

Hubungan antara Kandungan Bahan Organik Tanah dengan Periode Pasca Tebang Tanaman HTI *Acacia Mangium* Willd.

Sabaruddin¹, Siti Nurul Aidil Fitri¹, dan Lesi Lestari²

Makalah diterima 11 Juli 2008 / disetujui 10 Maret 2009

ABSTRACT

Relationship between the Organic Matter Content with Post Harvest Period of Forest Industrial Plant *Acacia mangium* Willd (Sabaruddin, S.N.A. Fitri, and L. Lestari): Timber harvesting may have significant effects on soil organic matter content through mechanical disturbance, inputs of logging slash, alterations in litter production, and leaching of dissolved organic matter, as well as the alteration of temperature and moisture regimes. To investigate the effect of post-harvest period of tree harvesting on the dynamics of soil organic matter content, surface soils (0 to 10 cm and 10 to 20 cm) were collected from intact *Acacia mangium* Willd. plantation (control) and from *A. mangium* Willd. harvested in 2001, 2002, 2004, and 2006 in four replicates. Each replicate consisted of composited 4 sub-samples. Timber harvesting reduced litter accumulation on soil surface. However, the amount of litter accumulated on soil surface increased as post-harvest period increased. Timber harvesting significantly ($p < 0.001$) affected soil organic matter content both in 0 to 10 cm and 10 to 20 cm. The increases in soil organic matter content were significantly correlated ($r = 0.85$; $p < 0.001$ in 0 to 10 cm and $r = 0.62$; $p < 0.01$ in 10 to 20 cm) with post harvest period.

Keywords: *Acacia*, organic matter, post-harvest

PENDAHULUAN

Bahan organik pada tanah hutan merupakan komponen penting ditinjau dari siklus hara, siklus hidrologi, produktivitas hutan, dan neraca karbon global. Secara global, tanah mengandung cadangan karbon lebih besar daripada kawasan daratan lainnya dan bahan organik pada tanah hutan merupakan ekosistem yang sangat dinamis (Jobágy dan Jackson 2000). Kandungan bahan organik tanah dapat berubah sebagai akibat proses alami seperti suksesi dan akumulasi biomassa dan adanya faktor antropogenik, seperti konversi spesies penutup lahan (Sabaruddin *et al.*, 2001; 2003), dan panen (Mroz *et al.*, 1985). Hasil penelitian Sabaruddin *et al.* (2001; 2003) menunjukkan bahwa langkah konversi hutan alam menjadi lahan yang dikelola manusia, baik HTI (Hutan Tanaman Industri) maupun ladang, menyebabkan penurunan kandungan bahan organik secara signifikan. Bahan organik peka terhadap gangguan, maka setiap perubahan yang terjadi pada

suatu ekosistem dapat menyebabkan percepatan perubahan kandungan bahan organik dalam tanah sehingga dalam jangka panjang dapat mempengaruhi produktivitas lahan. Oleh karena itu, estimasi pengaruh penebangan dan pasca penebangan hutan terhadap dinamika C organik tanah penting dilakukan sebagai data dasar untuk memprediksi keberlanjutan ekosistem lokal dan pertukaran C antara tanah dan atmosfer.

Penebangan merupakan salah satu bentuk gangguan mekanis yang dapat mempengaruhi siklus hara pada ekosistem hutan. Hasil studi teoritis (Paré *et al.*, 2002; Wei *et al.*, 2000) dan studi empiris (Bélanger *et al.*, 2003; Egnell dan Valinger, 2003) menunjukkan bahwa dalam jangka menengah, penebangan menimbulkan pengaruh yang nyata terhadap sumberdaya hara tanah dan dalam jangka panjang dapat menurunkan produktivitas lahan. Hasil penelitian Thiffault *et al.* (2006) menunjukkan bahwa basa-basa, KTK, dan bahan organik tanah Hutan Boreal yang dipanen total dan disertai dengan

¹Jurusan Tanah Fakultas Pertanian dan Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya, Jl. Padang Selasa No. 524, Bukit Besar, Palembang 30139. Tel: 62-711-354-222; Mobile : 0812-719-44555. Fax: 711-320-310.
e-mail: sabar@mail.pps.unsri.ac.id dan sabar63@yahoo.com

²Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya
J. Tanah Trop., Vol. 14, No. 2, 2009: 105-110
ISSN 0852-257X

pembersihan residu panen, pada 15 sampai 20 tahun setelah penebangan lebih rendah dibandingkan dengan tanah pada lokasi yang dipanen dengan metode selektif.

