

PRAKTEK PEMBUKAAN LAHAN DENGAN SISTEM TEBANG BAKAR DAN DAMPAKNYA TERHADAP LINGKUNGAN

Agusalim Masulili

Fakultas Pertanian, Universitas Panca Bhakti

Email: agusalimupb@gmail.com

Abstract

Damage to land resources in developing countries including Indonesia has been a major issue in recent decades. One of the causes of the destruction of land resources is the practice of clearing new lands by means of burning either in primary forest or secondary for agricultural cultivation.

Lately the slash-burning issue is often discussed as a source of national and even regional problems. Fuel-burning systems are widely used by communities because they are the least expensive and easiest to implement in land clearing, even by large companies. As a result the longer the system is more difficult to control and supervised so often cause fire disaster in some places such as in Kalimantan and Sumatra. Furthermore, this system is mostly done on a large scale and at the same time, causing a lot of smoke that can disrupt kesahatan and transportation, even this smoke problem to disrupt neighboring countries like Malaysia, Singapore, Brunei and Philipina.

Keywords: Fuel burn, biodiversity, environmental damage.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Secara agronomis, sistem tebang bakar relatif menguntungkan dalam jangka pendek, namun efeknya dalam jangka panjang sangat mengkhawatirkan (Palm et. al., 1996). Sebenarnya dalam jangka pendek pun sistem tebang bakar dapat menimbulkan kerugian. Dimana efek pemanasan yang dihasilkan oleh pembakaran hutan dapat merubah struktur dan komposisi kimia, fisik dan biologi tanah. Selain itu juga menyebabkan hilangnya flora dan fauna dalam berbagai skala terutama apabila terjadi pada hutan yang masih alami. Salah satu pengaruh langsung dari pembakaran hutan adalah cepat terlepasnya unsur hara dari biomas yang terbakar (Kettering et. al., 1998).

Pengaruh tidak langsung dari sistem tebang bakar dalam jangka panjang adalah terjadinya erosi akibat dari vegetasi di atas permukaan yang hilang dan lahan menjadi terbuka sehingga rentan terhadap pukulan air hujan, terjadinya aliran permukaan dan terhanyutnya partikel tanah ke tempay lain (Viegas, 1997). Unsur hara yang hanyut melalui proses erosi pada lahan berlereng (40 – 60 %) merupakan pengaruh tidak langsung dari sistim tebang bakar terhadap tingkat kesuburan tanah (van Noordwijk et. al., 1997).

Pada suatu kawasan yang sehat, vegetasi hutan merupakan ekosistem alami yang telah mencapai keseimbangan puncak. Pada keadaan ekosistem seperti ini jumlah jenis maupun jumlah individu setiap jenis dari seluruh komponen penyusun ekosistem itu ada dalam keseimbangan (ekosistem stabil). Dengan adanya degradasi hutan akibat kegiatan manusia terutama melalui aktifitas pembakaran biomassa hutan, akan menciptakan lingkungan mikro tanah yang baru, dimana sifat fisik, kimia dan biologi tanah akan berubah. Perubahan lingkungan mikro tanah akan sangat berpengaruh terhadap kehidupan organisme tanah. Terganggunya orgasnisme tanah berarti mengganggu fungsi ekologis sistem tanah yaitu mata rantai makanan, aliran energi, siklus hara dan pola

keanekaragaman. Hal ini berarti bahwa praktek pembukaan lahan dengan cara tebang bakar dapat menimbulkan dampak perubahan bahkan merusak keseimbangan ekosistem.

1.2. Tebang Bakar, Mengapa Menjadi Pilihan

Sistim tebang bakar dapat didefinisikan sebagai teknik penyediaan lahan dengan jalan menebang vegetasi hutan dan membakarnya untuk ditanami selama beberapa tahun, kemudian dibiarkan beristirahat untuk waktu yang lebih lama daripada lamanya waktu di tanam agar terjadi pemulihan kondisi kesuburan tanah. Sistim pertanian tersebut telah berjalan selama berabad-abad dan merupakan bagian integral dari sistim pertanian dan sistim pembukaan lahan di wilayah tropika basah. (Zaini dan Suhartatik, 1997).

Terdapat beberapa alasan mengapa sistim tebang bakar banyak menjadi pilihan masyarakat/petani disekitar hutan diantaranya adalah mudah dilakukan dan tidak membutuhkan biaya pembukaan lahan (murah) serta dianggap dapat meningkatkan kesuburan tanah untuk periode penanaman beberapa waktu. Van Noordwijk *et. al.*, (1995) mengemukakan bahwa praktek pembukaan lahan dengan sistim tebang bakar yang dilakukan di sebagian besar di wilayah Sumatra adalah untuk mencukupi kebutuhan lahan baru yang produktif bagi budidaya tanaman pertanian.

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Konsorsium Alternatif Tebang Bakar (ASB) Sumatra, bahwa kemiskinan menyebabkan orang/masyarakat bermigrasi ke hutan, tetapi mereka tidak tahu bagaimana mengolah tanah akhirnya memaksa mereka untuk terus berpindah dan membuka hutan baru, kemudian meninggalkan tanah dalam keadaan rusak (Tomich and van Noordwijk, 1999).

Nampaknya, persoalan kebutuhan, kemiskinan dan tingkat pengetahuan masyarakat merupakan faktor penentu sehingga praktek pembukaan lahan dengan cara tebang bakar menjadi pilihan dalam sistim pertanian dan sistim pembukaan lahan. Lebih jauh Sanchez (1994) ; Sukmana (1995) mengemukakan bahwa petani melakukan sistem peladangan berpindah dengan membuka hutan disebabkan beberapa hal antara lain ; (1) tingkat pendapatan yang rendah, dimana petani tidak mampu membeli sarana produksi dan bibit serta tidak mampu melakukan upaya konservasi tanah, (2) tingkat pengetahuan tentang teknologi pertanian rendah, (3) rendahnya kesadaran untuk memelihara sumberdaya lahan/lingkungan, hal ini menyebabkan peladang tidak melakukan upaya konservasi tanah, (4) adat yang memungkinkan untuk merambah hutan.

DAMPAK TEBANG BAKAR TERHADAP LINGKUNGAN DA BIODIVERSITAS PADA SKALA GLOBAL

C-Stock

Mudiyarso (1994) mengemukakan bahwa C-Stock atau modal-C adalah merupakan total keseluruhan kandungan karbon yang terdapat di dalam biomas dan yang terdapat di dalam tanah.

