

PERAN POHON DALAM UPAYA MITIGASI PERUBAHAN IKLIM



Oleh:

SEMUEL P. RATAG

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS SAM RATULANGI
FAKULTAS PERTANIAN
FEBRUARI - 2017**

**PERAN POHON DALAM UPAYA MITIGASI
PERUBAHAN IKLIM**

Oleh:

SEMUEL P. RATAG

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS SAM RATULANGI
FAKULTAS PERTANIAN
FEBRUARI - 2017**

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan yang telah mengaruniakan akal budi dan kebijaksanaan sehingga tulisan ini bisa diselesaikan meskipun hanya seperti sebutir debu dibandingkan fenomena alam sebagai karya ciptaanNya. Karya ini dibuat sebagai respon terhadap kasih sayangNya terhadap umat manusia.

Tulisan ini menggambarkan tentang bagaimana peran pohon dikaitkan dengan isu perubahan iklim global saat ini akibat naiknya gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Dampak negatif perubahan iklim akan menjadi suatu kengerian di masa mendatang. Saat ini saja kita telah melihat dan mendengar bahkan merasakan kejadian-kejadian banjir, tanah longsor, kekeringan, naiknya permukaan laut, naiknya suhu atmosfer, dan sebagainya yang terjadi di berbagai belahan bumi ini. Oleh karena itu, dibutuhkan sesegera mungkin upaya-upaya mitigasi dan adaptasi untuk mengurangi dampak negatif perubahan iklim.

Proses fotosintesis yang berlangsung di dedaunan pohon membutuhkan karbondioksida dari atmosfer, kemudian menyimpannya dalam organ-organ tubuh pohon. Semakin banyak pohon yang ditanam, maka semakin banyak pula karbon di atmosfer yang disekuestrasi. Peran tersebut menjadikan pohon sebagai salah satu alternatif dalam upaya mitigasi perubahan iklim untuk mengurangi jumlah karbondioksida di atmosfer.

Tulisan ini memiliki banyak kekurangan, sehingga kritik dan saran dari pembaca sangat dibutuhkan untuk perbaikan tulisan ini. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Manado, 1 Februari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
Daftar Tabel	iii
Daftar Gambar	iv
I. PENDAHULUAN	1
II. KAJIAN MODEL PENDUGAAN BIOMASSA SEBAGAI SALAH SATU UPAYA MITIGASI PERUBAHAN IKLIM	4
2.1. Perubahan Iklim	4
2.2. Hutan Sebagai Penyimpan Karbon Daratan	15
2.3. Upaya Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim	16
2.4. Kajian Model Pendugaan Biomassa Pohon	17
III. PENUTUP	23
DAFTAR PUSTAKA	24

DAFTAR TABEL

Nomor	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Karakteristik Gas Rumah Kaca Utama	6
2.	Jumlah C yang Terdapat pada Berbagai Pool C yang Ada di Bumi	9
3.	Sumber, Rosot dan Peningkatan Emisi CO ₂ di Atmosfir	10

DAFTAR GAMBAR

Nomor	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Gas Rumah Kaca yang Menyelimuti Atmosfir Bumi akan Menyerap Radiasi Gelombang Panjang Yang Memanaskan Bumi	5
2.	Hasil Pengukuran Suhu Bumi Anomali Tahunan dan Rata-rata Lima Tahunan Semenjak Tahun 1800-an hingga Tahun 2005	7
3.	Siklus C Global yang Menggambarkan Pertukaran C yang Terjadi Secara Alami Antara Atmosfir, Lautan, dan Daratan	8
4.	Konsentrasi CO ₂ di Atmosfir yang Direkonstruksi dari Pengukuran Langsung di Atmosfir dan Di Dalam Contoh Es di Kutub	11
5.	Perubahan Suhu Udara 100 Tahun Yang Lalu dan Yang Akan Datang Akibat Peningkatan Konsentrasi GRK yang Diprediksi Oleh Berbagai Model Sirkulasi Global	12
6.	Neraca Karbon Daratan Berdasarkan Estimasi Pelepasan atau Penyerapan C pada Berbagai Tingkat Proses Ekosistem	13
7.	Skematis Pohon Sebagai Penyerap CO ₂ Melalui Proses Fotosintesis	19

1

PENDAHULUAN



Persoalan-persoalan di dunia ini hanya dapat diselesaikan jika kita tahu jalan pikiran Sang Pencipta. Berdasarkan keyakinan kita masing-masing mari kita renungkan pertanyaan-pertanyaan berikut, yakni: (i) ketika alam semesta termasuk bumi ini hendak diciptakan, apakah Sang Pencipta tahu bahwa bumi dan organisme yang hidup akan hancur oleh ciptaanNya sendiri yakni manusia sebagai makhluk ciptaanNya termulia?, ataukah (ii) Sang Pencipta tahu bahwa manusia yang Dia ciptakan akan mampu mengatasi segala kerusakan yang timbul di muka bumi ini?.

Mungkinkah kedua pertanyaan tersebut bisa dijawab dengan menggunakan rasio manusia yang berputar pada kebenaran-kebenaran relatif?, ataukah hal ini hanya akan terungkap melalui kebenaran absolut berdasarkan keyakinan kita masing-masing?. Berhubungan dengan kebenaran absolut yang kita yakini, tentunya manusia sebagai makhluk termulia telah diberikan akal budi, kebijaksanaan dan kemampuan oleh Sang Pencipta untuk mengamati segala permasalahan dan mencari solusinya bagi kelangsungan hidup dan kesejahteraan manusia. Mulai dari Adam, Musa, Daud, Salomo, Hipocrates, Aristoteles, Thomas A. Edison, Albert Einstein, dan banyak tokoh-tokoh dunia telah dihadirkanNya di muka bumi ini. Mereka pernah hidup dan bergelut dengan bidangnya masing-masing, menemukan solusi bagi masalah-masalah yang ada dan mengungkap misteri alam semesta untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi serta peradaban manusia.

Memang, peradaban dulu dan sekarang ada perbedaan. Perbedaan tersebut terjadi karena perbedaan ilmu pengetahuan dan teknologi, sosial ekonomi, budaya, politik, dan agama yang semakin kompleks karena semuanya berinteraksi dengan persoalan-persoalan yang dihadapi. Dalam konteks ini, meskipun ada perbedaan namun masing-masing menghadapi persoalan-persoalan yang mungkin sama atau mungkin berbeda tapi sama banyaknya dan

sama beratnya sesuai situasi dan kondisi peradaban. Kini, manusia sedang menghadapi banyak persoalan, seperti perdamaian antara bangsa, kemiskinan, kesehatan, lingkungan hidup, dan masih banyak lagi yang harus diselesaikan. Apakah peradaban sekarang ini dapat menyelesaikan masalah-masalah sekarang dimana ada yang muncul karena peradaban masa lalu dan ada yang karena peradaban saat ini?

Berikut ini akan dibahas satu contoh yang sedang dihadapi umat manusia sekarang ini, yakni masalah lingkungan hidup. Hal tersebut sangat erat kaitannya dengan pertanyaan terakhir di atas. Persoalan yang dihadapi manusia saat ini dalam bidang lingkungan hidup, ada yang timbul bersifat karena kekurangan, kelemahan dan kekeliruan manusia masa lalu, ada pula yang timbul akibat perbuatan manusia sekarang ini dan efeknya bisa berlanjut pada masa yang akan datang.