Dijelaskan oleh Yanai *et al.* (2003) bahwa dampak yang ditimbulkan oleh penebangan hutan dapat terjadi melalui input sisa penebangan, perubahan produksi serasah, pencucian bahan organik terlarut, dan perubahan rezim temperatur dan kelembaban. Sebagai contoh, hasil penelitian Olsson *et al.* (1996) menunjukkan adanya penurunan kejenuhan basa tanah sebesar 8% sampai 14% dan peningkatan rasio C/N tanah pada 15 tahun setelah panen hutan konifer di Swedia. Hasil penelitian Olsson *et al.* (1996) ini menunjukkan dampak jangka panjang dan dilakukan di bawah iklim sedang. Di sisi lain dikemukakan oleh Paré *et al.* (2002) bahwa dampak penebangan total hutan terhadap hara tanah bersifat spesifik, tergantung pada bahan induk, jenis pohon, dan juga iklim.

Mengukur respon jangka panjang bahan organik tanah terhadap suatu perlakuan pada dasarnya dapat dilakukan tetapi memerlukan sumberdaya yang besar (Olsson *et al.*, 2000). Sementara itu, estimasi sudah mendesak diperlukan untuk mendukung kebijakan di bidang lingkungan. Oleh karena itu, pendekatan kronosekuens, dimana berbagai periode pasca panen diasumsikan mewakili dinamika masing-masing lokasi, banyak diadopsi. Karena lokasi yang diteliti terpisah tetapi berdekatan dan dipelajari pada waktu yang sama, maka pendekatan ini dikenal dengan “*Space for Time Substitution*” (Yanai *et al.*, 2003). Meskipun pendekatan kronosekuens ini telah terbukti mampu memberikan informasi yang rinci tentang suksesi hutan dan perkembangan tanah (Crews *et al.*, 1995; Lichter 1998), tetapi metode ini tetap dapat memiliki kelemahan terutama jika terdapat perbedaan faktor lain selain umur lokasi yang dibandingkan. Keragaman ini dapat diatasi dengan pemilihan lokasi yang tepat, misalnya tingkat kemiringan yang sama, jenis tanah yang sama, jenis vegetasi yang sama, dan sebagainya. Tulisan ini melaporkan hasil penelitian tentang dinamika kandungan bahan organik tanah pada berbagai periode pasca panen HTI *Acacia mangium* Willd di Sumatera Selatan.

BAHAN DAN METODE

Deskripsi Lokasi Penelitian. Wilayah studi terletak di Suban Jeriji, Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan (103°30' T sampai 103°50'

T dan 3°15' S sampai 3°25' S) pada ketinggian mulai dari ±19 m dpl. Wilayah studi meliputi Hutan Tanaman Industri (HTI) *A. mangium* Willd yang terletak pada kemiringan yang lereng yang sama, yaitu ± 13%. Tanaman akasia pada lokasi penelitian adalah tanaman yang ditanam pada tahun 1992, pada tanah Ultisol dan pada zona iklim yang sama. Penjelasan rinci tentang jenis tanah, iklim, dan tegakan pada lokasi penelitian dapat dilihat dalam Sabaruddin *et al.* (2001) dan Sabaruddin *et al.* (2003). Beberapa spesies tanaman bawah yang tumbuh di bawah tegakan akasia meliputi *Astonia* sp., *Caesalpinia pulchriina*, *Zingiber aromaticum* vail. Permukaan tanah ditutupi oleh lapisan serasah, terutama daun *A. mangium* Willd, setebal 3 sampai 4 cm.

Rancangan Penelitian. Penelitian ini merupakan penelitian lapangan. Lokasi penelitian terdiri dari lahan *A. mangium* Willd yang tidak dipanen dan yang dipanen. Lahan *A. mangium* Willd yang tidak dipanen berfungsi sebagai pembanding (kontrol). Lahan yang dipanen adalah lahan *A. mangium* Willd yang dipanen pada tahun 2001, 2002, 2004, dan 2006. Komposisi *A. mangium* Willd sebelum dipanen sama, yaitu *A. mangium* Willd yang ditanam pada tahun 1992. Luas areal masing-masing lokasi adalah 2 ha, yang kemudian dibagi menjadi 4 petak masing-masing 0,5 ha sebagai ulangan.

