Al ratios and ionic and ionic strength on soybean root elongation in solution culture. *Soil. Sci.* 136:197-207.
- Dhyani, S.K. and R.S. Tripathi. 2000. Biomass and production of fine roots of trees under agrisilvicultural practices in north-east India. *Agroforestry Systems*, 50:107-121.
- Foy, C.D. 1988. Plant adaptation to acid, aluminium toxic soils. *Comun. Soil Sci. Plant Annu. Rev. Plant Physiol.* 29, 511-566.
- Hairiah, K. 1992. Aluminium tolerance of *Mucuna*. A tropical leguminous cover crop. Doctoral thesis, RUG, Netherland. 152 p. ISBN 90 - 9005501-0.
- Hairiah, K.; Van Noordwijk, M. and S. Setijono. 1995. Tolerance and avoidance of Al toxicity by *Mucuna pruriens* var. *utilis* at different levels of P supply. *Plant Soil* 1 (1): 77-81.
- Hairiah, K.; Van Noordwijk, M.; Weise, S. and C. Palm. 2004. Sustainability of tropical land use systems following forest conversion. In Palm, C.A.; Vosti, S.A.; Sanchez, P.A.; Erickson, P.J. and S.R. Juo (eds.), *Slash and burn: The search for alternatives*. ASB consortium-World Agroforestry Centre-Columbia University. (*In press*)
- Lal, R. and D. J. Greenland. 1979. Soil physic properties and crop production in the tropic. John Willey and Sons, Ltd, New York.
- Prayogo, C. 2001. Land characteristic study in Pakuan Ratu in North Lampung. Research Report. Brawijaya Univ., Malang.
- Roshetko, J.M.; Delaney, M.; Hairiah, K. and P.,Purnomosidhi. 2002. Carbon stocks in Indonesian homegarden systems: can smallholder

- systems be targeted for increased carbon storage?. *Am.J. of Alternative Agriculture*, 17 (2):138-148.
- Rusell, R. S. 1977. *Plant Root system. Their function and interaction with the soil.* McGraw-Hill Book Company, UK. 298 pp.
- Setijono, S. 1996. Effects of crop residues and lime materials on soil aluminium and phosphorus availability on a high activity clay (HAC) acid mineral soil. *Agrivita*, 19 (4): 153-157.
- Smit, A.L.; Bengough, A.G.; Engels, C.; Van Noordwijk, M.; Pellerin, S. dan S.C. Van de Geijn. 2000. *Root Methods, A Handbook.* CAB International. Wellingford. UK.
- Suprayogo, D.; Widiyanto; Purnomosidhi, P.; Widodo, R.H.; Rusiana, F.; Aini, Z.Z.; Khasanah, N. dan Z. Kusuma. 2004. Degradasi sifat fisik tanah sebagai akibat alih guna lahan hutan menjadi sistem kopi monokultur: Kajian perubahan makroporositas tanah. *Agrivita* 26 (1): 60-68.
- Tan, K. 1993. Analysis of aluminium sensitivity in Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. PhD thesis, LUW, Wageningen, The Netherlands. 155 pp.
- Van Noordwijk, M.; Woomer, P.L.; Cerri, C.; Bernoux, M. and K. Nugroho. 1997. Soil carbon in the humid tropical forest zone. *Geoderma* 79: 187-225.
- Van Noordwijk, M.; Rahayu, S.; Hairiah, K.; Wulan, Y.C.; Farida and B. Verbist. 2002. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. *J. Sc. China (special issue on Impacts of land use change on the terrestrial carbon cycle in the Asia Pacific region)*. Vol 45 (C): 75-86.
- Wösten, J.H.M.; Finke, P.A. and M.J.W. Jansen. 1995. Comparison of class and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. *Geoderma* 66:227-237.
- Wösten, J.H.M.; Lilly, A.; Nemes, A. and C. Le Bas. 1998. Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models and in land use planning, SC-DLO, Agricultural Research Departement, Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Wageningen, The Netherlands.
-