Salah satu persoalan lingkungan hidup yang kini menjadi isu lingkungan global terdepan adalah perubahan iklim (IPCC, 2007). Istilah “terdepan” dapat memiliki beragam makna tergantung dari sisi mana kita memandangnya. Dalam konteks politik internasional, istilah ini berbeda-beda menurut kepentingan politik setiap negara. Berbeda dengan pandangan ekologis. Batasan yang dikemukakan Krebs (1994), bahwa *ekologi adalah ilmu yang mempelajari interaksi-interaksi yang menentukan distribusi dan kelimpahan organisme*. Berdasarkan definisi tersebut maka iklim sebagai faktor lingkungan yang menentukan kehidupan semua organisme, baik dalam hal distribusi maupun kelimpahannya maka istilah “terdepan” tidak hanya sekedar sesuatu yang lagi populer atau tergantung kepentingan politik suatu negara atau kelompok negara. Secara ekologi, berdasarkan definisi tersebut maka perubahan iklim adalah satu isu yang sangat penting terkait dengan kelangsungan hidup organisme di muka bumi ini.

Isu perubahan iklim berhubungan dengan meningkatnya suhu atmosfer yang disebabkan oleh “Efek Rumah Kaca” yang terjadi karena meningkatnya gas-gas rumah kaca. Salah satu gas yang menyebabkan hal itu adalah karbondioksida (CO₂). Suhu rata-rata permukaan bumi selama satu abad yang lalu telah meningkat sebesar 1,3^o F (IPCC, 2007).

Jika kita kaitkan peningkatan CO₂ dengan kemampuan tanaman berklorofil maka dalam proses fotosintesis, tanaman membutuhkan energi cahaya, air, dan

CO₂ untuk membentuk karbohidrat. Dengan demikian terjadi penyerapan karbon dari udara dan terakumulasi dalam tubuh tanaman dalam bentuk batang, cabang, ranting, daun, bunga, buah dan akar dan tanah. Proses ini biasanya dikenal dengan istilah *Carbon Sequestration* (EPA, 2008; Jana *et al*, 2009)

Jadi, tanaman bisa berfungsi sebagai penyerap karbon, sehingga jika kita melakukan penambahan jumlah tanaman akan meningkatkan penyerapan karbon atau pengurangan jumlah karbon di atmosfer.

Karena itu, maka upaya pengurangan jumlah karbon, salah satunya dapat dilakukan dengan peningkatan populasi tanaman. Namun demikian, untuk memastikan berapa jumlah karbon tersimpan di atas maupun di bawah permukaan tanah, baik dalam skala jenis maupun skala kawasan perlu dilakukan kajian untuk memperoleh model pendugaan yang hasilnya dapat digunakan untuk berbagai tujuan.

2



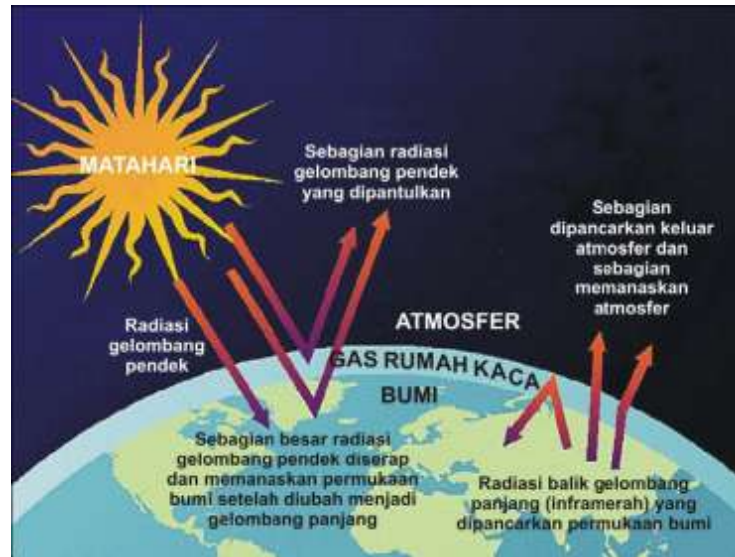
KAJIAN MODEL PENDUGAAN BIOMASSA SEBAGAI SALAH SATU UPAYA MITIGASI PERUBAHAN IKLIM

Perubahan iklim adalah isu yang sedang hangat dibicarakan oleh para ahli, LSM, pemerintah berbagai negara di dunia ini. Perubahan ini erat kaitannya dengan istilah-istilah yang dikenal sebagai *Green-house Effect* (Efek rumah kaca) dan *Global Warming* (pemanasan global).

Bagian ini akan mendeskripsikan secara singkat tentang perubahan iklim hubungannya dengan efek rumah kaca dan pemanasan global. Kemudian upaya-upaya yang harus dilakukan sebagai solusi masalah perubahan iklim. Upaya yang perlu dilakukan sebagai salah satu solusi sehubungan dengan perubahan iklim adalah kajian bidang kehutanan yang berkaitan dengan menurunkan gas rumah kaca di atmosfer, khususnya gas CO₂, yakni kajian untuk memperoleh model pendugaan biomassa pada level jenis pohon.

2.1. PERUBAHAN IKLIM

Pemanasan global adalah kejadian terperangkapnya radiasi gelombang panjang matahari (infra merah atau gelombang panas) yang dipancarkan oleh bumi, sehingga tidak dapat lepas ke angkasa dan akibatnya suhu di atmosfer bumi memanas (Gambar 1).



Gambar 1. Gas rumahkaca yang menyelubungi atmosfer bumi akan menyerap radiasi gelombang panjang yang memanaskan bumi. (Sumber: UNEP/WMO, 2000)

Perubahan suhu bumi dampaknya akan mempengaruhi semua interaksi abiotik dan biotik yang terjadi pada setiap ekosistem di bumi, karena itu kejadian ini disebut sebagai “pemanasan global”. Gelombang pendek yang berasal dari matahari tiba di suatu permukaan dan berubah menjadi gelombang panjang yang panas. Gelombang panjang ini kemudian dipantulkan ke atmosfer namun tertahan oleh lapisan gas berperan seperti dinding kaca atau ‘selimut tebal’ yang dikenal dengan *Greenhouse Effect* (Efek rumah kaca), antara lain adalah uap air, gas asam arang atau karbon dioksida (CO₂), gas methana (CH₄), gas dinitrogen oksida (N₂O), perfluorokarbon (PFC), hidrofluorokarbon (HFC) dan sulfurheksfluorida (SF₆). Gas-gas tersebut dikenal dengan *Greenhouse Gases/GHGs* (Gas Rumah Kaca/GRK) (IPCC, 2007). Uap air (H₂O) sebenarnya juga merupakan GRK yang penting dan pengaruhnya dapat segera dirasakan. Misalnya pada saat menjelang hujan berawan tebal dan kelembaban tinggi, udara terasa panas karena radiasi gelombang-panjang tertahan uap air atau mendung yang menggantung di atmosfer. Namun H₂O tidak diperhitungkan sebagai GRK yang efektif dan tidak dipergunakan dalam prediksi perubahan iklim karena keberadaan atau masa hidup (life time) H₂O sangat singkat (9.2 hari).

Tiga jenis gas yang paling sering disebut sebagai GRK utama adalah CO₂, CH₄ dan N₂O, karena akhir-akhir ini konsentrasinya di atmosfer terus meningkat hingga dua kali lipat (IPCC, 2007). Ketiga jenis GRK tersebut mempunyai masa hidup cukup panjang Tabel 1. Dari ketiga GRK tersebut gas CO₂ merupakan gas

yang paling pesat laju peningkatnya dan masa hidupnya paling panjang, walaupun kemampuan radiasinya lebih rendah dari pada ke dua gas lainnya.