Pembukaan hutan dengan sistim tebang bakar mengakibatkan sekitar 90 % biomas tanaman dan serasah yang berada di permukaan tanah ikut terbakar, demikian pula pada lahan yang telah diusahakan dengan usaha tanaman pangan (Sanchez, 1976). Hal ini berarti bahwa pembukaan lahan dengan tebang bakar mengakibatkan dampak penurunan modal-C baik dalam skala local maupun global.

Hutan primer merupakan sumber C tertinggi terutama pada biomas bagian atas tanah, litter, mikrobia dan bahan organik tanah labil/aktif. Berubahnya jenis hutan dari primer menjadi lahan pertanian telah mengurangi sumber C sebesar 72 %. Sedangkan pada lahan-lahan pertanian sumber C hanya 50 % lebih rendah daripada sistim vegetasi hutan (Hairiah, 1997 dalam Cahyo, 2000). Hasil penelitian Cahyo (2000) pada sistem tebang bakar pada lahan berlereng di Rantau Pandan Jambi, menunjukkan bahwa

pembakaran telah menurunkan modal C asal tanah dan tanaman sebesar 52,52 Mg.ha⁻¹ atau sekitar 66 %, sedangkan praktek penebangan menurunkan modal C sebesar 24,43 Mg.ha⁻¹ atau sekitar 22 %. Hal ini menunjukkan bahwa pembakaran penurunan kandungan modal C yang sangat besar pada pembukaan lahan dengan sistem tebang bakar.

Dalam sistem tebang bakar, penurunan kandungan bahan organik merupakan faktor utama penurunan kesuburan tanah dan tingkat produksi tanaman pangan. Tingkat produksi yang tinggi mungkin masih dapat dipertahankan 2-3 tahun setelah dibakar tetapi setelah itu akan diikuti oleh penurunan hasil yang sangat cepat yang disebabkan oleh kombinasi antara penurunan suplai unsur hara, peningkatan kemasaman tanah akibat berkurangnya efek pembakaran biomas tanaman, degradasi sifat fisik tanah dan pertumbuhan gulma yang akan mengganggu tanaman utama (Murdiyarso et. al., 1996). Penelitian yang dilakukan oleh Sanchez et. al. (1983) di Brazil menunjukkan penurunan secara cepat bahan organik tanah setelah hutan dibuka dapat mencapai 25 %. Hasil penelitian Juo et. al. (1995) di Ibadan Nigeria memperlihatkan bahwa terjadi penurunan kandungan C organik dari 17 mg/Kg menjadi 9 mg C/Kg setelah 7 tahun pembukaan lahan. Penurunan ini sebagai hasil akumulasi dari peningkatan dekomposisi, meningkatnya suhu akibat tidak adanya vegetasi dan rendahnya input bahan organik.

Menurut Murdiyarso (2002), penurunan cadangan karbon dari sistem alami ke sistem buatan manusia disebabkan oleh pengolahan lahan yang makin intensif. Intensitas pengolahan bahkan tidak hanya mempengaruhi cadangan karbon di atas permukaan tanah (*above ground carbon stock*) tetapi juga berpengaruh terhadap cadangan karbon di bawah permukaan tanah (*belowground carbon stock*). Selanjutnya kondisi ini akan mempengaruhi siklus biogeokimia dan kesuburan serta produktivitas tanah. Dalam banyak hal turunya cadangan karbon di atas tanah juga terkait dengan jumlah species tumbuhan.

Tabel 1. Pengaruh tipe penggunaan lahan terhadap cadangan karbon
(Tomich et. al., 2001 dan Murdiyarso et. al., 2002)

No.	Tipe penggunaan lahan	Cadangan karbon (ton/ha)
1.	Hutan alam	250
2.	Hutan yang dikelola	175
3.	Hutan bekas tebangan	150
4.	Wanatani multistrata	116
5.	Wanatani monokultur	103
6.	Karet rakyat	97
7.	Kelapa sawit	91
8.	Tanaman pangan	39

Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Gas rumah kaca adalah gas-gas di atmosfer yang dapat menimbulkan perubahan dalam kesetimbangan radasi sehingga mempengaruhi suhu atmosfer bumi. Gas-gas tersebut dinamakan gas rumah kaca karena kemampuannya dalam menyerap dan memantulkannya kembali radiasi gelombang panjang yang bersifat panas seperti yang dilakukan oleh kaca, sehingga menimbulkan efek pemanasan yang disebut efek rumah kaca (ERK). Gas-gas yang telah disepakati dalam perjanjian internasional untuk dikurangi konsentrasinya adalah karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrous oksida (N₂O), hidrofluorokarbon (HFC), perfluorokarbon (PFC) dan sulfur heksa flourida (SF₆). Tiga GRK pertama sering juga disebut sebagai GRK utama yang laju emisi dan konsentrasinya di atmosfer makin tinggi dengan makin meningkatnya kegiatan manusia yang menggunakan bahan bakar fosil (BBF) untuk pembangkitan listrik, transportasi,

industri serta kegiatan yang berhubungan dengan alih guna lahan untuk penyediaan lahan baru bagi pertanian (termasuk perkebunan) dan pemukiman (Murdiyarso, 2002).

Dalam kaitannya dengan pembukaan lahan, emisi gas rumah kaca biasanya dikaitkan dengan kegiatan *deforestasi*, karena dalam proses ini cadangan karbon hutan akan dibongkar dan sebagian besar diemisikan kembali ke atmosfer. Dalam proses pembukaan lahan, emisi gas rumah kaca terjadi karena :

1. Adanya ekstraksi biomassa (sebagian besar berupa kayu) yang pada suatu saat akan mengalami dekomposisi dan mengembalikan karbon ke atmosfer.
2. Dengan terbukanya tajuk hutan dekomposisi biomassa mati dan serasah hutan akan berlangsung lebih cepat.
3. Melalui pembakaran untuk membersihkan sisa tanaman (land clearing) yang dianggap mengganggu kegiatan usahatani selanjutnya.

Selanjutnya Murdiyarso (2002) mengemukakan, pembakaran hutan dan sisa tanaman dalam penyiapan lahan pertanian tidak hanya mengemisikan CO₂ tetapi pembakaran yang tidak sempurna juga menyebabkan terbentuknya GRK lain seperti metana dan *non-methane hydrocarbons* (NMHCs).