Pengambilan Contoh Tanah dan Serasah Tanaman. Penentuan titik pengambilan contoh tanah pada masing-masing lokasi dan petak dilakukan menggunakan sistem *grid* dengan jarak antar titik 25 m x 25 m. Contoh tanah diambil dari dua kedalaman, yaitu 0 – 10 cm dan 10 – 20 cm. Setiap lokasi pengambilan contoh tanah terdiri dari 4 ulangan. Masing-masing ulangan terdiri dari 4 sub-contoh yang dicampur dan diaduk rata menjadi satu. Contoh tanah dikeringanginkan, dihaluskan, dan disaring dengan ayakan bermata saring 2 mm untuk dikarakterisasi.

Selain itu, pengambilan contoh juga dilakukan terhadap serasah tanaman yang terakumulasi pada permukaan tanah. Pengambilan serasah ini dilakukan pada tiga petak perwakilan pada masing-masing ulangan, dengan ukuran petak berukuran 1 m x 1 m. Serasah dikeringanginkan dalam oven pada temperatur 70°C selama 72 jam.

Analisis Tanah. Karakteristik tanah yang diamati di laboratorium meliputi kandungan C-organik (COT) dengan metode Walkley dan Black (1934). Kandungan C-organik tanah selanjutnya

disetarakan dengan bahan organik tanah (BOT) dengan persamaan $BOT = 1,724 \times \% COT$.

Analisis Statistik. Analisis ragam dilakukan untuk menguji waktu pasca panen terhadap kandungan bahan organik tanah menurut kaidah Rancangan Acak Lengkap dan dilanjutkan dengan Uji BNT pada taraf nyata 5%. Uji regresi korelasi dilakukan untuk mempelajari bentuk dan keeratan hubungan antara waktu pasca panen dengan kandungan bahan organik tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Residu Tanaman di Permukaan Tanah

Jumlah residu panen yang tersisa di atas permukaan tanah diestimasi melalui petak contoh. Residu panen berupa ranting, daun, dan kulit pohon yang terdapat di permukaan tanah di lokasi penelitian bervariasi menurut waktu pasca panen (Tabel 1). Panen menyebabkan penurunan secara nyata residu yang terakumulasi di permukaan tanah, yaitu sebesar 64% (dari 196,74 g m⁻² menjadi 70,84 g m⁻²) pada lokasi yang dipanen pada 2006 dan 56% (dari 196,74 g m⁻² menjadi 83,46 g m⁻²) pada lokasi yang dipanen 2004 jika dibandingkan dengan petak kontrol yang tidak dipanen. Penurunan jumlah residu yang signifikan (64%) yang terjadi pada lahan yang dipanen 2006 tersebut (Tabel 1) tergolong cepat karena hanya berlangsung selama 7 bulan pasca panen. Penurunan ini diyakini terjadi karena adanya proses perombakan residu tanaman menjadi bahan organik tanah. Meskipun laju dekomposisi residu panen tidak diamati pada penelitian ini, namun hasil penelitian Epron *et al.* (2006) menunjukkan bahwa laju

dekomposisi selama tahun pertama pasca panen dapat mencapai 1.580 g m⁻² th⁻¹ (790 g C m⁻² th⁻¹). Jika hasil Epron *et al.* (2006) digunakan sebagai dasar untuk ekuivalensi perhitungan kehilangan untuk jangka waktu yang sama yang diamati dalam penelitian ini, yaitu 7 bulan, maka laju kehilangan residunya adalah 922 g m⁻². Jumlah yang dilaporkan Epron *et al.* (2006) tersebut (922 g m⁻²) masih jauh lebih besar dibandingkan jumlah kehilangan residu yang diamati dalam penelitian ini, yaitu sebesar 126 g m⁻² selama 7 bulan pertama pasca panen. Jumlah kehilangan yang jauh lebih besar yang diamati oleh Epron *et al.* (2006) terjadi karena metode pengukuran dekomposisi yang digunakan adalah metode Kantong Serasah (*Litter Bag*) sehingga residu yang diuji lebih terkonsentrasi, sedangkan pengamatan jumlah residu dalam penelitian ini dilakukan dengan pengambilan contoh secara langsung pada petak contoh di lahan pengamatan.