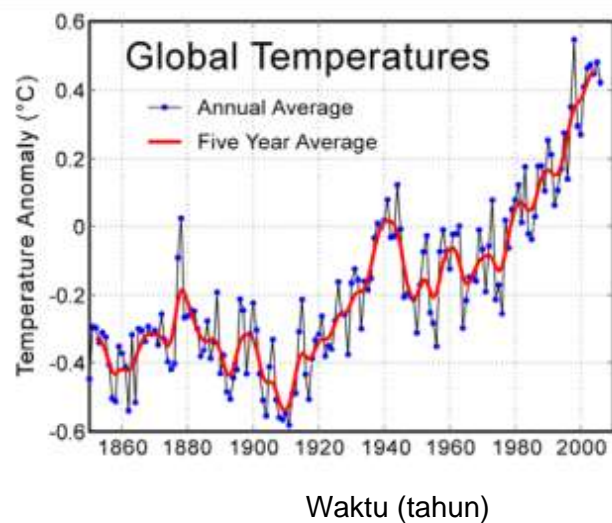
Tabel 1. Karakteristik gas rumah kaca utama

Karakteristik	CO ₂ , ppmv	CH ₄ , ppbv	N ₂ O, ppbv
Konsentrasi pada pra-industri	290	700	275
Konsentrasi pada 1992	355	1714	311
Konsentrasi pada 1998	360	1745	314
Laju kenaikan per tahun	1.5	7	0.8
Persen kenaikan per tahun	0.4	0.8	0.3
Masa hidup (tahun)	5-200	12-17	114
Kemampuan memperkuat radiasi	1	21	206

Keterangan: ppmv = part per million by volume, ppbv: part per billion by volume (Hairiah, 2007)

Kejadian pemanasan bumi tersebut sama dengan kondisi di dalam rumah kaca yang memungkinkan sinar matahari untuk masuk tetapi energi panas yang keluar sangat sedikit, sehingga suhu di dalam rumah kaca sangat tinggi. Dengan demikian pemanasan global yang terjadi disebut juga Efek Rumah Kaca dan gas yang menimbulkannya disebut Gas Rumah Kaca (GRK) dan untuk memudahkan perhitungan dalam penurunan emisi, semua gas dinyatakan dalam ekivalen terhadap CO₂ (Hairiah, 2007).

Secara alami dan terjadi sejak bumi ini diciptakan, interaksi lingkungan biotik dan abiotik menyebabkan perubahan CO₂ di atmosfer dan CO₂ di lautan kedalam bentuk organik maupun inorganik di daratan dan lautan. Perkembangan berbagai ekosistem selama jutaan tahun menghasilkan pola aliran C tertentu dalam ekosistem tingkat global. Namun, dengan adanya aktivitas manusia (penggunaan bahan bakar fosil, alih guna lahan hutan) menyebabkan perubahan pertukaran antara C di atmosfer, daratan dan ekosistem lautan. Akibat kegiatan tersebut, terjadi peningkatan konsentrasi CO₂ ke atmosfer sebanyak 28% dari konsentrasi CO₂ yang terjadi 150 tahun yang lalu (IPCC, 2000). Selanjutnya peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer menyebabkan perubahan suhu bumi. Suhu global dilaporkan telah meningkat antara 0.3 °C – 0.6 °C bila dibandingkan dengan suhu bumi di tahun 1860 (Gambar 2). Dilaporkan pula, bahwa suhu bumi pada tahun sebelum 1860 relatif stabil. Peningkatan suhu bumi tersebut tidak terjadi secara merata di seluruh dunia, ada beberapa tempat di USA bagian selatan, telah terjadi suhu terdingin di musim dingin di abad ini.



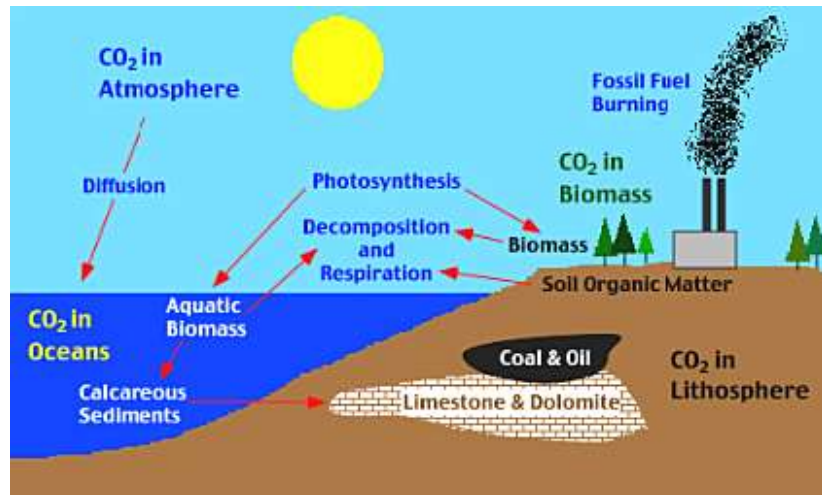
Gambar 2. Hasil pengukuran suhu bumi anomali tahunan dan rata-rata lima tahunan semenjak tahun 1800-an hingga tahun 2005 (http://id.wikipedia.org/wiki/Pemanasan_global)

Suhu bumi hingga saat ini masih terus meningkat. Dampak dari peningkatan suhu bumi ini sangat mengerikan! Pemanasan global akan menyebabkan peningkatan permukaan air laut, pergeseran musim, meningkatnya curah hujan dimusim penghujan dan kering berkepanjangan di musim kemarau dan sebagainya. Salah satu pemicu terjadinya peningkatan konsentrasi GRK yang menyebabkan terjadinya perubahan suhu bumi adalah kegiatan manusia (IPCC, 2007).

Siklus karbon (C) adalah siklus biogeokimia dimana C dipertukarkan antara biosfer, geosfer, hidrosfer, dan atmosfer bumi (http://id.wikipedia.org/wiki/Siklus_karbon). Dalam siklus C terdapat 4 penyimpanan (reservoir) C utama yang dihubungkan oleh jalur pertukaran, yaitu (a) atmosfer, (b) biosfer terestrial atau daratan (termasuk sistem perairan sungai dan bahan organik tanah), (c) lautan (termasuk C organik terlarut, dan biota laut hayati dan non hayati) dan (d) sedimen (bahan bakar fosil).

Perubahan C tahunan dan pertukaran C antar reservoir, terjadi karena adanya berbagai proses kimia, fisika, geologi, dan biologi. Lautan menyimpan C aktif terbesar pada lapisan atas dekat dengan permukaan bumi, namun demikian di bagian bawah proses pertukaran dengan atmosfer berjalan sangat lambat. Sejak mulai ada kehidupan di bumi ini telah terjadi konversi CO₂ di atmosfer dan

di lautan menjadi bentuk-bentuk C-organik maupun anorganik di lautan dan terestrial (daratan). Sejak ribuan tahun yang lalu perkembangan kehidupan di berbagai ekosistem alami membentuk suatu siklus, yang menggambarkan pertukaran C yang terjadi secara alami antara atmosfer, lautan dan daratan (Gambar 3). Di atmosfer CO₂ berasal dari pembakaran BBF, dan kegiatan industri, dekomposisi dan respirasi tanah dan perairan.



Gambar 3. Siklus C global yang menggambarkan pertukaran C yang terjadi secara alami antara atmosfer, lautan dan daratan (http://ec.europa.eu/enterprise/forest_based/312_en.html)

Bertindak sebagai aktor penyerap CO₂ di atmosfer adalah lautan dan organisma perairan serta vegetasi. Bila tanaman mati, maka CO₂ dalam biomasa tanaman yang tidak terdekomposisi dapat tersimpan sebagai fosil, berupa batu bara atau bisa pula menjadi batuan kapur dan dolomite. Jumlah masing-masing bentuk C dalam satu siklus cukup beragam tergantung dari kegiatan dan cara pengelolaannya.