Karbon dioksida (CO₂) adalah salah satu gas rumah kaca utama yang paling besar jumlahnya dan dihasilkan manusia dengan laju yang sangat besar juga. Gas ini juga sering dipakai sebagai standar atau acuan bagi perubahan komposisi atmosfer dan perubahan iklim global. Karena itu GRK sering dikonversi agar ekuivalen dengan

CO₂. Setiap tahun konsentrasi CO₂ atmosfer bumi bertambah dengan laju yang sangat tinggi. Bahkan pertumbuhan dalam dekade terakhir telah meningkat dua kali lipat dari dekade sebelumnya (tabel 2).

Tabel 2. Sumber, rosot dan pertumbuhan emisi CO₂ (IPCC, 1995 ; 2001 dalam Murdiyarso, 2002).

No.	Uraian	1980-1989 (Gt C/th)	1990-1999 (Gt C/th)
1.	Sumber		
	• Pembakaran BBF dan produksi semen	5.5 ± 0.3	6.3 ± 0.4
	• Alih guna lahan tropis	1.6 ± 1.0	1.7 ± 0.8
	<i>Emisi total</i>	<i>7.1 ± 1.3</i>	<i>8.0 ± 0.6</i>
2.	Rosot		
	• Atmosfer	3.2 ± 0.2	3.2 ± 0.1
	• Lautan	2.0 ± 0.5	1.7 ± 0.5
	• Pertumbuhan di belahan bumi utara	0.5 ± 0.5	0.2 ± 0.2
	<i>Emisi total</i>	<i>5.7 ± 1.5</i>	<i>5.1 ± 0.7</i>
	Pertumbuhan CO ₂	1.4 ± 1.5	2.9 ± 0.6

Dari Tabel 2 tersebut menunjukkan bahwa alih guna lahan di daerah tropis merupakan sumber CO₂ terbesar kedua setelah pembakaran BBF. Artinya negara berkembang yang memiliki hutan luas seperti Indonesia yang masih memerlukan lahan baru untuk usahatannya perlu merencanakan dengan matang kegiatan-kegiatan yang berhubungan dengan konversi hutan dan *deforestasi*. Jika upaya konversi hutan masih terus dilanjutkan, maka para ilmuwan perlu memberi masukan ilmiah bagi usaha tersebut, sehingga pilihan-pilihan yang diambil tetap mempertimbangkan keberlanjutan usahatani dengan tingkat produktifitas lahan yang tetap tinggi dan memperhatikan kaidah lingkungan baik untuk kepentingan local maupun global.

Konversi hutan selain menyebabkan pelepasan CO₂ dari biomassa juga menyumbangkan emisi CO₂ dari tanah. Hal ini disebabkan karena berubahnya dinamika bahan organik tanah setelah vegetasi hutan dibongkar (Veldkamp, 1994).

Dari uraian diatas jelas bahwa konversi hutan dan usahatani yang merupakan kelanjutan dari proses konversi memiliki implikasi yang luas terhadap emisi GRK. Emisi gas rumah kaca ini lebih merupakan kepentingan global. Kegiatan pertanian yang diusahakan secara berkelanjutan atau sehat diharapkan tidak hanya dapat memberikan keuntungan secara finansial tetapi juga akan memberikan jasa lingkungan yang berkaitan langsung dengan kepentingan masyarakat global.

Biodiversitas

Keaneka ragaman hayati (biodiversitas) meliputi keanekaragaman genetik, keragaman jenis, keragaman ekosistem dan keragaman budaya manusia. Semakin beraneka ragam gen, species dan ekosistem, maka semakin kokoh daya dukung lingkungan. Keanekaragaman hayati tidak hanya memenuhi kebutuhan dasar manusia seperti bahan pangan, papan, dan obat-obatan tetapi secara ekologis bermanfaat untuk mengatur keseimbangan dan keharmonisan alam.

Pembukaan hutan melalui penebangan dan pembakaran, akan menyebabkan pengaruh yang merugikan terhadap flora dan fauna yang hidup di dalamnya. Kittering *at. al.* (1998) mengemukakan bahwa salah satu kerugian lain dari sistem tebang bakar adalah hilangnya flora dan fauna (biodiversitas) dalam berbagai skala sebagai efek dari pemanasan yang dihasilkan oleh pembakaran hutan terutama bila terjadi pada hutan yang masih alami.

Salah satu kelompok biodiversitas yang mengalami dampak secara langsung akibat pembakaran adalah mikroorganisme tanah. Pada umumnya mikroorganisme tanah tumbuh ekstensif pada lapisan atas tanah, khususnya di daerah rhizosfer. Pembukaan permukaan tanah dan terjadi perubahan karakteristik fisik, kimia, biologi tanah akan berpengaruh terhadap populasi dan aktifitas organisme tanah. Besarnya pengaruh pembakaran terhadap organisme sangat bervariasi tergantung pada intensitas bakar, kedalaman tanah, waktu pasca pembakaran, sifat tanah dan vegetasi setempat (Ahlgren, 1974 dalam Djunaedi, 1999).

Pembakaran yang menyebabkan hilangnya bahan organik mempengaruhi fungsi biologi karena terganggunya proses dekomposisi, pelepasan karbon, agregasi tanah, dan perubahan ukuran dan susunan komunitas biologi. Pembakaran juga menyebabkan perubahan iklim mikro yang mempengaruhi kelengasan tanah sehingga mempengaruhi komunitas fauna tanah. Hilangnya serasah penutup tanah karena pembakaran dapat mengurangi jumlah habitat mikro, yang berarti juga mengurangi jumlah dan diversitas *arthropoda* perombak. Telah diketahui bahwa konversi hutan menjadi lahan pertanian dapat mengurangi biodiversitas tanah. Pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap komunitas fauna tanah telah dikemukakan oleh beberapa peneliti yang menyatakan bahwa perubahan penggunaan lahan sangat mempengaruhi kerapatan, biomassa dan diversitas cacing tanah.

Praktek pembukaan lahan dengan cara tebang bakar juga mempunyai dampak terhadap jumlah species tumbuhan. Praktek penggunaan lahan tertentu akan berpengaruh terhadap jumlah species tumbuhan (Tabel 3). Dari tabel 3 tersebut nampak bahwa terjadi penurunan jumlah jenis species tumbuhan dari hutan menjadi lebih rendah pada berbagai praktek penggunaan lahan.

