



© 2004 Abdul Rauf
Makalah Falsafah Sains (PPS-702)
Sekolah Pasca Sarjana IPB

Posted 30 November 2004

Dosen :
Prof. Dr. Ir. Rudy C. Tarumingkeng
Prof. Dr. Ir. Sahrial Coto
Dr. Ir. Hardjanto, MS

AGROFORESTRI dan MITIGASI PERUBAHAN LINGKUNGAN

Oleh:

Abdul Rauf
G261030011

PENDAHULUAN

Sejak dasawarsa terakhir hingga saat ini perubahan lingkungan menjadi isu sentral dalam kebijakan pembangunan termasuk dalam hubungan internasional. Perubahan lingkungan yang dimaksud adalah perubahan dari magnitude (besaran dan juga distribusinya) suatu kondisi biosfer yang sifatnya bukan *natural causes*. Perubahan penggunaan lahan dan produksi gas rumah kaca (GRK) antropogenik merupakan dua aktivitas manusia yang dinilai signifikan pengaruhnya terhadap perubahan lingkungan (Vitousek 1994, Scholes dan Breemen 1997). Kedua aktivitas ini baik secara tersendiri maupun simultan menyebabkan terjadinya gangguan proses fisik pada sistem biosfer. Proses fisik pada sistem biosfer yang rentang terhadap perubahan lingkungan adalah sistem transfer energi, massa dan momentum (Monteith and Unsworth, 1990). Fenomena ini dicirikan oleh respon biofisik berupa peningkatan suhu, regim aliran (banjir dan atau kekeringan), degradasi biodiversitas dan lain sebagainya.

Tinjauan ahli iklim dunia menunjukkan bahwa peningkatan gas rumah kaca pada sistem atmosfer menyebabkan gangguan terhadap neraca energi dan radiasi yang kemudian meningkatkan suhu udara dan suhu permukaan bumi. Fenomena ini dikenal sekarang dengan pemanasan global atau perubahan iklim. Secara teoritik peningkatan suhu udara

akibat gas rumah kaca adalah karena terjadinya gangguan fungsi atmosfer untuk melindungi bumi dari pendinginan dan pemanasan yang berlebihan (Kondrat'ev, 1973 dan Rosenberg, 1983) . Gangguan ini berkaitan dengan :