Meskipun jumlah residu tanaman pada lahan yang dipanen tahun 2004 atau 31 bulan pasca panen telah mulai meningkat jika dibandingkan dengan jumlah residu pada lahan yang dipanen pada tahun 2006, namun jumlahnya masih nyata lebih rendah dibandingkan dengan petak kontrol yang tidak dipanen (Tabel 1). Peningkatan waktu pengamatan sampai tahun ke-4 pasca panen (lahan yang dipanen 2002) diikuti oleh peningkatan akumulasi residu. Serasah yang terakumulasi ini bersumber tidak hanya dari akasia muda yang ditanam untuk daur kedua tetapi juga berasal dari akasia muda yang tumbuh dari perkecambahan biji yang banyak terdapat di lahan. Penetrasi sinar matahari sampai ke permukaan tanah merangsang pertumbuhan berbagai jenis rumput-rumputan dan gulma lainnya. Pertumbuhan sekunder ini (*understory vegetation*) juga memberikan kontribusi yang penting pada akumulasi serasah di permukaan tanah. Memasuki tahun ke-5 pasca panen (lahan yang dipanen 2001), akumulasi residu kembali turun (Tabel 1). Hasil serupa juga dilaporkan oleh Benson (1982) bahwa jumlah biomassa asal vegetasi pertumbuhan sekunder di areal tanaman pinus menurun drastis dari 450 kg ha⁻¹ sebelum panen menjadi 56 kg ha⁻¹ beberapa tahun setelah panen. Penurunan ini diyakini disebabkan oleh proses dekomposisi residu. Di sisi lain, pasokan serasah asal pertumbuhan sekunder juga sudah sangat berkurang karena kanopi tanaman daur kedua juga sudah mulai rapat sehingga pertumbuhan sekunder juga sudah tertekan bahkan mati sehingga sumber utama

Tabel 1. Jumlah residu pada permukaan tanah pada berbagai waktu pasca panen.

| Waktu Panen | Residu Panen (g m ⁻²) |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Kontrol (tidak dipanen) | 196,74 a |
| 2006 | 70,84 b |
| 2004 | 83,46 b |
| 2002 | 209,69 a |
| 2001 | 172,50 a |

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom tidak berbeda nyata pada Uji BNT taraf 5%.

akumulasi serasah adalah hanya tanaman akasia (White et al., 2004).

Bahan Organik Tanah

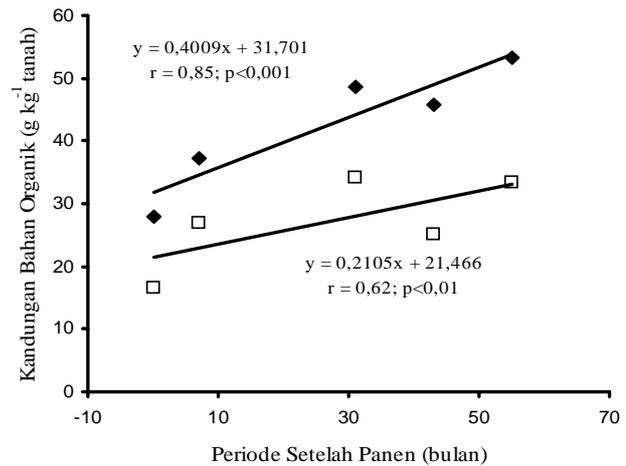
Pemanenan *A. mangium* Willd berpengaruh nyata ($p < 0,01$) terhadap kandungan bahan organik tanah pada kedua kedalaman (0 – 10 cm dan 10 – 20 cm). Meskipun dikemukakan oleh Epron et al. (2006) bahwa tindakan penghilangan biomassa tanaman termasuk residu karena panen dapat menyebabkan terputusnya siklus unsur hara untuk sementara, namun hasil penelitian di HTI *Acacia mangium* Willd ini menunjukkan bahwa kandungan bahan organik tanah pasca panen meningkat jika dibandingkan dengan areal yang tidak dipanen (Tabel 2).