Tabel 3. Hubungan tipe penggunaan lahan dengan jumlah species tumbuhan (Tomich et. al. 2001 dan Murdiyarso, 2002)

No.	Tipe penggunaan lahan	Jumlah species
1.	Hutan alam	120
2.	Hutan yang dikelola	100
3.	Hutan bekas tebangan	90
4.	Wanatani multistrata	90
5.	Wanatani monokultur	60
6.	Karet rakyat	25
7.	Kelapa sawit	25
8.	Tanaman pangan	15

Water Balance

Pengaruh tidak langsung dari sistim tebang bakar dalam jangka panjang adalah terjadinya erosi akibat dari vegetasi di atas permukaan yang hilang dan lahan menjadi terbuka dan rentan terhadap pukulan air hujan, terjadinya aliran permukaan dan terhanyutnya partikel tanah ke tempat lain (Viegas, 1997). Dalam skala yang luas, hal ini dapat mengakibatkan gangguan terhadap keseimbangan siklus air (siklus hidrologi) pada wilayah itu bahkan lebih luas lagi.

Siklus hidrologi menggambarkan suatu rantai fenomena alam yang menghubungkan erosi, sedimentasi dan limpasan. Bagian siklus hidrologi berupa hujan, kondisi tanah dan vegetasi mempunyai peranan penting dalam proses erosi, sedimentasi dan limpasan (Hudson, 1973).

Erosi tanah yang terjadi pada sistim tebang bakar disebabkan oleh beberapa faktor yaitu : *Pertama*, akibat pembakaran vegetasi yang ada dipermukaan tanah (pohon understory) menjadi hilang. Tanah menjadi terbuka dari pukulan air hujan, oleh karena ada aliran permukaan akan menyebabkan erosi tanah. *Kedua*, pembakaran akan membakar seresah yang ada di lapisan teratas tanah dan tanah akan lebih rentan terhadap erosi. *Ketiga*, pembakaran dapat menyebabkan kerusakan struktur tanah, tanah akan mempunyai sifat kedap air sehingga terjadi proses penurunan kapasitas infiltrasi air hujan ke dalam tanah, hal ini juga memicu air akan mengalir di permukaan tanah dan menyebabkan erosi tanah (De Bano *et. al.*, 1988).

DAMPAK TEBANG BAKAR TERHADAP KESUBURAN TANAH PADA SKALA LOKAL

Dampak Terhadap Sifat Fisik Tanah

Praktek pembukaan lahan dengan cara tebang bakar juga berpengaruh terhadap degradasi sifat fisik tanah (Murdiyarso, *et. al.*, 1996). Pembakaran dapat menyebabkan kerusakan struktur tanah, dimana tanah akan mempunyai sifat kedap air sehingga terjadi proses penurunan kapasitas infiltrasi ke dalam tanah (De Bano, *et. al.* 1988).

Pengaruh nyata sistim tebang bakar terlihat dari perubahan permukaan tanah yaitu hilangnya penutupan permukaan tanah sehingga tanah menjadi lebih terbuka dan mendapatkan pengaruh langsung dari curah hujan dan radiasi (Allegre dan Cassel, 1996). Hasil penelitian Diaz dan Nortcliff (1985) di Oxisols, Brazilian Amazon mendapatkan bahwa bobot isi pada tanah yang dibakar walaupun lebih rendah dari pemakaian bulldoser, tapi lebih tinggi dibandingkan hutan alami terutama pada kedalaman 0 – 10 cm. Peningkatan bobot isi sejalan dengan terjadinya penurunan porositas makro pada tanah yang dibakar untuk kedalaman 0 – 10 cm (Tabel 4).

Tabel 4. Beberapa sifat fisik tanah pada penelitian pembukaan lahan Oxisols di Brazilian Amazon (Diaz dan Nortcliff, 1985)

Kedalaman (cm)	Bobot isi kering (g/cm ³)		Porositas makro (%)	
	Hutan alami	Dibakar	Hutan alami	Dibakar
0-5	0,79	0,84	20,5	17,8
5-10	1,04	1,06	12,3	11,0
10-15	1,12	1,13	8,7	8,0
15-20	1,11	1,12	8,1	8,3

Selanjutnya dari hasil penelitian Allegre dan Cassel, (1996) di Typic Paleudults, Yurimaguas, Peru mendapatkan bahwa sistem tebas bakar meningkatkan bobot isi terjadi pada kedalaman tanah 0 – 150 mm, sedangkan pada kedalaman 150 – 250 mm relatif stabil. Pengaruh jangka panjang dari sistem tebas bakar terlihat tidak konsisten yaitu menurun setelah 29 minggu, namun meningkat kembali setelah 89 minggu (Tabel 5).

Tabel 5. Perubahan bobot isi (Mg/m³) setelah pembakaran pada penelitian pengaruh pembakaran lahan (Alegre dan Cassel, 1996)

Sistem pembukaan lahan	Kedalaman (mm)	
	0 – 150	150 – 250
Sebelum pembukaan lahan	1,16	1,39
Tebas bakar		
• Setelah 14 minggu	1,27	1,37
• Setelah 29 minggu	1,17	1,37
• Setelah 98 minggu	1,32	1,38
Bulldoser		
• Setelah 14 minggu	1,42	1,49
• Setelah 29 minggu	1,26	1,44
• Setelah 98 minggu	1,42	1,56

Penurunan porositas makro dan meningkatnya bobot isi mengindikasikan bahwa proses pemadatan terjadi sampai kedalaman 10 cm pada tanah yang dibakar sehingga berimplikasi pada penurunan infiltrasi tanah. Hasil penelitian di Yurimaguas terjadi penurunan laju infiltrasi dari 22 cm/jam pada hutan alami menjadi 10 cm/jam pada yang dibakar (Sanchez, 1981 *dalam* Diaz dan Nortcliff, 1985).

Dampak Terhadap Sifat Kimia Tanah

Efek dari sistem tebang bakar terhadap telah diteliti oleh van Noordwijk *et. al.*, (1997) pada tanah hutan di Lampung utara dengan mengumpulkan contoh tanah setelah mengalami pembakaran dan dibandingkan dengan contoh tanah sebelum mengalami pembakaran (tabel 6).

Tabel 6. Sifat kimia tanah hutan sebelum dan sesudah pembakaran
(van Noordwijk, *et. al.*, 1997)

Perlakuan	pH (H ₂ O)	pH (KCL)	C-org (%)	P mg.kg ⁻¹	K cmol.kg ⁻¹	Ca cmol.kg ⁻¹	Mg cmol.kg ⁻¹	Abu (%)
Sebelum								
0- 5 cm	6,2	4,7	2,44	5,0	0,20	1,44	0,62	
5-10 cm	5,6	4,6	2,12	2,0	0,20	1,85	0,52	
Sesudah								
0- 3 cm	8,1	7,5	7,15*	51,5	5,37	25,5	4,47	75
3- 5 cm	8,3	7,2	4,28	25,6	2,02	14,8	3,46	80
5-10 cm	7,2	6,0	1,94	6,70	0,29	3,12	0,63	
Abu				384	176	23,6	17,6	

Keterangan : * = kemungkinan termasuk arang dari biomass.