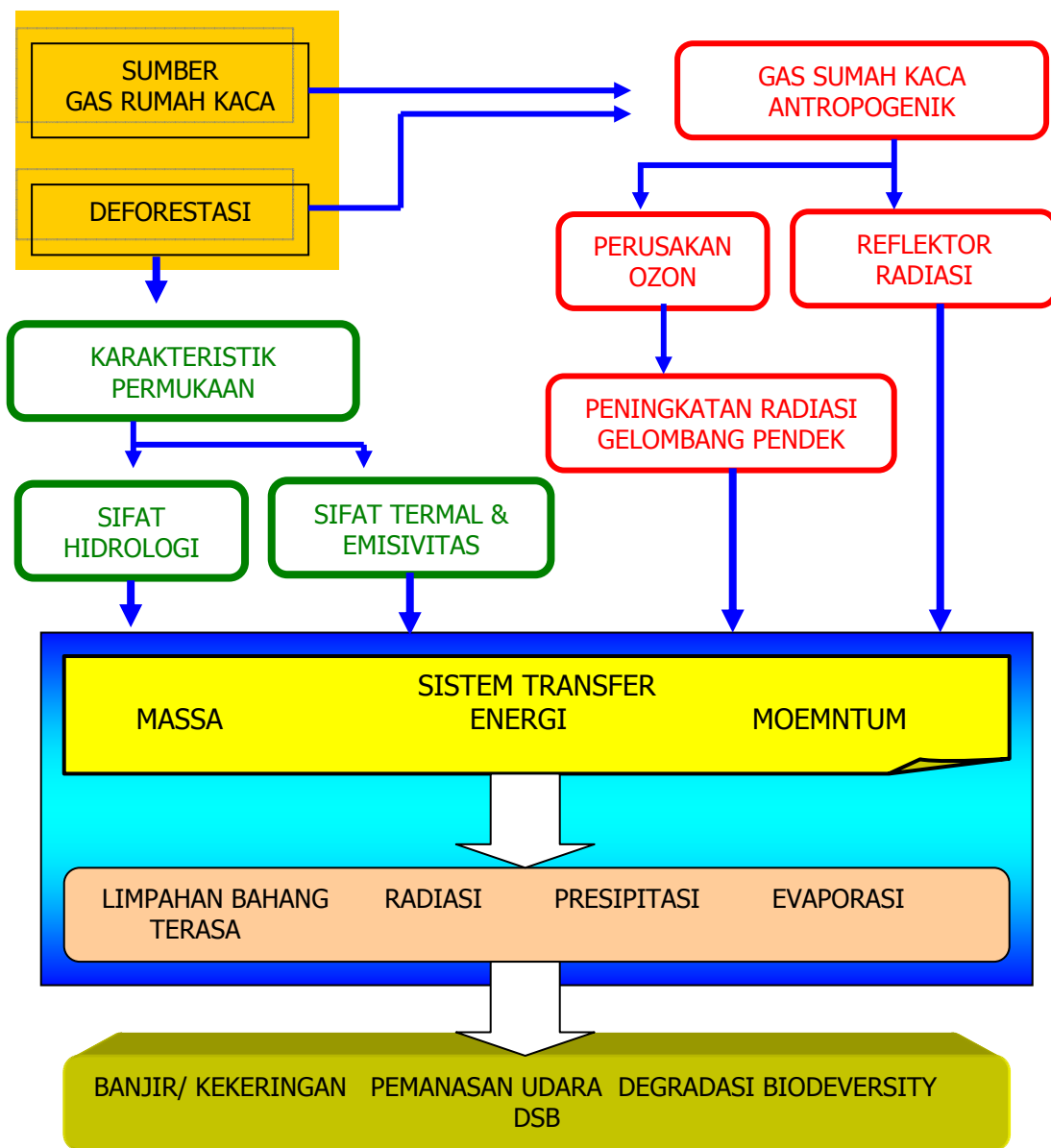
- a) Meningkatnya radiasi gelombang pendek (ultra violet) dari matahari yang sampai ke bumi akibat dari rusaknya lapisan ozon
- b) Berkurangnya radiasi thermal yang keluar angkasa karena sifat reflektor dari gas rumah kaca. Akibatnya radiasi termal terkurung pada lapisan troposfer atau antara jendela atmosfer dengan permukaan bumi sehingga suhu udara meningkat

Dikaitkan dengan perubahan penggunaan lahan terutama konversi hutan menjadi areal lain (*deforestation*) terutama non vegetatif, pengaruhnya tidak hanya pada sistem hidrologi dan fungsi habitat tetapi lebih dari itu terdapat dua hal penting yang ikut mengalami gangguan yakni :

- a) Kelenturan proses fisik yang menyebabkan gangguan fungsi iklim dan cuaca dari hutan berupa transfer massa, momentum dan energi pada sistem biosfer. Gangguan ini berkaitan kuat dengan perubahan sifat dan karakter permukaan.
- b) Potensi aseptor karbon dioksida (CO_2) melalui proses fisiologi (fotosintesis) berkurang sehingga memungkinkan terjadinya akumulasi CO_2 di atmosfer.

Secara secara konseptual mekanistik perubahan lingkungan yang disajikan pada Gambar 1 menunjukkan dampak yang ditimbulkan tidak hanya menyebabkan manfaat yang diperoleh dari eksploitasi sumberdaya alam tidak terlanjutan (*unsustainable*) tetapi juga menjadi bencana yang berkepanjangan. Berkaitan dengan itu melalui PBB pada tahun 1970-an dibentuk United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Lembaga ini bertujuan, antara lain meningkatkan kepedulian negara-negara di dunia untuk secara aktif melakukan langkah antisipasi dan adaptasi terhadap berbagai dampak yang timbul dan mitigasi terhadap aktivitas yang dapat mendorong terjadinya pemanasan global. Menyikapi hal ini dilakukan berbagai penelitian dan kajian dengan sudut pandang yang berbeda tetapi secara substansial mitigasi diarahkan pada :

- a) Pengurangan suplay emisi ke sistem atmosfer terutama yang berpotensi sebagai perusak lapisan ozon dan atau gas rumah kaca.
- b) Peningkatan penyadapan Emisi di atmosfer



Gambar 1. Kerangka Pikir Dampak Gas Rumah Kaca dan Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Sistem Biosfer dan Kehidupan

Pertanyaannya adalah

Bagaimana formulasi mitigasi perubahan lingkungan yang efektif ?