Sistem panen yang diterapkan di areal HTI *A. mangium* Willd di lokasi penelitian adalah sistem tebang sampai pangkal batang (5 sampai 10 cm dari permukaan tanah). Sistem panen demikian meninggalkan dahan, ranting, dan daun di permukaan tanah, dan sisa akar di bawah permukaan tanah. Cara panen ini terbukti berpengaruh positif terhadap neraca bahan organik tanah (Johnson dan Curtis, 2001; Olsson et al., 1996; Thiffault et al., 2006) karena ada akumulasi residu panen di permukaan tanah dan residu akar di bawah permukaan tanah.

Beberapa penelitian sebelumnya di daerah beriklim sedang telah menunjukkan bahwa laju mineralisasi residu tanaman bahan organik meningkat pasca penebangan (Burger dan Pritchett, 1984; Vitousek dan Matson, 1984, 1985; Waide et al., 1988; Piatek dan Allen, 1999; Yanai et al., 2003). Hasil penelitian ini juga memperlihatkan waktu memegang peranan penting dan nyata dalam menentukan kandungan bahan organik tanah pasca gangguan (Gambar 1).

Tabel 2. Kandungan bahan organik tanah pada berbagai waktu pasca panen.

| Waktu Pasca Panen | Bahan Organik Tanah ($g\ kg^{-1}$) pada Kedalaman | |
|-------------------------|--|------------|
| | 0 – 10 cm | 10 – 20 cm |
| Kontrol (tidak dipanen) | 27,91 | 16,48 |
| 2006 | 37,37 | 26,98 |
| 2004 | 48,73 | 34,07 |
| 2002 | 45,69 | 25,08 |
| 2001 | 53,34 | 33,36 |



Gambar 1. Hubungan periode setelah panen dengan kandungan bahan organik tanah lahan *Acacia mangium* pada kedalaman 0-10 cm (♦) dan 10-20 cm (□).

Peningkatan kandungan bahan organik tanah pada kedua kedalaman yang diamati (0-10 cm dan 10-20 cm) mempunyai korelasi yang nyata ($r=0,85$, $p<0,001$ untuk kedalaman 0-10 cm dan $r=0,62$, $p<0,01$ untuk kedalaman 10-20 cm) dengan penambahan waktu pasca panen. Kehilangan vegetasi penutup tanah akibat panen menyebabkan penetrasi sinar matahari sehingga meningkatkan temperatur tanah sehingga memacu dekomposisi residu tanaman. Selain itu, penggunaan alat-alat panen memberi peluang untuk terjadinya pencampuran serasah sisa panen dengan tanah yang juga memacu proses dekomposisi. Respirasi oleh mikrobia heterotrofik merupakan salah satu mekanisme penting dalam dekomposisi bahan organik yang terakumulasi baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Seperti yang dijelaskan oleh Davidson et al. (2002) bahwa laju respirasi yang tinggi mencerminkan investasi C yang tinggi pula di dalam tanah.

Akumulasi netto C tanah pada lahan yang ditanami spesies pohon, termasuk akasia, tergantung pada laju dekomposisi dan pasokan C asal serasah dan perakaran (Turner dan Lambert, 2000). Meskipun segera setelah panen pasokan serasah dalam bentuk daun, ranting, dan dahan terhenti, peran tanaman akasia sebagai sumber C digantikan oleh proses respirasi heterotrofik terhadap serasah dan sisa akar yang terakumulasi di permukaan dan di bawah permukaan tanah. Proses ini yang menyebabkan peningkatan kandungan bahan organik tanah pada

lahan yang dipanen di lokasi penelitian. Selain itu, panen juga memacu pertumbuhan berbagai jenis tumbuhan bawah dari berbagai jenis gulma berdaun sempit maupun lebar yang juga menjadi pemasok C bagi tanah. Fenomena ini juga telah dilaporkan sebelumnya oleh Laclau *et al.* (2000) dan oleh Lee *et al.* (2002) yang mengamati terjadinya pemulihan cadangan C tanah pada 2 atau 3 tahun pasca panen. Sumber utama C tanah adalah pengembalian residu asal pertumbuhan vegetasi bawah yang terpacu akibat hilangnya kanopi akibat panen. Hasil penelitian yang dilaporkan dalam tulisan ini (Tabel 1 dan Gambar 1) sejalan dengan hasil penelitian yang telah dilaporkan sebelumnya oleh Laclau *et al.*, (2000) dan oleh Lee *et al.* (2002).