Dari Tabel 6 di atas menunjukkan, bahwa dengan adanya pembakaran akan menghasilkan sejumlah besar abu, terutama pada kedalaman 0 – 3 cm dan mempunyai 75 % - 80 % berat kering biomass. Selain itu pembakaran juga meningkatkan pH dari sekitar 6 menjadi 8. Hal ini disebabkan oleh adanya akumulasi dari kation basa yang berasal dari biomas tanaman yang terbakar. Kation basa (P, K, Ca dan Mg) mengalami peningkatan terutama pada lapisan tanah teratas. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tebang bakar masih merupakan metode yang efektif dalam rangka penyediaan unsur hara bagi tanaman musim berikutnya. Namun demikian, keadaan ini tidak dapat berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Sebagai akibatnya dalam jangka waktu tertentu setelah ditanami dalam beberapa kali musim tanam, kesuburan tanah menurun dan tidak produktif lagi.

Sistem tebang bakar menghasilkan sejumlah panas yang menyebabkan sebagian unsur hara menurun bahkan hilang. Penelitian Giovanni (1998) menunjukkan pengaruh panas terhadap status karbon tanah yang cenderung menurun pada suhu 220°C yaitu dari 2,5 % menjadi 1,9 % dan sangat rendah sekali dijumpai pada suhu 460 °C menjadi hanya 0,49 %. Pola yang demikian juga dijumpai pada nitrogen. Nitrogen yang ada di dalam biomass dapat terpolatilasi selama pembakaran. Sisanya masih dapat dimanfaatkan oleh tanaman tetapi segera hilang ke udara dan ikut aliran air. Unsur hara ini juga dapat hilang melalui limpasan dan pencucian (Juo dan Manu, 1996 ; Zaini dan Suhartatik, 1997).

Dampak Terhadap Biologi Tanah

Menurut Killham, 1994, organisme tanah diklasifikasikan berdasarkan ukurannya menjadi mikrobiota (bakteri, fungi, actinomycetes dan algae), mikrofauna (protozoa), mesobiota (misalnya collembola) dan makrobiota (misalnya cacing tanah, nemathoda dan anthopoda). Di dalam tanah, jumlah organisme dan biomasnya sangat bervariasi . Bakteri dan fungi merupakan organisme yang dominan di dalam tanah karena ukurannya yang sangat kecil dan paling banyak biomasnya serta penting peranannya dalam dekomposisi bahan organik (Metting,1992). Cacing tanah, rayap dan semut merupakan organisme tanah yang berfungsi sebagai ecosystem engineer, peranannya sangat penting dalam proses-proses yang terjadi di dalam tanah (Fragoso, *et. al.*, 1997). Cacing tanah maupun rayap sangat mempengaruhi siklus unsur hara, ketersediaan air, dekomposisi dan proses-proses pedologi (Black dan Okwakol, 1997).

Pembakaran meningkatkan suhu tanah di permukaan menjadi 5000°C, sedangkan pada kedalaman tanah 0,5 cm dan 1,5 cm masing-masing diatas 2600 °C dan 1500 °C (Reuleur dan Janssen, 1993). Pola distribusi dan perkembangan populasi mikroorganisme setelah pembakaran cukup bervariasi tergantung seberapa besar

perubahan lingkungan yang terjadi dan daya adaptabilitas organisme terhadap lingkungan tersebut. Harris *et. al* (1994) selama 3 tahun di Typic Hapludults, Watkinsville menunjukkan tidak adanya pengaruh pembakaran pada kedalaman 0 –2 cm terhadap jumlah populasi bakteri dan nitrifier. Selama 3 tahun pengamatannya ternyata populasi actinomycetes, fungi dan algae cenderung lebih rendah pada tanah yang dibakar. Pengaruh pembakaran bersifat temporal karena dengan meningkatnya pertumbuhan tanaman, maka efek pembakaran menjadi tidak nyata.

Hasil penelitian Deka dan Mishra (1983) di India memperlihatkan terjadinya penurunan populasi bakteri, actinomycetes dan fungi segera setelah pembakaran. Meningkatnya suhu sampai 1650°C dan turunnya kandungan air tanah sampai 8,5 % berdampak langsung terhadap berkurangnya populasi. Setelah mengalami tebang bakar, populasi fungi pulih dalam waktu 30 hari untuk mencapai populasi sebelum terjadinya pembakaran, sedangkan bakteri dan actinomycetes hanya membutuhkan 20 hari. Tidak ada perbedaan jenis komposisi jenis fungi yang ditemukan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bakteri dan actinomycetes lebih tahan terhadap suhu panas dibandingkan fungi.

Populasi cacing tanah, kumbang, acarina, collembola dan milipida berkurang oleh pembakaran setelahnya (Ahlgren, 1974 dalam Collett, 1998). Penurunan populasi cacing tanah pada kedalaman 0 – 10 cm dilaporkan oleh Collet, *et. al.*, (1993), kepadatan cacing tanah pada tanah yang dibakar lebih rendah daripada kontrol. Suhu yang panas pada lapisan yang atas tanah memaksa cacing untuk bergerak ke lapisan yang lebih dalam yang lebih lembab. Populasi cacing tanah akan pulih setara dengan populasi kontrol setelah tiga tahun pembakaran.

Beberapa species collembola kurang toleran pada kondisi tanah yang sangat kering, dan temperatur yang sangat tinggi, dengan kelembaban yang rendah sehingga mati pada kondisi yang demikian. Hasil penelitian Lopes dan Gamma (1994) di Portugal selama musim panas, menunjukkan terjadinya peningkatan kepadatan populasi setelah pembakaran, namun terdapat penurunan tajam dari jumlah species tertentu. Species collembola tertentu diduga mampu berasosiasi pada suhu tinggi sementara yang lain tidak. *Brachystomella parvula* dan *Proisotoma gisini* populasinya jauh lebih banyak pada tanah yang dibakar, sedangkan *Bilobella aurantica* dan *Stenaphorura quadrispina* hanya ditemukan pada tanah yang tidak dibakar.

UPAYA PEMECAHAN MASALAH

Peningkatan Penelitian dan Pemanfatan Hasil-Hasil Penelitian

Dalam kaitannya dengan upaya peningkatan kebutuhan produksi pangan seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, maka tantangan mendatang adalah bagaimana kita dapat menselaraskan kebutuhan peningkatan produksi dengan bentuk-bentuk pengelolaan lahan/tanah yang dapat mempertahankan biodiversitas.