Berbagai jawaban yang dapat muncul dengan sudut pandang yang berbeda. Namun jika indikatornya adalah pengurangan emisi yang ada di atmosfer dan sasaran mitigasi maka penyadapan emisi di atmosfer melalui proses biologi menjadi suatu alternatif. Berkaitan dengan ini maka agroforestri dapat menjadi salah satu opsi mitigasi yang didasarkan beberapa alasan, antara lain yaitu :

- a) Secara teknologi agroforestri merupakan teknologi yang aplikatif dengan ekosistem yang kompleks sehingga dinilai sebagai teknologi pengelolaan sumberdaya alam yang *sustainable*.
- b) Secara fisiologi agroforestri memiliki kemampuan untuk menyadap emisi di atmosfer terutama CO₂ melalui proses fotosintesis selain itu akan melepaskan oksigen. Ini berarti Agroforestri akan meningkatkan potensi penyadapan CO₂ di atmosfer.
- c) Secara fisiks, agroforestri memiliki kemampuan untuk memperbaiki kelenturan fisik dan biologi melalui perubahan karakteristik permukaan. Hal yang terpenting di sini adalah transfer energi, massa dan momentum antara agroforestri dengan lingkungannya.
- d) Secara sosial ekonomi agroforestri telah dikenali oleh masyarakat dan berpotensi memberikan hasil yang optimal melalui sentuhan teknologi.

AGROFORESTRI DAN LINGKUNGAN

a. Pengendalian Karbon

Konsepsi agroforestri telah mengemuka jauh sebelum masuknya perubahan iklim dalam agenda politik internasional. Berbagai pengertian yang berkaitan dengan agroforestri, namun antara satu dengan lainnya secara substansial relatif tidak berbeda.

International Council for Research in Agroforestry mendefinisikan *Agro forestry*" sebagai suatu sistem pengelolaan lahan yang berasaskan kelestarian, untuk meningkatkan hasil lahan secara keseluruhan, melalui kombinasi produksi (termasuk tanaman pohon-pohonan) dan tanaman hutan dan atau hewan secara bersamaan atau berurutan pada unit lahan yang sama, dan menerapkan cara-cara pengelolaan yang sesuai dengan kebudayaan penduduk setempat". (King dan Chandler, 1978 in <http://www.lablink.or.id/Agro>. Pada bagian lain Satjapradja, (1981) mendefinisikan agroforestri sebagai suatu metode

penggunaan lahan secara optimal, yang mengkombinasikan sistem-sistem produksi biologis yang berotasi pendek dan panjang (suatu kombinasi produksi kehutanan dan produksi biologis lainnya) dengan suatu cara berdasarkan azas kelestarian, secara bersamaan atau berurutan, dalam kawasan hutan atau diluarnya, dengan tujuan untuk mencapai kesejahteraan rakyat.

Menurut Lundgren dan Raintree yakni *agroforestry* adalah suatu nama kolektif untuk sistem-sistem penggunaan lahan & teknologi, dimana tanaman keras berkayu (pohon-pohonan, perdu, jenis-jenis palm, bambu, dsb) ditanam bersamaan dengan tanaman pertanian, dan atau hewan, dengan suatu tujuan tertentu dalam suatu bentuk pengaturan spasial atau urutan temporal, dan didalamnya terdapat interaksi-interaksi ekologi dan ekonomi diantara berbagai komponen yang bersangkutan. Sesuai definisi ini maka agroforestri mencakup selang variasi yang cukup luas dan dapat diklasifikasikan berdasarkan kriteria-kriteria sebagai berikut :

- a) Dasar struktural ; menyangkut-komponen, seperti sistem silvikultur, silvopastur, agrisilvopastur.
- b) Dasar fungsional ; menyangkut fungsi utama atau peranan dari sistem, terutama komponen kayu-kayuan.
- c) Dasar sosial ekonomi ; menyangkut tingkat masukan dalam pengelolaan (masukan rendah, masukan tinggi) atau intensitas dan skala pengelolaan, atau tujuan-tujuan usaha (subsistem, komersial, intermedier)
- d) Dasar ekologi; menyangkut kondisi lingkungan dan kecocokan ekologi dan sistem.