Neraca C global adalah jumlah C dari hasil semua pertukaran senyawa C (aliran C yang diserap dan dilepaskan) antar cadangan (reservoir) C di bumi seperti massa di daratan dan di atmosfer dalam satu siklus C. Analisis neraca C dari sebuah reservoir dapat memberikan informasi tentang fungsi reservoir, apakah reservoir tersebut bertindak sebagai sumber pelepasan (source) C atau sebagai lubang / penyerap (sink) C. Karbon di alam berada dalam berbagai bentuk, yaitu (a) C-anorganik yang terdapat dalam batuan induk (seperti H₂CO₃ dan CO₃), (b) C-organik (terdapat dibagian organik tanaman) dan (c) C- gas seperti CO₂, CH₄ dan CO. Siklus C merupakan perubahan dari satu bentuk C

ke bentuk C lainnya. Namun demikian C yang termasuk dalam bagian Gas Rumah Kaca hanya CO₂ saja. Jumlah C yang terdapat dalam berbagai pool C di bumi disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah C yang terdapat pada berbagai pool C yang ada di bumi (10¹⁵ g = 1 billion tons = 1 Giga ton = 1 Pedagram = 10⁹ ton)

Lokasi/pool	Jumlah (Gt C)
Batuan induk	65,000,000
Lautan	39,000
Tanah	1,580
Atmosphere*	750
Vegetasi daratan	610
*) C di atmosphere sekitar 99.6% dari total C yang ada (jumlah C yang ada dalam CH ₄ sangat kecil)	

Guna memahami siklus C maka diperlukan ketrampilan dalam tiga hal, yaitu (a) “penghitungan” dari setiap pool dimana C disimpan atau ditimbun, (b) aliran C dan siklusnya untuk mengetahui seberapa banyak dan seberapa cepat C berubah dari satu pool ke pool yang lain, (c) berapa banyak C yang dapat menyelesaikan satu siklus.

Menurut Panel Antar Pemerintahan tentang Perubahan Iklim (IPCC, 2002) bahwa pada 50 tahun terakhir pemanasan global yang terjadi adalah akibat aktivitas manusia (antropogenik), yang berhubungan erat dengan peningkatan konsentrasi GRK. Aktivitas manusia telah meningkatkan konsentrasi CO₂ di atmosfer dari 285 ppmv pada jaman revolusi industri tahun 1850an, meningkat menjadi 336 ppmv di tahun 2000. Jadi dalam kurun waktu 150 tahun konsentrasi CO₂ di atmosfer telah meningkat sekitar 28 %. Informasi tentang sumber CO₂, lubang dan kenaikan CO₂ di atmosfer bumi disajikan dalam Tabel 3, dimana pada setiap tahun laju peningkatan konsentrasi CO₂ atmosfer bumi sangat cepat, bahkan pada dekade terakhir telah meningkat dua kali lipat dari dekade sebelumnya.

Tabel 3. Sumber, rosot dan peningkatan emisi CO₂ (Gt C th⁻¹) di atmosfer (IPCC, 1995) dan IPCC, 2001)

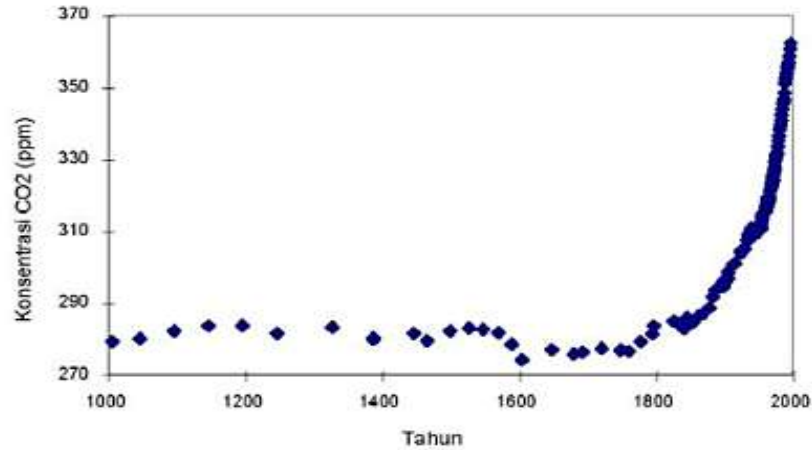
	1980-1989	1990-1999
1. Sumber		
• Pembakaran Bahan Bakar Fosil dan produksi semen	5.5 ± 0.3	6.3 ± 0.4
• Alih-guna lahan tropis	1.6 ± 1.0	1.7 ± 0.8
Emisi total	7.1 ± 1.1	8.0 ± 0.6
2. Lubuk		
• Atmosfer	3.2 ± 0.2	3.2 ± 0.1
• Lautan	2.0 ± 0.5	1.7 ± 0.5
• Pertumbuhan hutan sub tropis	0.5 ± 0.5	0.2 ± 0.2
Penyerapan total	5.7 ± 1.5	5.1 ± 0.7
Peningkatan CO₂	1.4 ± 1.5	2.9 ± 0.6

Keterangan: 1 Gt = 1 gigaton = 1 x 10⁹ ton. Satuan Internasional Ton = Mg= Mega gram

Untuk membuktikan bahwa karbon yang meningkat jumlahnya adalah antropogenik, para ilmuwan melakukan studi detail tentang inti karbon di laboratorium dan pengamatan di stasiun-stasiun dalam jangka waktu sangat panjang. Dari studi ini mereka menemukan bahwa:

- Karakteristik inti atom karbon yang berasal dari pembakaran BBF berbeda dengan inti karbon dari emisi alam. Karena fosil telah terpendam di lapisan dalam sejak puluhan juta tahun yang lalu maka sifat radioaktif inti karbon nya sudah hilang, sementara karbon alami yang berasal dari permukaan atau dekat permukaan bumi intinya memiliki porsi radioaktif yang cukup besar. Meningkatnya konsentrasi karbon radioaktif 'rendah' (dari BBF) telah menyebabkan "pengenceran" kadar radioaktif karbon atmosfer secara keseluruhan.
- Dari hasil rekaman yang terdapat pada lingkaran pohon (tree rings) ditunjukkan bahwa fraksi karbon -14 radioaktif (¹⁴C) makin mengecil dalam kurun waktu antara tahun 1850 hingga 1950.
- Ketiga, pengamatan jangka panjang di puncak Gunung Mauna Loa di Hawaii yang berada di tengah-tengah Samudera Pasifik dan di Kutub Selatan. Data konsentrasi CO₂ di atmosfer dan di dalam contoh es yang diambil dari dua tempat yang tidak mengalami gangguan berupa lonjakan, GRK antropogenik tersebut direkonstruksi dalam kurun waktu

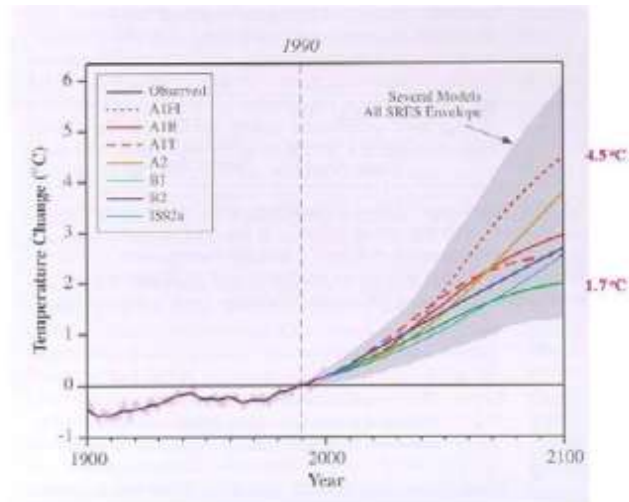
1850 hingga 2000 menunjukkan peningkatan konsentrasi CO₂ yang cukup berarti dari 290 hingga 360 ppm seperti terlihat dalam Gambar 4.



Gambar 4. Konsentrasi CO₂ di atmosfer yang direkonstruksi dari pengukuran langsung di atmosfer dan di dalam contoh es di kutub
(Sumber: IPCC, 2001)

Akibat pengaruh peningkatan CO₂ di atmosfer, maka selama kurun waktu 100 tahun, suhu bumi telah meningkat sebesar 0,5 °C (Gambar 5). Dengan pola konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi seperti sekarang, maka dalam kurun waktu 100 tahun mendatang konsentrasi CO₂ diduga akan meningkat dua kali lipat dibanding zaman industri, yaitu sekitar 580 ppm.