Sehubungan dengan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian jangka panjang pada wilayah terpilih untuk mengkaji praktek-praktek pengelolaan lahan dan pengaruhnya terhadap biodiversitas dan fungsi ekosistem. Selanjutnya dikembangkan dalam skala percobaan aspek-aspek khusus yang berhubungan dengan pengelolaan pertanian. Hasil yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai bahan informasi penting untuk merancang model pengelolaan pertanian yang tepat. Selanjutnya bagi pengambil kebijakan (pemerintah) hasil-hasil penelitian yang ada dapat digunakan sebagai salah satu aspek yang sangat penting dalam menetapkan keputusan yang berkaitan dengan pembangunan dan pengembangan wilayah.

Pengelolaan Hutan Berbasis Masyarakat

Pengelolaan hutan tidak lagi hanya berorientasi pada pada penghasil kayu saja, tetapi berorientasi pada semua potensi sumberdaya hutan yang harus di kelola sebagai

atu kesatuan ekosistem (Soenarto, 2000 *dalam* Yanuwadi, 2002). Dengan demikian pengelolaan hutan harus dilakukan melalui pendekatan kemasyarakatan karena bagaimanapun juga masyarakat yang hidup di sekitar hutan mempunyai kepentingan terhadap keberadaan hutan yang ada di sekitar tempat hidupnya. Oleh karena itu perlu dikembangkan sistem pengelolaan hutan bersama masyarakat (PHBM) yang menitikberatkan pengelolaan hutan antara pemerintah bersama masyarakat dan atau para stakeholder.

Di dalam PHBM terdapat prinsip perencanaan yang partisipatif, ada proses pembelajaran bersama, pemerintah hanya sebagai fasilitator, masyarakat yang terlibat sebagai pelaku utama, pemberdayaan ekonomi kerakyatan dan lain-lain. Pada intinya adalah adanya kesepakatan bersama tentang pengelolaan sumberdaya hutan yang selalu memperhatikan prinsip-prinsip keseimbangan.

Sistem Agroforestri

Agroforestri berhubungan dengan sistem penggunaan lahan dimana pohon ditumbuhkan berasosiasi dengan tanaman pertanian, makanan ternak atau padang penggembalaan. Asosiasi ini dapat dalam waktu, seperti rotasi antar pohon dan komponen lainnya, atau dalam dimensi ruang, dimana komponen tersebut ditumbuhkan bersama-sama pada lahan yang sama. Dalam sistem tersebut, mempertimbangkan nilai ekologi dan ekonomi dalam interaksi antar pohon dan komponen lainnya. Hedges (2000) dan Koppelman et. al. (1996) *dalam* Sa'ad (2002) mendefinisikan agroforestri sebagai bentuk menumbuhkan dengan sengaja dan mengelola pohon secara bersama-sama dengan tanaman pertanian dan atau makanan ternak dalam sistem yang bertujuan menjadi berkelanjutan secara ekologi, sosial dan ekonomi. Secara sederhana adalah menanam pohon dalam sistem pertanian.

Sehubungan dengan adanya peningkatan jumlah penduduk saat ini, maka ketersediaan lahan hutan yang dapat dialih fungsikan menjadi semakin terbatas. Di sisi lain, sebagian besar hutan sudah dikuasai oleh pemegang Hak Pengusaha Hutan (HPH) dengan konsesi dari pemerintah, sementara lahan pertanian yang sehat banyak beralih fungsi untuk industri dan pemukiman. Dengan demikian peladangan berpindah semakin tidak mungkin dilakukan (Hairiah dan Utami, 2002). Untuk itu perlu dicari suatu bentuk atau sistem pertanian yang tidak hanya berorientasi meningkatkan produksi, tetapi dapat juga dapat menjamin keseimbangan ekosistem yang pada gilirannya dapat menciptakan suatu sistem pertanian yang sehat.

Sistem agroforestri adalah merupakan salah satu tawaran menuju pertanian sehat (Hairiah dan Utami, 2002). Agroforestri diharapkan berguna dalam usaha mencegah perluasan tanah terdegradasi dan pelestarian sumberdaya hutan. Agroforestry juga diharapkan dapat berguna untuk peningkatan mutu pertanian serta intensifikasi dan diversifikasi silvikultur. Sistem ini telah dipraktekkan oleh petani di berbagai tempat di Indonesia selama berabad-abad (Hairiah et. al., 2002).

Menurut De Foresta dan Michon (1997) *dalam* Hairiah et. al. (2002) bahwa agroforestri dapat dikelompokkan menjadi dua sistem yaitu agroforestri sederhana dan agroforestri kompleks (agroforest). Hairiah et. al. (2002) mengemukakan bahwa sumber daya hutan di dalam agroforest berperan dalam mengurangi tekanan terhadap sumber daya alam. Secara tak langsung agroforest turut melindungi hutan alam.

Keanekaragaman hayati di dalam agroforest dapat sangat mempengaruhi keanekaragaman hayati yang lebih luas. Di kawasan yang mengalami pemusnahan hutan alam dengan cepat agroforest mampu mengurangi efek pemusnahan akibat pengahancuran habitat, serta berperan sebagai zona penyangga yang efisien antara hutan dan pemukiman (Hairiah et. al., 2002).

Perbaikan Kebijakan Pemerintah

Kecenderungan rusaknya lingkungan sebagai akibat pembangunan yang kurang berwawasan lingkungan merupakan faktor penyebab terjadinya penyusutan keanekaragaman hayati. Yanuwadi (2002) mengemukakan, bahwa dari sisi kebijakan pemerintah, upaya pelestarian keanekaragaman hayati belum sepenuhnya konsisten, baik dalam penegakan hukum, alokasi anggaran maupun prioritas kegiatan. Program perencanaan tata ruang wilayah, AMDAL dan pencemar membayar belum dilaksanakan sebagaimana mestinya sesuai dengan ketentuan yang telah ditentukan, karena pelanggaran yang tidak memperoleh sanksi. Pembiayaan penelitian dan inventarisasi keanekaragaman hayati belum mendapat perhatian memadai, yang lebih memprihatinkan lagi adalah punahnya keanekaragaman hayati di hutan alam atau ekosistem alami lainnya, sebelum sempat kita memberi nama, apalagi menginventarisasi potensi serta manfaat.