Menurut Martin dan Sherman (1992) tujuan utama agroforestri yakni (i) meningkatkan produktivitas dan efisiensi pemanfaatan sumberdaya lahan dan hutan (ii) meningkatkan kualitas sumber daya alam terutama tanah dan air (iii) meningkan kesejahteraan masyarakat dan peran sertanya dalam melindungi sumberdaya alam. Uraian ini menggambarkan bahwa agroforestri dapat menjembatani minimal tiga kepentingan yaitu, (i) mitigasi perubahan lingkungan, (ii) penggunaan sumberdaya yang efisien dan (iii) peningkatan nilai manfaat sosial ekonomi sumberdaya bagi masyarakat.

Mekanisme penurunan gas rumah kaca pada *Kyoto Protocol* dilakukan melalui tiga kegiatan yaitu (a) *Joint Implementation* (b) *Emmision Trading* dan (c) *Clean Development Mechanism (CDM)*. Tanpa mengesampingkan GRK lainnya, gas karbon mendapat

perhatian khusus sehingga menjadi GRK yang diperdagangkan beserta methane pada CDM.

Berbagai alasan yang dapat dikemukakan, antara lain :

- a) Gas karbon selain merupakan hasil emisi dari pembakaran bahan bakar fosil juga merupakan bagian dampak yang ditimbulkan dari perubahan penggunaan lahan (Tabel 1)
- b) Sesuai sifat dan karakternya, gas karbon memiliki *life time* 6 – 10 tahun di atmosfer dengan porsi > 50% dari total GRK
- c) Gas ini mampu menaikkan temperatur udara sebesar 5 C.

Di bidang kehutanan langkah strategis yang dilakukan untuk mitigasi perubahan iklim akibat karbon dioksida adalah konservasi, peningkatan pengambilan karbon (*rosot*) dan substitusi penggunaan bahan bakar fosil dengan biomass (Trexler Kosloff and Gibbon 2000). Peningkatan pengambilan atau penyadapan karbon (*rosot*) dilakukan melalui kegiatan perluasan hutan (*forestasi*) dan pengelolaan hutan berkelanjutan. Berkaitan dengan penyadapan karbon di atmosfer, maka agroforestri dinilai memiliki relevansi kuat untuk diterapkan. Secara umum potensi global sektor kehutanan untuk menekan karbon untuk kurung waktu 1995 – 2050 adalah 60 – 87 G ton carbon dan 10 % dapat dilakukan dengan agroforestri (Tabel 2)

Tabel 1. Neraca Karbon Global (juta ton C per Tahun) in Murdiyarsa,2003

URAIAN		1980 -1989	1990 - 1999
Sumber	Pembakaran Bahan Bakar Fosil	5.500	6.300
	Alih Guna Lahan Tropis	1.600	1.700
Emisi Total		7.100	8.000
Rosot	Atmosfir	3.200	3.200
	Lautan	2.000	1.700
	Pertumbuhan Hutan Tropis	500	200
Penyerapan Total		5.700	5.100
Pertumbuhan CO2		1.400	2.900

Tabel 2. Potensi Global Sektor Kehutanan Untuk Menekan emisi GRK

untuk 1995 – 2050 (Sathaye, 1999)

Zone Lintang	Jenis Kegiatan	C Yang diserap (Gt C)
Tinggi	Forestasi	2,4
Menengah	Forestasi	11,8
	Agroforestri	0,7
Rendah	Forestasi	16,4
	Agroforestri	6,3
	Regenerasi	11,5 – 28,7
	Memperlambat Deforestasi	10,8 – 20,8
Total		60 – 87