Dijelaskan oleh Ussiri dan Johnson (2004), meskipun dekomposisi residu tanaman memberikan kontribusi terhadap kandungan bahan organik tanah, sorpsi terhadap input C oleh tanah dipengaruhi oleh kandungan bahan organik tanah awal. Jika kandungan bahan organik awalnya rendah, maka tanah akan responsif terhadap input C dari luar. Kandungan bahan organik tanah pada lokasi penelitian sebelum dipanen (Petak Kontrol pada Tabel 2) tergolong sedang (27,91 g kg⁻¹ tanah) pada kedalaman 0-10 cm dan rendah (16,48 g kg⁻¹ tanah) pada kedalaman 10 - 20 cm. Oleh karena itu, kandungan bahan organik pada tanah di lokasi penelitian meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pasca panen karena semakin aktifnya proses dekomposisi residu panen baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Pengaruh positif ini juga terjadi pada kedalaman 0- 20 cm karena akumulasi serasah pada lapisan atas memungkinkan terjadinya translokasi vertikal, melalui air perkolasi, bahan organik terlarut, seperti asam humat, fulvat dan sebagainya, dari lapisan 0 - 10 cm ke lapisan 10-20 cm (Olsson *et al.*, 1996; Johnson dan Curtis, 2001; Thiffault *et al.*, 2006). Selain itu, kontribusi bahan organik dari sisa akar yang mati juga merupakan sumber penting bahan organik tanah. Hasil penelitian Epron *et al.* (2006) menunjukkan akumulasi serasah akar dapat mencapai 0,58 kg m⁻¹ th⁻¹.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil yang dilaporkan dalam tulisan ini memperlihatkan pentingnya mengetahui dinamika C tanah menurut kronosekuen waktu pasca panen. Mengingat penelitian yang dilakukan ini baru mempelajari dinamika C tanah pada rotasi pertama

HTI *Acacia mangium*, maka aspek yang perlu dikaji lebih jauh adalah bagaimana dinamika C setelah beberapa rotasi penanaman HTI *Acacia mangium* pada lokasi yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Bélanger, N., D. Pare', and S.H. Yamasaki. 2003. The soil acid-base status of boreal black spruce stands after whole-tree and stem-only harvesting. *Can. J. For. Res.* 33: 1874-1879.
- Benson, R.E. 1982. Management consequences of alternative harvesting and residue treatment practices – lodgepole pine. USDA Forest Service, Gen. Tech. Rpt. INT-GTR-132
- Burger, J.A., and W.L. Pritchett. 1984. Effects of clearfelling and site preparation on nitrogen mineralization in a southern pine stand. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1432-1437.
- Crews, T.E, K. Kitayama, J.H. Fownes, R.H. Riley, D.A. Herbert, D. Mueller-Dombois, and P.M. Vitousek. 1995. Changes in soil phosphorus fractions and ecosystem dynamics across a long chronosequence in Hawaii. *Ecology* 76: 1407-24.
- Davidson, E.A., K. Savage and P. Bolstad. 2002. Belowground carbon allocation in forests estimate ed from litterfall and IRGA-based soil respiration measurements. *Agric. Forest Meteor.* 113: 39-51.
- Epron, D., Y. Nouvellon, P. Deleporte, S. Ifo, G. Kazotti, A.T. M'Bou, W. Mouvondy, L.S. Andre, O. Rouspard, C. Jourdan and O. Hamel. 2006. Soil carbon balance in a clonal Eucalyptus plantation in Congo: Effects of logging on carbon inputs and soil CO₂ efflux. *Global Change Biol.* 12: 1021-1031.
- Egnell, G. and E. Valinger. 2003. Survival, growth, and growth allocation of planted Scots pine trees after different levels of biomass removal in clear-felling. *For. Ecol. Manag.* 177: 65-74.
- Epron, D., Y. Nouvellon, P. Deleporte, S. Ifo, G. Kazotti, A.T. M'Bou, W. Mouvondy, L.S. Andre, O. Rouspard, C. Jourdan and O. Hamel. 2006. Soil carbon balance in a clonal Eucalyptus plantation in Congo: Effects of logging on carbon inputs and soil CO₂ efflux. *Global Change Biol.* 12: 1021-1031.
- Jobágyy E.G. and R.B Jackson. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecol. Appl.* 10: 423-36.
- Johnson, D.W. and P.S. Curtis. 2001. Effects of management on soil C and N storage: meta analysis. *For. Ecol. Manag.* 140: 227-238.
- Laclau, J.P., J.P. Bouillet and J. Ranger. 2000. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of Eucalyptus in Congo. *For. Ecol. Manag.* 128: 181-196.