Kehidupan masyarakat lokal dan berbagai sektor dalam perekonomian nasional mengandalkan kelangsungan hidupnya pada keragaman sumber-sumber hayati dan berbagai fungsi pendukung kehidupan serta layanan yang disediakannya. Namun demikian kecepatan hilangnya keanekaragaman hayati saat ini jauh lebih besar dibandingkan dengan jaman dulu sejak dinosaurus punah (Bagri, McNeely & Vorhies, 1998 dalam Anonim, 2002). Kepunahan jenis yang tidak mungkin dipulihkan ini, dan kepunahan sifat-sifat genetis, serta hilangnya berbagai habitat alami dan ekosistem sebagai akibat degradasi dan eksploitasi yang berlebihan mengancam berbagai peluang dan kesempatan bagi generasi sekarang dan yang akan datang untuk mendapatkan manfaat dari sumberdaya hayati yang ada. Untuk itu dibutuhkan perhatian yang serius dari semua elemen dalam merencanakan, mengelola dan memanfaatkan sumberdaya alam (keanekaragaman hayati), termasuk di dalamnya adalah kebijakan-kebijakan politik dalam hal ini pemerintah.

Berdasarkan dokumen-dokumen pemerintah di bidang lingkungan hidup, selama ini telah dirumuskan agenda program dan strategi pengelolaan lingkungan hidup di Indonesia. Menurut Soedarmanto (2002), pemerintah telah merumuskan strategi nasional untuk melaksanakan pembangunan berkelanjutan yang terdiri atas 4 kelompok.

1. Pelayanan masyarakat yang menyangkut perubahan pola produksi dan konsumsi, bidang ini perlu mendapat perhatian, karena akan menjadi dasar pijak bagi berbagai proyek persoalan lingkungan hidup di Indonesia.
2. Pengelolaan limbah untuk memperbaiki kondisi dan kualitas lingkungan hidup manusia serta mencegah terjadinya proses degradasi lingkungan hidup secara keseluruhan.
3. Pengelolaan sumberdaya lahan, hal ini dipandang sangat penting dan didasari oleh pertimbangan bahwa proses-proses pembangunan yang akan terjadi di Indonesia masih ditumpukan pada potensi sumberdaya lahan.
4. Pengelolaan sumberdaya alam, penanganan dan pengelolaannya diarahkan pada upaya-upaya pelestarian dan perlindungan keanekaragaman biologi serta menjamin kekayaan alam, binatang dan tumbuh-tumbuhan.

Telah dirumuskan dalam pasal 1 Undang-undang No. 23 tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan (UUPLH Tahun 1997) bahwa : Pengelolaan Lingkungan didefinisikan sebagai upaya terpadu untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup meliputi kebijakan penataan, pemanfaatan, pengembangan, pemeliharaan, pemulihan, pengawasan dan pengendalian lingkungan hidup.

Dari definisi tersebut mempunyai cakupan yang luas karena tidak saja meliputi upaya-upaya pelestarian lingkungan melainkan juga mencegah proses terjadinya degradasi lingkungan. Berkaitan dengan pengelolaan sumberdaya lahan, terdapat sedikitnya empat hal yang perlu dipertimbangkan sebagai berikut :

1. Dengan adanya krisis ekonomi, eksploitasi sumberdaya lahan semakin meningkat terutama hutan. Akibatnya hutan semakin menipis yang cenderung dieksploitasi

untuk menghasilkan kayu maupun untuk alih guna lahan lainnya. Oleh karena itu persoalan ini perlu mendapat perhatian yang serius.

2. Upaya pengelolaan sumberdaya lahan harus dilaksanakan secara terpadu yang mencakup penataan kegiatan pengelolaan tanah, hutan, pertanian dan air. Termasuk di dalamnya yang berkaitan dengan aspek ekonomi maupun sosial.
3. Setiap pemerintah daerah harus merumuskan bentuk-bentuk alternatif dalam pengelolaan sumberdaya lahan yang sesuai dengan kondisi dan persoalan di daerah masing-masing, dengan mengembangkan model-model pengelolaan lingkungan yang paling sesuai, efektif dan efisien. Untuk itu diperlukan kerjasama yang berkaitan dengan penelitian-penelitian maupun informasi-informasi hasil penelitian untuk dijadikan masukan dalam model penentuan kebijakan yang akan ditetapkan.
4. Upaya pengelolaan sumberdaya lahan akan berkaitan dengan proses-proses penataan dan perijinan ruang (Rencana Tata Ruang Wilayah). Berkaitan dengan hal ini maka upaya terpadu pengelolaan lingkungan hanya mungkin dilakukan apabila ruang telah jelas, dan ini dapat terlaksana apabila telah tersedia sistem informasi dan data dasar yang lengkap mengenai kesesuaian pemanfaatan sumberdaya lahan.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan pada bab-bab terdahulu, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Praktek pembukaan lahan sistem tebang bakar menjadi pilihan masyarakat karena beberapa alasan diantaranya adalah : murah dan mudah dilakukan, kebutuhan akan lahan baru, kemiskinan dan pengetahuan yang rendah serta kurangnya kesadaran akan pentingnya menjaga kelestarian hutan.
2. Lahan-lahan yang dibuka secara tebang bakar, tidak mencerminkan pertanian yang berkelanjutan, karena produksi yang tinggi hanya dihasilkan pada awal-awal musim tanam sampai beberapa periode, setelah itu makin lama makin mengalami penurunan sebagai akibat terjadinya degradasi kesuburan tanah.
3. Sistem tebang bakar berpengaruh merugikan terhadap lingkungan dalam skala global berupa peningkatan emisi gas rumah kaca, modal-C dan biodiversitas serta terganggunya keseimbangan air (water balance) dengan meningkatnya erosi.
4. Pembakaran mengakibatkan perubahan lingkungan tanah baik fisik, kimia maupun biologisnya, yang pada gilirannya akan berpengaruh terhadap kesuburan tanah dalam skala lokal.
5. Seiring dengan makin meningkatnya jumlah penduduk dan kebutuhan akan lahan sebagai konsekwensi dari meningkatnya kebutuhan pangan dan bahan baku dari hasil-hasil pertanian, perkebunan dan kehutanan (kayu), maka pemerintah perlu memperbaiki dan menetapkan aturan-aturan yang jelas mengenai penetapan kesesuaian lahan untuk suatu kegiatan tertentu. Disamping itu perlu mendorong masyarakat untuk bersama-sama aktif di dalam menjaga keseimbangan lingkungan.
6. Agroforestri merupakan tawaran menuju pertanian sehat.