Dalam kondisi demikian prediksi jangka panjang berbagai GCM memperkirakan peningkatan suhu bumi antara 1,7 - 4,5 °C (Houghton, *et al* 2001). Menurut Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) peningkatan suhu global sebesar itu akan disertai oleh naiknya tinggi muka air laut antara 15 hingga 95 cm. Hal ini terjadi karena mengembangnya volume air dan mencairnya es di kedua kutub bumi. Tentu saja variasi perubahan akan terjadi dari satu wilayah ke wilayah lain. Lebih jauh dikemukakan bahwa peningkatan suhu tertinggi terjadi pada musim dingin di Benua Arktika. Peningkatan suhu pada malam hari akan lebih besar dibanding peningkatan suhu siang hari.

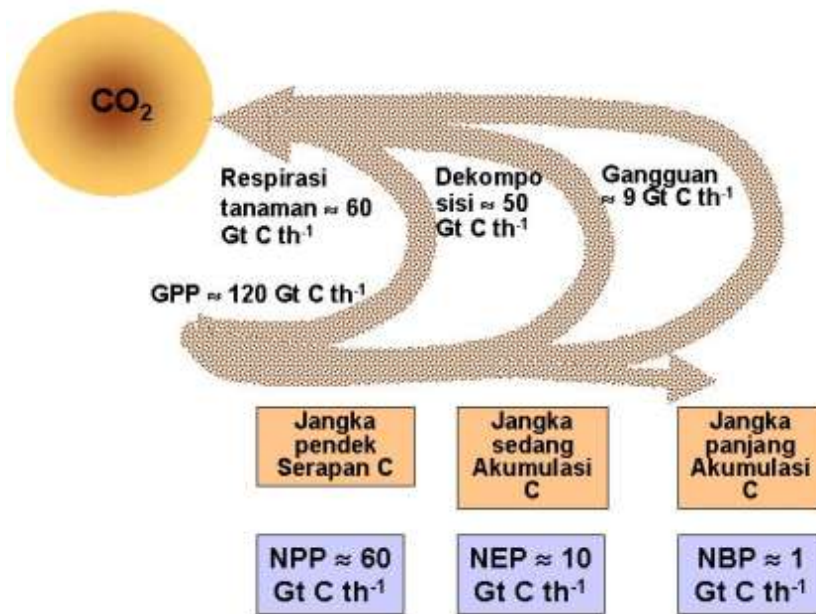


Gambar 5. Perubahan suhu udara 100 tahun yang lalu dan yang akan datang akibat peningkatan konsentrasi GRK yang diprediksi oleh berbagai model sirkulasi global (Sumber: IPCC, 2001)

Pemahaman tentang aliran C pada ekosistem global dan penyebab perubahan aliran C di alam penting untuk dikaji. Pada bagian ini, pembahasan akan lebih difokuskan pada aliran C khusus di ekosistem daratan saja. Pada ekosistem daratan ada 3 faktor yang mempengaruhi besarnya penyerapan karbon (C), yaitu:

- Vegetasi: komposisi jenis, struktur dan umur tanaman
- Kondisi tempat: variasi iklim, tanah, adanya gangguan alam (misalnya kebakaran hutan)
- Pengelolaan (misalnya alih-guna lahan hutan menjadi lahan pertanian) dan adanya respon ekosistem daratan terhadap peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer yang tadinya keberadaan CO₂ justru sebagai usaha “pemupukan”.

Ketiga faktor tersebut saling berinteraksi, sehingga hasil yang diperoleh akan ditentukan oleh kekuatan setiap faktor. Untuk memahami neraca C, perlu dipahami terlebih dahulu 4 macam C di daratan yaitu: GPP (*Gross Primary Productivity*), NPP (*Net Primary Productivity*), NEP (*Net Ecosystem Productivity*) dan NBP (*Net Biome Productivity*) (Gambar 6).



Gambar 6. Neraca karbon daratan berdasarkan estimasi pelepasan (emission) atau penyerapan (sequestration) C pada berbagai tingkat proses ekosistem (Sumber: IGBP *Carbon Working Group*, 2000)

Pada Gambar 6, dapat dilihat bahwa aliran C di daratan dikelompokkan menurut waktu terjadinya menjadi 3 yaitu:

1. Perubahan jangka pendek. Pada proses respirasi, tanaman (*autotrophic*) melepaskan CO₂ ke atmosfer, jumlah C dalam GPP berkurang dan ditimbun dalam tanaman (NPP), yang berarti dalam jangka pendek ada penyerapan C dari atmosfer.
2. Perubahan jangka menengah. Dekomposisi (respirasi *heterotrophic*) serasah dan bahan organik tanah (BOT) melepaskan CO₂ ke atmosfer, mengurangi NPP dan mengakumulasi C menjadi NEP yang merupakan serapan C jangka menengah.
3. Perubahan jangka panjang. Adanya gangguan ekosistem baik alami maupun ulah manusia (*anthropogenic*), misalnya panen melepaskan CO₂ ke atmosfer melalui dekomposisi bahan organik dan pembakaran, tetapi ada juga ada penyerapan C kedalam sistem walaupun jumlahnya kecil sekali.

Pengertian beberapa pool C di daratan adalah sebagai berikut:

Gross Primary Productivity, GPP (Produktivitas Primer Bruto):

GPP adalah jumlah C yang diserap oleh tanaman selama berlangsungnya fotosintesis. Oleh karena itu biasanya diukur pada semua bagian hijauan tanaman terutama daun, jumlahnya mencapai 120 Gt C th^{-1} .

Net Primary Productivity, NPP (Produktivitas Primer Bersih):

Adalah produksi bahan organik dari tanaman hidup pada ekosistem daratan. Separuh dari GPP global yang terakumulasi pada suatu sistem bentang alam, akan direspirasikan pada saat sistem tersebut “bernafas” dan menyerap oksigen. Oleh karena itu jumlah C yang disimpan dalam bahan organik bagian hidup tanaman (biomasa) adalah separuh dari jumlah C yang diserap dari udara. NPP global sekitar 60 Gt C th^{-1} .

Net Ecosystem Productivity, NEP (Produktivitas ekosistem netto):

Produksi bahan organik (karbon) netto dalam ekosistem. NEP merupakan selisih antara tingkat produksi karbon dari biomasa tanaman dengan karbon yang dilepaskan selama dekomposisi bahan organik dari bagian mati (nekromasa) tanaman (heterotrophic respiration). Respirasi heterotropik tersebut mencakup kehilangan karbon karena dikonsumsi dan melalui dekomposisi bahan organik oleh organisme tanah. Adanya dekomposisi bahan organik telah menurunkan NPP menjadi NEP hingga mencapai 10 Gt C th^{-1} . Jadi, NEP global sekitar 10 Gt C th^{-1} . NEP dapat diestimasi melalui dua jalan: (1) mengukur perubahan cadangan karbon dalam vegetasi dan tanah per tahun, (2) mengintegrasikan jumlah fluks CO_2 per jam atau setiap harinya ke ‘dalam’ dan ke ‘luar’ vegetasi (disebut sebagai Net ecosystem exchange, NEE) dan mengintegrasikannya dalam perhitungan per tahun. Integrasi NEP harus dinyatakan per dekade.

Net Biome Productivity, NBP (Produktivitas Biom Netto):

NBP adalah produksi neto bahan organik (karbon) per wilayah yang mencakup satu kisaran ekosistem (satu biome), termasuk juga di dalamnya adalah respirasi

heterotropik dan proses lainnya yang menyebabkan hilangnya karbon dari ekosistem (misalnya terangkut panen, serangan hama dan penyakit, penebangan dan kebakaran hutan, dsb). NBP ini lebih tepat untuk neraca C pada ukuran wilayah yang luas ($100-1000 \text{ km}^2$) dan pada waktu yang lama (beberapa tahun). Pengukuran NBP ini dilakukan untuk jangka waktu panjang karena frekuensi gangguan relatif jarang. Dulu, nilai NBP mendekati 0. Jumlah tersebut relatif kecil bila dibandingkan dengan jumlah aliran (fluks) karbon atmosfer dan biosfer. Besarnya global NBP tahun 1989-1998 sekitar $0.7 \pm 1.0 \text{ Gt C th}^{-1}$.