- Lee, J., I.K. Morrison, and J.D. Leblanc. 2002. Carbon sequestration in trees and regrowth vegetation as affected by clearcut and partial harvesting in a second-growth boreal mixedwood. *For. Ecol. Manag.* 169: 83-101.
- Lichter, J. 1998. Primary succession and forest development on coastal Lake Michigan sand dunes. *Ecol. Monogr.* 68: 487-510.
- Mroz, G.D., M.F. Jurgensen, and D.J. Frederick. 1985. Soil nutrient changes following whole-tree harvesting on three northern hardwood sites. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1552-1557.
- Olsson, B.A., H. Staaf, H. Lundkvist and K. Rosén. 1996. Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. *For. Ecol. Manag.* 82: 19-32.
- Olsson, B.A., H. Lundkvist and H. Staaf. 2000. Nutrient status in needles of Norway spruce and Scots pine following harvesting of logging residues. *Plant Soil* 223: 161-17.
- Paré, D., P. Rochon and S. Brais. 2002. Assessing the geochemical balance of managed boreal forests. *Ecol. Indicators* 1: 293-311.
- Piatek, K.R. and H.L. Allen. 1999. Nitrogen Mineralization in a Pine Plantation Fifteen Years After Harvesting and Site. *Soil Sci. Am. J.* 63: 990-998.
- Sabaruddin, S. Ishizuka, K. Sakurai, S. Tanaka, S. Kubota, M. Hirota, S.J. Priatna, and Juairiah. 2001. Characteristics of Ultisols under different wildfire history in South Sumatra, Indonesia: I. Physico-chemical properties. *Tropics* 10: 565-580.
- Sabaruddin, K. Sakurai, S. Tanaka, Y. Kang and N. Gofar. 2003. Characteristics of Ultisols differing in wildfire history in South Sumatra, Indonesia: II. Dynamics of chemical properties. *Soil Sci. Plant Nutr.* 49 (1): 1-7.
- Thiffault, E., D. Paré, N. Bélanger, A. Munson, and F. Marquis. 2006. Harvesting intensity at clear-felling in the Boreal Forest: Impact on soil and foliar nutrient status. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 691-701.
- Turner J. and M. Lambert. 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. *For. Ecol. Manag.* 133: 231-247.
- Ussiri, D.A.N. and C.E. Johnson. 2004. Sorption of organic carbon fractions by spodosol mineral horizons. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 253-262.
- Vitousek, P.M. and P.A. Matson. 1984. Mechanisms of nitrogen retention in forest ecosystems: A field experiment. *Science* 225: 51-52.
- Vitousek, P.M. and P.A. Matson. 1985. Disturbance, nitrogen availability, and nitrogen losses in an intensively managed loblolly pine plantation. *Ecology* 66: 1360-1376.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Waide, J.B., W.H. Caskey, R.L. Todd and L.R. Boring. 1988. Changes in soil nitrogen pools and transformations following forest clear-cutting. In W.T. Swank and D.A. Crossley, Jr. (ed.) *Forest hydrology and ecology at Coweeta. Ecological studies.* Vol. 66. Springer-Verlag, New York. pp. 221-232.
- Wei, X., W. Liu, J. Waterhouse, and M. Armleder. 2000. Simulations on impacts of different management strategies on long-term productivity in lodgepole pine forests of the central interior of British Columbia. *For. Ecol. Manag.* 133: 217-229.
- White, L.L., D.R. Zak, and B.V. Barnes. 2004. Biomass accumulation and soil nitrogen availability in an 87-year-old *Populus grandidentata* chronosequence. *For. Ecol. Manag.* 191: 121-127.
- Yanai, R.D., W.S. Curie and C.L. Goodale. 2003. Soil carbon dynamics after forest harvest: An ecosystem paradigm reconsidered. *Ecosystem* 6: 197-212.