

KARAKTERISASI CO₂ PADA DAERAH DOMINAN ROSOTAN DENGAN RUANG TERBUKA

Chunaeni Latief, Ari Ginaldi Nugraha, Asif Awaludin
Bidang Jizon Polud PUSFATSATKLIM LAPAN

Jl. Dr. Djundjuran 133, Bandung 40173, telp 022-6037445, fax: 022-6037443
e-mail: chunaeni@yahoo.com

Abstract

Forest and trees include green open space are one of CO₂ sink respectively, which more influent for photosynthesis process to obtain CO₂ and releases O₂. Opposite with the respiration process at night, catches O₂ and releases CO₂. Research methodology used calculated green open space facility in LAPAN Bandung to reach CO₂ released by LAPAN Bandung office daily activity, with presume constant activities every year. Further, evaluated daily average and differentiation between day and night CO₂ concentration data on sink area and free sink area. Beside that, calculated green open space function to eliminate CO₂ can be determine by using Bernatzky, Houghton and Hacker methods. Based on that calculation, the green open space in LAPAN Bandung totaly needed 1.12 ha. While, differentiation between CO₂ sink area (no wind) and free area CO₂ was 4,46 – 9,90 ppm. In the sink area, CO₂ and O₂ concentration differences between night and daylight periode was 8,16 - 11,78 ppm for CO₂, and oxygen was 16 ppm – 882 ppm. Eliminated carbon duration which released CO₂ in LAPAN Bandung office (constant conditions) need 14,76 x 10⁶ years or converted by using green open space area respectively. To chose fixed CO₂ sensor as ambient CO₂ monitoring should be placed on free space from CO₂ source and sink or in steady state area condition.

Keywords: photosynthesis, respiration, sink area.

Abstrak

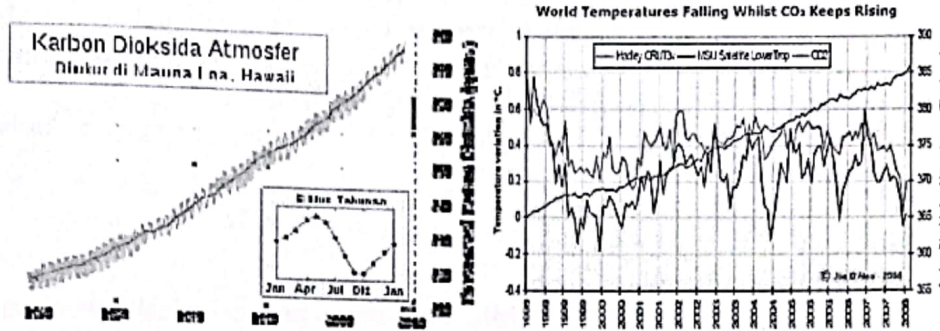
Hutan dan tumbuh-tumbuhan termasuk RTH berfungsi sebagai salah satu perosot CO₂, lebih dominan dipengaruhi oleh proses fotosintesis yang membutuhkan CO₂ dan melepas O₂. Berlawanan dengan peristiwa respirasi pada malam hari yang menarik O₂ dan melepas CO₂. Metode penelitian yang digunakan adalah menghitung RTH di LAPAN untuk menggapai CO₂ yang dilepas selama kantor beraktifitas setiap harinya dengan anggapan tetap selama satu tahun. Mencari rata-rata pengukuran tiap hari dan antara malam dengan siang pada lokasi rosotan dan non rosotan dengan mencari perbedaan konsentrasi CO₂. Di sisi lain, dengan pendekatan Bernatzky, Houghton dan Hacker dapat ditentukan kebutuhan RTH LAPAN Bandung total untuk mengeleminir CO₂ yang dilempar dari kantor. Dari hasil perhitungan diperlukan RTH luas 1,12 ha, perbedaan konsentrasi CO₂ daerah rosotan (terlindung angin) dengan bukan rosotan 4,46 – 9,90 ppm. Konsentrasi CO₂ untuk daerah rosotan antara malam dan siang hari berbeda sebesar 8,16 - 11,78 ppm, O₂ antara 16 ppm – 882 ppm. Lamanya eliminasi karbon yang ditimbulkan dari daerah LAPAN (kondisi kerja tetap), diperlukan waktu 14,76 x 10⁶ tahun atau lahan yang mewakili luasan tersebut di atas. Peletakan sensor untuk mengukur perubahan CO₂ ditaruh jauh dari sumber karbon dioksida dan tidak dipengaruhi pelepasan CO₂ atau diletakkan di daerah yang mudah mengalami masa tunak.

Kata kunci: fotosintesa, respirasi, daerah rosotan.