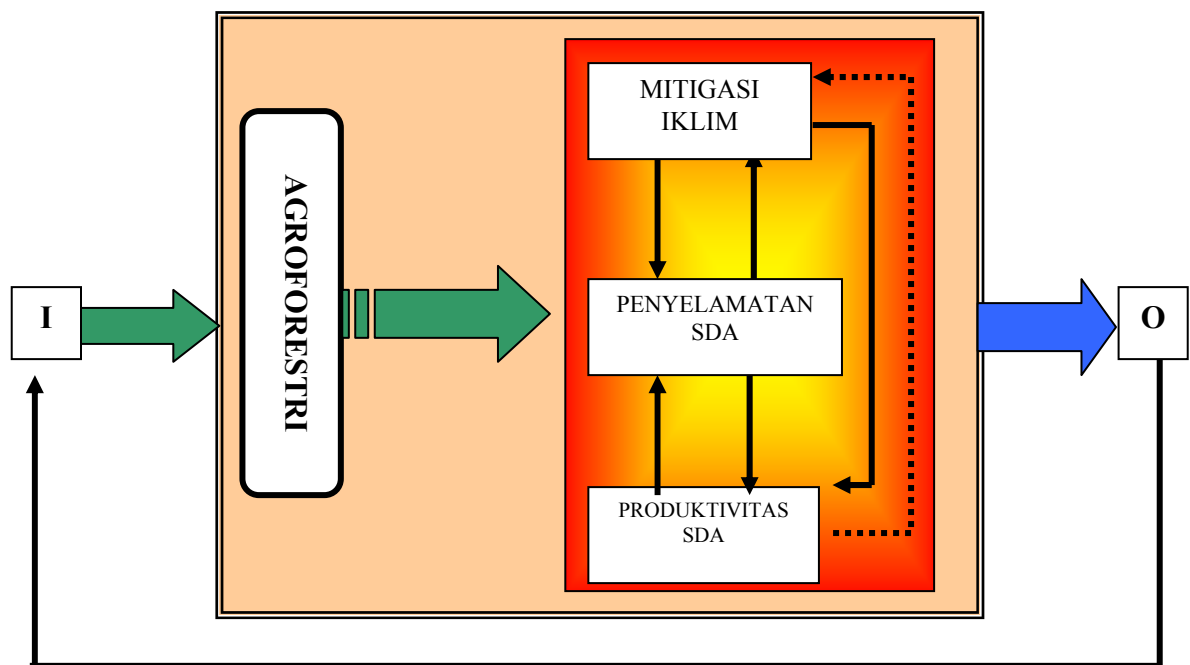
b. Aspek Strategis Agroforestri Terhadap Mitigasi dan Tantangannya

Tanpa mengesampingkan aspek sosial ekonomi, maka aspek strategis agroforestri dalam mitigasi perubahan lingkungan adalah :

- a) Interspsi hujan oleh vegetasi yang heterogen dan *multi layers* menyebabkan pengurangan energi kinetik butir hujan sehingga daya dispersi terhadap agregat tanah berkurang (Hicks dan Riou et al dalam Baldy dan Stinger, 1977). Hal ini semakin penting karena akan terbentuk vegetasi parmanen dari tanaman tahunan atau kehutanan. Selain itu pengaruh intersepsi dapat mereduksi laju penerimaan di permukaan tanah karena melwati aliran batang (*stemflow*) dan curahan tajuk (*troughfall*) (Lee, 1988).
- b) Adanya serasah pada permukaan tanah disertai dengan perubahan porositas tanah akibat perkembangan sistem perakaran memungkinkan kapasitas dan laju infiltrasi meningkat. Kondisi ini selain meningkatkan lengas tanah juga mereduksi volume dan laju aliran permukaan (*direct run off*) Pengaruh sistem ini terhadap tata air, dominan pada aliran tunda dan pengaruh ini nyata setelah dicapai setelah permukaan tanah tertutup tajuk tanaman (Swank and Miner, 1968).
- c) Mereduksi *sediment yield* di lain pihak *water yield* meningkat dengan regimen yang relatif sama sepanjang waktu. Gopinathan and Sreedharam (1989) yang meneliti enam bentuk agroforestry, berkesimpulan bahwa Eucalyptus +Cassava (mengikuti kontur) pengaruhnya lebih baik terhadap pengendalian erosi dibandingkan dengan Eucalyptus monoculture, dan Eucalyptus+Casava (acak)
- d) Kesetimbangan biodeversitiy. Keragaman tanaman yang duasakan antara tanaman tahunan dan tanaman pertanian memungkinkan terkjadinya rantai makanan dan energi yang lebih panjang. Kondisi ini selanjutnya akan mendukung terciptanya keragaman hayati yang tinggi (biodiversiti)