REFERENSI

- Alegre, J.C., and D.K. Cassel. 1996. Dynamics of soil physical properties under alternative systems to slash and burn. *Agricultural Ecosystems and Environment*.
- Alternative to Slash and Burn in Indonesia. 1998. Summary report and synthesis of phase II ASB-Indonesia report Number 8, Bogor.
- Baath, E., A. Frostegard, T. Penanapen, and H. Fritze. 1995. Microbial community structure and pH response in relation to soil organic matter quality in wood-ash fertilized, clear-cut or burned coniferous forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*.
- Balck, H.I.J., and M.J.N. Okwakol. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in tropics : the role of termite. *Applied Soil Ecology*.
- Budy Satya Utomo, Yulia Nuraini, Widiyanto, 2015. Kajian kemantapan agregat tanah pada pemberian beberapa jenis bahan organik di perkebunan kopi robusta. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* Vol. 2 No. 1 : hal. 111-117.
- Brady, N.C. 1996 Alternatives to slash and burnt: a global imperative. *Agricultural Ecosystems and Environment*.
- Cahyo Prayogo, 2000. Kuantifikasi Modal dan Distribusi Karbon dalam Sistem Tebang Bakar pada Lahan Berlereng di Rantau Pandan Jambi. Tesis Pasca Sarjana PS PTA. Unibraw. Malang.
- Dias, A.C.C.P., and S. Nortcliff. 1985. Effect of two land clearing methods on the physical properties of an Oxisol in Brazilian Amazon. *Tropical agric. (Trinidad)* Vol 62 No.
- Djunaedi. 1999. Pengaruh Tebas Bakar terhadap Populasi dan Aktivitas Organisme Tanah. Thesis Program Pasca Sarjana. IPB, Bogor.
- Deka, H.K., and R.R. Mishra. 1983. The effect of slash and burn on soil microflora. *Plant and Soil*.
- Dumontet, S., H. Dinel, A. Scopa, A. Mazzatura, and A. Saracino. 1996. Post-fire soil microbial biomass and nutrient content of a pine forest soil from a dunal mediterranean environment. *Soil Biology and Biochemistry*.
- Eivazi, F and M.R. bayan. 1996. Effect of long-term prescribed burning on the activity of select soil enzymes in a oak-hickory forest. *Canadian Journal of Forest Research*.
- Fragoso, C., G.G. Brown, J.C. Patron, E. Blanchart, P. Lavelle, B. Pashanasi, B. Senapati, and T. Kumar. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in tropics : the role of earthworms. *Applied Soil Ecology*.
- Fujisaka, S., W. Bell, N. Thomas, L. Hurtado, and E. Crawford. 1996. Slash and burn agriculture, conservation to pasture, and deforestation in two Brazilian Amazon colonies. *Agricultural Ecosystems and Environment* 59:115-130.
- Harris, P.A., H.H. Schomberg, P.A. Banks, and J. Giddens. 1994. Burning, tillage and herbicide effects on the soil microflora in wheat-soybean double-crop system. *Soil Biology and Biochemistry*.
- Hairiah K., dan Utami, 2002. Agroforestri : Tawaran Pertanian Sehat. Makalah Seminar Nasional Peranan Agroforestri. UGM. Yogyakarta.
- Hairiah, K., Widiyanto, Sri Rahayu Utami, Didik Suprayogo, Sunaryo, SM Sitompul, Betha Lusiana, Rachmat Mulia, Meine van Noordwijk, dan George Cadish, 2000. Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi. International Centre for Research in Agroforestry. SMT Grafika Desa Putra. Jakarta.

- Juo, A.S.R., and A. Manu. 1996. Chemical dynamics in slash and agriculture. *Agricultural Ecosystems and Environment*.
- Jou, A.S.R., K. Franzluebbers, A. Dabiri, and B. Ikhile. 1995. Change in soil properties during long-term fallow and continuous cultivation after forest clearing in Nigeria. *Agricultural Ecosystems and Environment*.
- Khanna, P.K., R.J. Raison, R.A. Falkiner, J. Bengtsson.(ed.) and H. Lundkvist. 1994. Chemical properties of ash derived from *Eucalyptus* litter and its effects on forest soils. *Forest Ecology and Management*.
- Lessa, A.S.N., D.W. Anderson, J.O. Moir. 1996. Fine root mineralization, soil organic matter and exchangeable cation dynamics in slash and burn agriculture in the semi arid northeast of Brazil. *Agricultural Ecosystems and Environment*.
- Lopes, C.M., and M.M. da Gama. 1994. The effect of fire on collembola populations of Mata da Margaraca (Portugal). *Eur. J. Soil Biol.*
- Metting, F.B.Jr. 1992. Structure and Physiological Ecology of soil microbial communities. p:3-26. In. Metting, F.B.Jr. (eds). *Soil Microbial Ecology: Application in Agricultural and Environment Management*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Miller, F.C. 1992. composting as a process based on the control of ecologically selective factors. p:515-544. In. Metting, F.B.Jr. (eds). *Soil Microbial Ecology: Application in Agricultural and Environment Management*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Murdiyarso, D. Hairiah, K. van Noordwijk, M. 1994. Modelling and measuring soil organic matter dynamic and greenhouse gas emission after forest conversion. Report of workshop, training course. Bogor-Muara Tebo.
- Mudiyarso D., 2002. Implikasi Emisi Gas Rumah Kaca Untuk Usaha Tani Sehat. Kumpulan Makalah Akar Pertanian Sehat. Seminar Ilmiah Fakultas Pertanian Jurusan Tanah. Unibraw. Malang.
- Palm, C.A., M.J. Swift, and P.L. Woomer. 1996 Soil biological dynamics in slash and burn agriculture. *Agricultural Ecosystems and Environment*.
- Sa'ad A., 2002. Agroforestri sebagai salah satu alternatif pembangunan pertanian berkelanjutan. Makalah. Net.
- Tinker, P.B., J.S.I. Ingram, and S. Struwe. 1996 Effects of slash and burn agriculture and deforestation on climate change. *Agricultural Ecosystems and Environment*.
- van Noordwijk, M., van Roode, M., Mc. Calle, E.L., Lusiana B., 1997. Erosion and sedimentation as multiscale fractal process. Implication for model; Experiments and the real world "Managing soil erosion". ICRAF. Bogor.
- Zaini, Z. and Suhartatik, E. 1997. Slash and Burn Effect on C, N, and P Balance in Sitiung benchmark area. ASB Indonesia Report No. 6 – 1997. Bogor Indonesia.