2.2. HUTAN SEBAGAI PENYIMPAN KARBON DARATAN

Hutan alami merupakan penyimpan karbon (C) tertinggi bila dibandingkan dengan sistem penggunaan lahan (SPL) pertanian, dikarenakan jenis keragaman pohonnya tinggi, dengan tumbuhan bawah dan seresah di permukaan tanah yang banyak. Dengan demikian jumlah C yang disimpan di hutan sangat bervariasi antar sistem penggunaan lahan, antar tempat dan antar pengelolaan lahan. Jumlah C yang tersimpan di daratan khususnya dalam vegetasi dan tanah sekitar 3.5 kali lebih besar dari jumlah C yang ada di atmosfer; dan pertukaran C di daratan dikontrol oleh proses fotosintesis dan respirasi (IPCC, 2000).

Pada skala global C tersimpan dalam tanah jauh lebih besar dari pada yang tersimpan di vegetasi. Tanah merupakan penyimpan C terbesar pada semua regional ekosistem (biome), sedang vegetasi penyimpan C terbesar adalah pada biome hutan. Pada hutan-hutan di daerah dingin, proporsi C tersimpan di tanah lebih besar dari pada di vegetasi, dan proporsinya jauh lebih besar dari pada di hutan tropis atau subtropis.

Fotosintesis dan respirasi tanaman merupakan fungsi dari berbagai variabel lingkungan dan tanaman, termasuk diantaranya adalah radiasi matahari, temperatur dan kelembaban udara dan tanah, ketersediaan air dan hara, luas daun, lapisan ozon di udara dan polutan lainnya. Dengan demikian perubahan iklim akan berpengaruh kepada tanaman melalui berbagai jalan.

Laju fotosintesis mungkin akan berkurang karena matahari tertutup awan tebal, tetapi ada kemungkinan juga akan meningkat karena konsentrasi CO₂ di udara meningkat.

Semua proses yang berhubungan dengan respirasi umumnya sensitif terhadap peningkatan suhu, terutama akar-akar halus dan organisme heterotropik dalam tanah. Meningkatnya temperatur tanah maka dalam waktu singkat akan diikuti oleh meningkatnya laju mineralisasi bahan organik tanah (BOT) dan pelepasan hara ke dalam tanah. Hal tersebut mendorong terjadinya kembali proses fotosintesis, meningkatnya luas permukaan daun, sehingga meningkatkan pertumbuhan tanaman. Namun untuk jangka panjang, respirasi tanah akan menyesuaikan dengan kenaikan suhu tanah, dan kembali menjadi normal. Pada daerah-daerah kering, adanya perubahan ketersediaan air tanah dan perubahan pola curah hujan akan sangat mempengaruhi keseimbangan antara perolehan dan kehilangan karbon (Hairiah, 2007).

2.3. UPAYA MITIGASI DAN ADAPTASI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM

Penyelesaian masalah atau solusi bagi dampak negatif perubahan iklim global tidaklah semudah membalikkan telapak tangan, namun bukan berarti tanpa solusi. Untuk mengurangi dampak perubahan iklim, upaya yang dapat dilakukan saat ini adalah meningkatkan penyerapan karbon (Sedjo and Salomon, 1988) dan/atau menurunkan emisi karbon (Lasco, 2004). Upaya ini dilakukan dalam dua skema yaitu (i) *mitigasi*, yakni implementasi kebijakan untuk mengurangi emisi GRK dan (ii) *adaptasi*, yakni inisiatif dan langkah-langkah untuk mengurangi vulnerabilitas alam dan manusia menghadapi pengaruh-pengaruh perubahan iklim aktual atau yang diharapkan. Berbagai tipe adaptasi, yakni *anticipatory* dan reaktif, privat dan publik, dan *autonomous* dan direncanakan. Contohnya, peningkatan/ perbaikan tanggul sungai dan pesisir pantai, substitusi terhadap suhu yang lebih, ketahanan tanaman terhadap sesuatu yang peka, dan lain-lain.

Penurunan emisi karbon dapat dilakukan dengan: (a) mempertahankan cadangan karbon yang telah ada dengan: mengelola hutan lindung, mengendalikan deforestasi, menerapkan praktek silvikultur yang baik, mencegah

degradasi lahan gambut dan memperbaiki pengelolaan cadangan bahan organik tanah, (b) meningkatkan cadangan karbon melalui penanaman tanaman berkayu dan (c) mengganti bahan bakar fosil dengan bahan bakar yang dapat diperbarui secara langsung maupun tidak langsung (angin, biomasa, aliran air), radiasi matahari, atau aktivitas panas bumi (Lasco *et al.*, 2004).

Sehubungan dengan upaya pengurangan karbon di atmosfer maka salah satu hal yang perlu dilakukan adalah penelitian. Suatu penelitian terkait dengan penerapan praktek silvikultur yang baik dan peningkatan cadangan karbon melalui penanaman tanaman berkayu adalah kajian untuk memperoleh model pendugaan biomassa pohon. Hasil kajian ini diharapkan dapat membantu pemerintah daerah dan masyarakat untuk bisa menghitung berapa besar karbon yang bisa dijual dan pendapatan yang bisa diperoleh dalam skema perdagangan karbon, apakah skema pasar bebas ataukah melalui REDD maupun CDM.

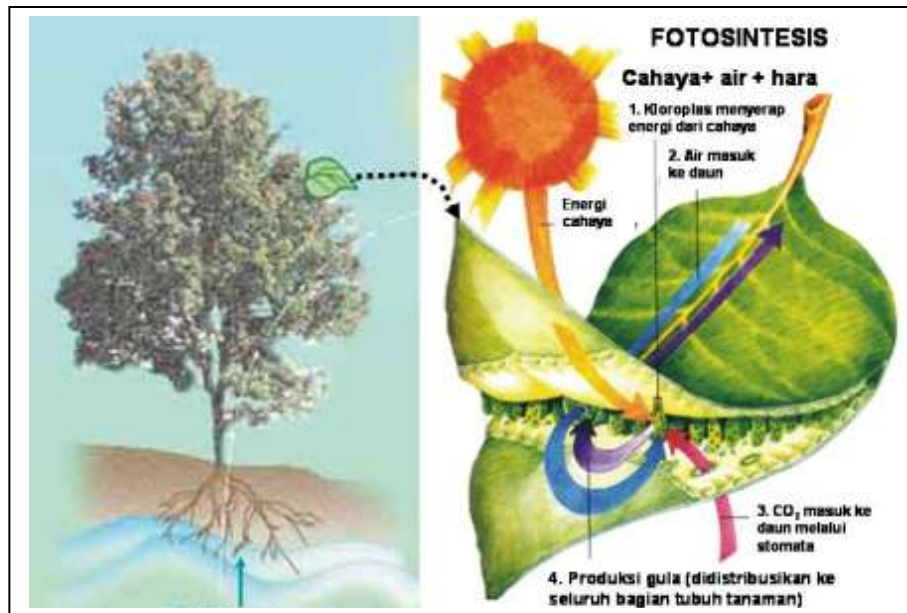
2.4. KAJIAN MODEL PENDUGAAN BIOMASSA POHON

Tumbuhan memerlukan sinar matahari, gas asam arang (CO_2) yang diserap dari udara serta air dan hara yang diserap dari dalam tanah untuk kelangsungan hidupnya. Melalui proses fotosintesis, CO_2 di udara diserap oleh tanaman dan diubah menjadi karbohidrat, kemudian disebarkan keseluruhan tubuh tanaman dan akhirnya ditimbun dalam tubuh tanaman seperti daun, batang, ranting, bunga dan buah (Gambar 7).