- e) Karakter permukaan ini memberikan pengaruh tersendiri terhadap pemindahan massa, energi dan momentum sehingga berpengaruh pada proses fisika di atmosfer. Guyot et al (1997) pada sistem agroforestry umumnya menyerap lebih banyak radiasi *visible light* dan merefleksikan radiasi *impra red*. Temperatur udara di kawasan agroforestry lebih rendah dari lahan terbuka, pengaruh ini bergantung pada tipe agroforestri (Monteith dalam Baldi dan Stigter, 1997). Hal ini dikarenakan energi yang tersedia dominan digunakan untuk limpahan bahang laten baik melalui evaporasi dan atau transpirasi. Kondisi demikian menyebabkan limpahan bahang terasa dan pemanasan tanah menjadi kecil, di sisi lain kondisi ini juga menyebabkan massa udara di kawasan tersebut atau pada boundari layer mengandung uap air yang lebih banyak dan berpotensi menghasilkan presipitasi.
- f) Ketersediaan air tanah atau lengas tanah memungkinkan tanaman menfiksasi CO₂ melalui proses fotosintesis pada berbagai layer semakin meningkat. Rangkaian proses tersebut akhirnya fungsi sebagai sink CO₂ dapat dicapai sehingga perannya terhadap pengurangan emisi karbon dioksida pada atmosfer menjadi nyata yang selanjutnya akan menurunkan laju pemanasan atmosfer.

Uraian tentang peranan agroforestri terhadap stabilitas lingkungan biosfer memberikan harapan yang besar untuk dijadikan opsi dalam mitigasi lingkungan sekaligus pembangunan sektor pertanian dalam arti luas (Gambar 2), namun yang menjadi masalah adalah bagaimana manfaat sosialnya beserta potensi komplik yang akan terjadi. Berbagai alasan yang mendasari pertanyaan ini, antara lain



Gambar 2. Krangka Dasar Hubungan Agroforestri dengan stabilitas lingkungan

Bagaimana jaminan atas penguasaan lahan terutama untuk agroforestri di dalam kawasan hutan terutama yang dikelola secara individu dan atau berkelompok

- a) Bagaimana penghargaan terhadap jasa lingkungan yang dihasilkan
- b) Bagaimana akses sumberdaya lain yang menjadi kepentingan banyak pihak

Dari tiga pertanyaan di atas maka agroforestry hendaknya dikemas sebagai suatu sistem pertanian yang aplikatif untuk semua kondisi dan memberikan keuntungan bagi masyarakat beserta jaminan haknya tanpa mengorbankan kualitas lingkungan

PENUTUP

Pemanasan global yang terjadi saat ini sesungguhnya merupakan respon biofisik atas perubahan lingkungan yang terjadi. Atas kejadian ini banjir, kekeringan, aliran udara panas, dan degradasi biodiversitas dan sebagainya adalah rangkaian proses fisik yang menyertai pemanasan global. Dengan kata lain sistem biosfer akan mengalami bencana yang cukup serius dan akan merubah tatanan kehidupan. Bukti ilmiah menunjukkan aktivitas manusia memiliki kontribusi yang signifikan terhadap pemanasan global, antara lain :

- a) Perubahan penggunaan lahan terutama deforestation
- b) Peningkatan emisi gas rumah kaca antropogenik ke atmosfer

Dua komponen ini saling memberikan penguatan pengaruh terhadap perubahan lingkungan melalui sistem transfer energi, massa dan momentum antara sistem bumi dan sistem atmosfer.

Menyadari dampak negatif yang ditimbulkan maka dunia internasional memandang sebagai agenda penting untuk ditangani secara bersama-sama. Olehnya itu dibutuhkan suatu formulasi pengelolaan yang efisien dan efektif. Berkaitan dengan ini maka melalui PBB dibentuk konvensi tentang perubahan iklim yakni *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) yang bertujuan untuk menstabilkan gas rumah kaca di atmosfer hingga pada level yang aman melalui antisipasi, adaptasi dan mitigasi.

Karbon dioksida (CO₂) merupakan gas rumah kaca yang dominan karena memiliki sumberdaya yang besar terutama sejak era industrialisasi. Penyerapan CO₂ di atmosfer merupakan salah satu langkah strategi selain mengurangi suplai ke atmosfer. Sejalan dengan

itu maka dalam *Kyoto Protocol* gas CO₂ mendapat perhatian tersendiri yakni pada *Clean development mechanism*.

Berkaitan dengan uraian di atas, agroforestri dinilai memiliki relevansi kuat untuk dijadikan sebagai opsi mitigasi perubahan lingkungan global. Banyak bukti menunjukkan bahwa agroforestri selain dapat meningkatkan fungsi hidroorologi suatu kawasan juga dapat menyadap CO₂ karena basisnya vegetasi dengan proses biologi. Potensi penyadapan CO₂ oleh agroforestri khususnya di lintang rendah mencapai 6.300 juta ton C yang berarti nilai jauh lebih tinggi dari pertumbuhan CO₂ pada periode 1990 – 1999 yakni hanya 2.300 juta ton C. Selain itu sistem ini dapat memberikan pendapatan langsung masyarakat berupa produksi dan yang lebih penting adalah agroforestri bukan merupakan teknologi yang baru bagi masyarakat. Hal ini memungkinkan agroforestri dapat menjadi opsi mitigasi lingkungan sekaligus sebagai strategi pembangunan sektor pertanian dalam arti luas. Nampak jelas bahwa agroforestri menjembati berbagai kepentingan satu diantaranya adalah pengelolaan sumberdaya yang sustainable. Namun demikian perlu dikemas secara baik agar tidak menimbulkan permasalahan baru terutama yang berkaitan dengan akses sumber daya, penghargaan terhadap jasa layanan lingkungan yang dihasilkan, dan aspek lainnya yang dapat menimbulkan komplik.

BAHAN BACAAN

- Baldy C., and C.J. Stiter, 1997. *Agrometeorology of Multiple Cropping in Warm Climate*. Institut Nationla De La Recherche Agronomique.
- Gopinathan R. C.Sreedharan , 1989. Soil erosiaon as influenced by rainfall erocivity unther different Agroforestry System.Meteorology and Aagroforestry.ICRAF Nairobi : 407 – 481.
- <http://www.lablinc.or.id/Agro> Definisi Agroforestri. Tanggal 22 Nop 2004
- Kondrat'ev, KY. 1973. *Radiation in the Atmosphere*. New York: Academic Press
- Lee R., 1980. *Forest Hydrologi*. Columbia University Press
- Martin, M.F., and S.Sherman, 1992. *Agroforestry Principles*. <http://www.echonet.org/cc> Tanggal 3 Desember 2003
- Monteith JL, and Unsworth MH. 1990. *Principle of Environmental Physics*. 2nd . Edward Arnold. London.

- Murdiyarso D., 2003. Mengemas Proyek Karbon Hutan untuk Kepentingan Multi Pihak. Disajikan pada Lokakarya Regional Kalimantan : Proyek Karbon, 28 s/d 29 Agustus, 2003.
- Rosenberg NJ, 1983. Microclimate: The Biological Environment. 2nd. John Wiley and Sons, London.
- Sathaye J. 1999. Climate change mitigation: Forestry potensial in developing countries. Paper presented in the International Workshop on The Development of Climate Change Action Plants. ADB-Manila. 7 –10 Dec. 1999.
- Scholes RJ, and van Breemen N. 1997. The effect of global change on tropical ecosystems. *Geoderma* 79:9-24.
- Swank, W.T. and N.H. Miner, 1968. Conversion of Hardwood covered watershed to white pine reduces water yield. *Water Resources* (4) : 947 – 959.
- Trexler, MC., Kosloff, LH., and Gibbon, R. 2000. Forestry after the Kyoto Protocol: A review of key questions and issues. In Luis Gomez- Echeverri (ed) 'Climate Change and Development', UNDP : p131- 152.