Proses penimbunan C dalam tubuh tanaman hidup dinamakan proses sekuestrasi (C- sequestration). Dengan demikian mengukur jumlah C yang disimpan dalam tubuh tanaman hidup (biomasa) pada suatu lahan dapat menggambarkan banyaknya CO_2 di atmosfer yang diserap oleh tanaman. Sedangkan pengukuran C yang masih tersimpan dalam bagian tumbuhan yang telah mati (nekromasa) secara tidak langsung menggambarkan CO_2 yang tidak dilepaskan ke udara lewat pembakaran.

Tanaman atau pohon berumur panjang yang tumbuh di hutan maupun di kebun campuran (agroforestri) merupakan tempat penimbunan atau penyimpanan C (rosot C = C sink) yang jauh lebih besar dari pada tanaman semusim. Oleh karena itu, hutan alami dengan keragaman jenis pepohonan berumur panjang dan seresah yang banyak merupakan gudang penyimpanan C tertinggi (baik di atas maupun di dalam tanah). Hutan juga melepaskan CO_2 ke

udara lewat respirasi dan dekomposisi (pelapukan) seresah, namun pelepasannya terjadi secara bertahap, tidak sebesar bila ada pembakaran yang melepaskan CO₂ sekaligus dalam jumlah yang besar. Bila hutan diubah fungsinya menjadi lahan-lahan pertanian atau perkebunan atau ladang penggembalaan maka penyimpanan C akan merosot jumlahnya



Gambar 7. Skematis pohon sebagai penyerap CO₂ melalui proses fotosintesis (<http://www.doga.metu.edu.tr/yeeproject/photosynthesis.jpg> dan <http://shs.starkville.k12.ms.us/~kb1/images/photosynthesis.gif>)

Berkenaan dengan upaya pengembangan lingkungan bersih, maka jumlah CO₂ di udara harus dikendalikan dengan jalan meningkatkan jumlah serapan CO₂ oleh tanaman sebanyak mungkin dan menekan pelepasan (emisi) CO₂ ke udara ke konsentrasi serendah mungkin. Jadi, mempertahankan keutuhan hutan alami, menanam pepohonan pada lahan-lahan pertanian dan melindungi lahan gambut sangat penting untuk mengurangi jumlah CO₂ yang berlebihan di udara.

Cadangan karbon pada suatu sistem penggunaan lahan dipengaruhi oleh jenis vegetasinya. Suatu sistem penggunaan lahan yang terdiri dari pohon dengan spesies yang mempunyai nilai kerapatan kayu tinggi, biomasanya akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan lahan yang mempunyai spesies dengan nilai kerapatan kayu rendah.

Biomasa pohon (dalam berat kering) dihitung menggunakan "*allometric equation*" berdasarkan pada diameter batang setinggi 1,3 m di atas permukaan tanah³ (dalam cm) (Hairiah dan Rahayu, 2007).

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam dalam perhitungan serapan CO₂ di atmosfer oleh tanaman pengukuran Potensi ekosistem daratan dalam mengurangi konsentrasi CO₂ atmosfer tergantung dari beberapa faktor antara lain (a) iklim, (b) Tanah, (c) Adanya gangguan alam, (d) vegetasi: komposisi jenis tanaman yang ada, struktur dan distribusi umur tanaman (terutama untuk hutan), (e) macam pengelolaan lahan. Penyerapan CO₂ dari atmosfer setiap tahun terjadi di dalam ekosistem tanaman yang sedang tumbuh. Pada hutan tua di daerah tropika basah, akumulasi C dalam biomasa terus berlangsung sehingga diperoleh akumulasi C yang sangat tinggi. Namun hal tersebut hanya terjadi pada tingkat pohon, tetapi tidak terjadi pada tingkat ekosistem hutan, karena tingginya tingkat dekomposisi bahan organik di hutan (kurang lebih sama dengan tingkat penyerapan CO₂), seperti yang telah diuraikan pada Gambar 7 di atas. Perkecualian terjadi pada hutan gambut, dimana akumulasi CO₂ justru terjadi pada permukaan tanah (lapisan organik). Jadi, mengendalikan proses dekomposisi bahan organik secara bertahap merupakan kunci utama mengendalikan emisi CO₂ dalam jumlah besar (Hairiah, 2007).

Indonesia ialah satu dari beberapa negara yang termasuk emitor CO₂ terbesar di dunia. Indonesia berada dalam urutan ketiga setelah Amerika Serikat dan China, dengan jumlah emisi 2 Mt CO₂/tahun atau 10 % dari emisi CO₂ di dunia (Wetlands, 2006). Publikasi ini sangat tidak menguntungkan Indonesia karena hilangnya peluang memperoleh dana adaptasi. Indonesia bisa tergolong negara-negara yang termasuk dalam *Annex 1* yang bertanggungjawab terhadap emisi karbon dunia.

Hal tersebut telah dibantah oleh pakar-pakar lingkungan dari Indonesia. Dr. Edvin Aldrian dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) menyatakan bahwa angka yang dikeluarkan Wetlands International berasal dari estimasi Page dan rekan 2002 yang memiliki tingkat ketidakpercayaan tinggi, rentang nilainya lebar. Hasil kajian LSM asing meragukan karena tidak didukung bukti komprehensif. Dia merujuk variasi titik api bulanan amat dipengaruhi iklim. Hasil korelasi jumlah titik api paruh kedua tahunan antara Juli hingga Desember di Pulau Sumatra dan Pulau Kalimantan dengan indeks iklim di Samudra Pasifik

(indeks fenomena El Nino), menunjukkan tingkat korelasi sangat tinggi, yakni di atas 90 persen. Dapat dipastikan Indonesia sebagai korban variasi tahunan iklim regional. Dikatakan pula bahwa bila dibanding dengan fluktuasi nilai emisi tahunan dari seluruh lahan terbakar, menunjukkan angka yang terlalu tinggi terutama pada tahun-tahun non-El Nino, yaitu 1998, 1999, 2000, 2001, 2003, 2005, dan 2007 (proyeksi) dan estimasi ini tanpa memasukkan nilai daya serap hutan Indonesia terhadap CO₂ di saat tidak terjadi kebakaran. Belum lagi daya serap dari lautan Indonesia yang sangat luas. Padahal AS dan Cina sudah menghitung soal daya serap tersebut. Selain itu, asumsi LSM itu merupakan seluruh hasil pembakaran berbentuk CO₂ bukan senyawa karbon lainnya (Hairiah, 2007).

Pakar lingkungan dari BMG Prof Dr Mezak A Ratag menambahkan, dari *global fire* data keluaran ATSR hotspot dan ilustrasi hasil penelitian Duncan (2003), menunjukkan peta penyebaran asap akibat kebakaran hutan Indonesia yang tidak lebih buruk dibandingkan Brasil dan Afrika pada aerosol indeks (AI), nilai konsentrasi emisi CO₂, dan jumlah titik api dari ATSR. Data dari observasi konsentrasi CO₂ di stasiun *Global Atmospheric Watch* (GAW) Kota Tabang, Bukit Tinggi, yang merupakan stasiun standar resmi World Meteorological Organization, kata Mezak, juga selalu menunjukkan kadar konsentrasi CO₂ lebih rendah dari stasiun referensi dunia di Mauna Lao Hawaii. Bila taksiran emisi itu benar, konsentrasi CO₂ yang teramati di atas Indonesia seharusnya lebih tinggi daripada rata-rata global, karena CO₂ yang diemisikan tak secara langsung terdispersi secara global, tapi nyatanya tidak (Hairiah, 2007).

Mengacu pada perdebatan tersebut di atas maka, kita pun harus membuktikan melalui penelitian yang lebih mendetail terkait dengan penyerapan CO₂ oleh hutan, terumbu karang dll yang ada di Indonesia. Kajian dengan obyek pohon-pohon hutan di Indonesia ialah satu dari sekian banyak langkah yang harus dilakukan untuk mengurangi emisi CO₂ dan menunjukkan bahwa Indonesia bukanlah emitor terbesar tapi penyerap karbon di atmosfer.

Salah satu hal yang perlu dibuktikan adalah berapa sebenarnya kapasitas vegetasi yang ada di Indonesia untuk menyerap dan menyimpan CO₂. Hal ini perlu didukung dengan data, misalnya melalui kajian biomassa untuk menduga jumlah karbon yang tersimpan pada setiap tipe penggunaan lahan atau kawasan.

Hasil tersebut akan lebih akurat apabila didukung oleh data tentang kapasitas menyerap dan menyimpan CO₂ setiap jenis tanaman.

Australian Greenhouse Office (2002) merekomendasikan tiga metode untuk model biomasa yaitu: (i) *allometric equations* antara diameter dan/atau tinggi untuk biomasa di atas permukaan tanah, (ii) model volume batang dan konversi ke biomasa di atas permukaan tanah menggunakan suatu faktor (iii) hubungan basal area dengan biomasa.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memperoleh model pendugaan biomassa, baik pada level kawasan maupun level jenis. Diantaranya adalah persamaan allometrik pohon-pohon bercabang (Ketterings *et al*, 2001), pohon-pohon tidak bercabang dan nekromas (Hairiah, 2002), Kopi dan pisang (Arifin, 2001), dan sengon (Sugiarto, 2002). Selain itu, sebelumnya Brown, *et al* (1989) telah meneliti metode-metode pendugaan biomassa di hutan tropis.

Kajian untuk memperoleh model pendugaan biomassa pohon, hasilnya tentu akan menambah khasanah ilmu pengetahuan. Secara spesifik, dampak positif upaya pengkajian model pendugaan biomassa, secara hipotetis diuraikan berikut ini:

1. Ada model penduga biomassa pohon.
2. Model dapat digunakan oleh: pemerintah, akademisi, swasta, LSM, dan masyarakat desa.
3. Adanya model penduga dapat mengupayakan dana mitigasi perubahan iklim untuk PAD maupun peningkatan pendapatan masyarakat melalui sektor kehutanan.
4. Model penduga dapat digunakan untuk mengetahui beberapa hal, diantaranya adalah:
 - Laju pertumbuhan jenis pada fase awal, fase linier, dan fase penuaan (*maturity phase*)
 - Perbedaan pertumbuhan pada berbagai lokasi menurut: jenis tanah, ketinggian tempat d.p.l., tipe iklim, suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, kesuburan tanah, dll.
 - Perbedaan pertumbuhan pada berbagai perlakuan, antara lain: pemupukan-tanpa pemupukan, kadar air, tanah, monokultur-agroforestry, jarak tanam, penjarangan, pemangkasan, dll

- Perbedaan penyerapan karbon pada berbagai umur, berbagai kondisi tempat tumbuh, berbagai perlakuan silvikultur seperti penjarangan, pemangkasan cabang dan daun, dll
 - Pendugaan batas antara fase awal dan fase linier, batas antara fase linier dan fase penuaan pada berbagai kondisi tempat tumbuh.
5. Penentuan wilayah-wilayah yang paling baik untuk ditanami jenis tersebut. Hal ini dimaksudkan penggunaan jenis pohon tertentu di satu lokasi dapat memberikan hasil yang lebih maksimal daripada jenis lain yang tidak cocok dengan lokasi tersebut. Dengan demikian maka jumlah karbon yang diserap bisa lebih banyak dan lebih cepat.
 6. Keinginan untuk menanam pohon akan meningkat karena didorong oleh adanya dana kompensasi dari skema-skema perdagangan karbon.
 7. Hutan-hutan akan dipertahankan, juga karena alasan dana kompensasi terkait perubahan iklim.

3

PENUTUP

Alam yang merupakan lingkungan hidup kita dan akal budi dan kebijaksanaan yang dimiliki merupakan rahmat dan anugerah Allah. Masalah lingkungan yang timbul akibat kelalaian, kekeliruan, maupun ketidaktahuan manusia, secara optimis masih dapat dicarikan solusinya untuk diperbaiki tergantung pada kesadaran dan kehendak yang kuat untuk itu.

Dampak negatif perubahan iklim telah menjadi isu yang mengkhawatirkan dan menakutkan bagi para ahli, LSM pemerhati lingkungan, dan pemerintah di seluruh dunia. Diantaranya ada yang serius untuk berupaya mengatasinya tapi mungkin ada sebagian orang yang memandang ini sebagai peluang memperoleh keuntungan. Ada pula yang mungkin sedang membelokkan isu ini dalam ranah politik untuk kepentingan tertentu dari suatu kelompok, daerah, maupun negara.

Jika isu ini menjadi sesuatu yang mengkhawatirkan, apakah orang-orang miskin juga mengetahuinya sehingga mereka pun bisa peduli dan merasa ikut bertanggungjawab? Dalam hal ini, menjadi tanggungjawab kita bersama, baik miskin maupun kaya, baik secara individu hingga level negara, untuk mengsosialisasikan dampak perubahan iklim dunia kepada semua orang dan berupaya mengatasinya. Kita harus ikut bertanggungjawab dan ini tergantung pada kapasitas dan peran masing-masing dalam kehidupan ini agar dapat menuntut hak kita untuk hidup dalam lingkungan hidup yang baik termasuk bagi anak cucu kita.

Adanya isu perubahan iklim global, bagi sektor kehutanan di daerah menjadi peluang meningkatkan PAD sekaligus tantangan untuk meningkatkan kinerja yang lebih baik mengantisipasi perubahan iklim dengan mengupayakan kontribusinya terhadap usaha meningkatkan sequestrasi karbon melalui penanaman pohon di kawasan hutan di provinsi/kabupaten/kota masing-masing.

Daftar Pustaka

- Arifin J 2001. Estimasi cadangan karbon pada berbagai sistem penggunaan lahan di Kecamatan Ngantang, Malang, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, 61pp.
- Australian Greenhouse Office. 2002. Field Measurement Procedures for Carbon Accountin. Bush for Greenhouse Report No.2 Version 1. http://www.greenhouse.gov.au/land/bush_workbook_a3/index.html
- Brown, S., A.J. R. Gillespie and A.E. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for tropical forestwith application to forest inventory data. *Forest Science* 35(4) : 881-902
- EPA. 2008. Carbon Sequestration in Agriculture and Forestry. www.epa.gov/sequestration/index.html
- Hairiah K, Sitompul SM, van Noordwijk M and Palm C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. ASB Lecture Note 4B. ICRAF, Bogor, 23pp.
- Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Nouger M, et al. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press. 83 pp. <http://www.ipcc.ch/>
- Jana, B.P., S. Biswas, M. Majumder, P. K. Roy and A. Mazumdar, 2009. Carbon sequestration rate and aboveground biomass carbon potential of four young species. *Journal of Ecology and Natural Environment* Vol. 1(2), pp. 015-024.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning (eds)]. <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>.
- Ketterings QM, Coe R, van Noordwijk M, Ambagau Y and Palm C. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting aboveground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146:199-209.
- Krebs, C.J. 1994. Ecology: The Experimental Analysis and Distribution and Abundance. Harper Collins College Publ. New York.
- Sugiarto C. 2002. Kajian Aluminium sebagai Faktor Pembatas Pertumbuhan Akar Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen), Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, 64pp.

van Noordwijk M. 2002. Scaling trade-offs between crop productivity, carbon stocks and biodiversity in shifting cultivation landscape mosaics: the FALLOW model. *Ecological Modelling* 149: 113-126.

http://wells_sequestration-EPA2008.html

http://id.wikipedia.org/wiki/Pemanasan_global

http://id.wikipedia.org/wiki/Siklus_karbon

http://ec.europa.eu/enterprise/forest_based/312_en.html

<http://www.doga.metu.edu.tr/yeeproject/photosynthesis.jpg>

<http://shs.starkville.k12.ms.us/~kb1/images/photosynthesis.gif>