1. PENDAHULUAN

Cikal bakal kehancuran lingkungan mulai dituai sejak revolusi industri tahun 1750 yang sampai kini belum dapat diperlambat. Kerusakan alam bertahap yang beragam, cukup memprihatinkan kita, bukan hanya akibat illegal logging dan alih fungsi lahan saja, melainkan akibat polusi udara, serta kegiatan alam lainnya. Berkembangnya industri baru,

pembangkit listrik, melambungnya penggunaan kendaraan bermotor, laju penduduk yang tinggi, menyumbangkan pelepasan karbon dioksida (CO_2). Gas CO_2 sebagai salah satu gas rumah kaca (GRK) yang disudutkan sebagai salah satu faktor penyebab terjadinya pemanasan global (walaupun masih dalam perdebatan panjang), dipercayai berdampak pada perubahan iklim (lihat Gambar 1.1 yang menunjukkan CO_2 naik temperatur dunia turun).



Gambar 1.1. Peningkatan gas rumah kaca (GRK) yang sangat fantastis dekade terakhir (sumber: wikipedia.org/wiki/karbon_dioksida), temperatur pun mengalami penurunan penelitian MSU 2008.

Bagaimanapun, terlepas dari perdebatan pro dan kontra, emisi CO_2 semakin meningkat yang dicirikan dengan peningkatan konsentrasi CO_2 saat ini sudah diatas 380 ppm. Perlu diantisipasi dengan meningkatkan rosotan (*sink*) yang kenyataannya sampai saat ini terutama hutan di Indonesia telah banyak berkurang dengan cepat. CO_2 rosotan adalah penangkapan karbon dioksida bebas di atmosfer secara alamiah maupun tiruan karena berisi kompond kimia atau dinamika hidup sesuatu dalam periode tidak tertentu (Wikipedia, modifikasi Mei 2010).

Rosotan atau sink ini dapat dilakukan oleh ruang angkasa, laut, batu-batuan, padang pasir, hutan/tumbuhan, mineral geologi dsb. Salah satu yang ingin diketengahkan adalah rosotan pada tumbuh-tumbuhan (hutan/ruang terbuka hijau).

Rosotan karbon dioksida (CO_2) terutama dari tetumbuhan perkotaan semakin hari semakin sedikit, dikarenakan berkurangnya lahan terbuka hijau yang berubah jadi kegiatan infrastruktur dan kegiatan lain. Hutan Indonesia yang semakin cepat berkurang sampai 3,8 juta ha/tahun (M.S. Ka'ban, 2008) dibarengi dengan pemusnahan pepohonan (alih fungsi lahan, kebakaran dsb). Pohon yang musnah tersebut tentunya dapat mengakibatkan pemanasan global, yang melaju sulit terkendali. Sedang dampak buruk dari pemanasan global itu akhirnya dapat mendorong timbulnya banyak bencana alam seperti banjir yang melanda berbagai pelosok daerah, kenaikan permukaan air laut yang dapat menenggelamkan pulau-pulau kecil, kekeringan berkepanjangan yang bisa mengakibatkan kebakaran hutan dll. Dampak yang lebih buruk lagi, warga miskin yang menjadi korban bencana tersebut dapat bertambah semakin miskin (UNDP Indonesia, 2007).

1.1. Tujuan

Dugaan rosotan CO_2 selama ini melalui tumbuh-tumbuhan dan lahan terbuka dapat dibandingkan, sehingga dapat menentukan peletakan sensor CO_2 yang tepat. Disisi lain digunakan untuk menganalisis seberapa besar karbon yang dapat ditarik (*sink*) dari tumbuh-tumbuhan. Sasarannya pada studi selanjutnya, dapat diperkirakan penyimpanan karbon pada tumbuh-tumbuhan sehingga kebutuhan rosotan di Indonesia (studi kasus di

LAPAN Bandung, ruang terbuka hijau-RTH) untuk eliminasi pelepasan CO₂ dapat dihitung.

1.2. Metodologi

Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran konsentrasi CO₂ dan oksigen di pepohonan dan diluar pepohonan pada hari dan jam yang sama, selanjutnya dilakukan koreksi dan perhitungan emisi pada pendekatan koefisien emisi yang ada. Dilakukan juga perekaman temperatur dan energi sinar mata hari. Berdasarkan reaksi fotosintesis siang hari dan respirasi malam hari, diduga konsentrasi CO₂ akan menunjukkan perbedaan jauh antara malam hari dan siang hari, sehingga peletakan sensor CO₂, perlu dipertimbangkan hal yang demikian.

Menghitung kecukupan RTH di LAPAN Bandung, lemparan karbon dan netralisasinya serta lamanya.

2. LANDASAN TEORI

Karbon dioksida tidak ada habis-habisnya dibahas sebagai salah satu sumber yang diduga menyumbang pemanasan global walaupun kecil pada sebaaian pendapat.

2.1. Pelepasan dan Perosotan Karbon (Karbon Dioksida)

Karbon sebagai pembentuk CO₂ di atmosfer dapat meningkat dari berbagai sumber diantaranya:

1. Pernafasan (respirasi) oleh tumbuhan, binatang dan manusia, jasad renik (reaksi eksotermik) termasuk penguraian glukosa (molekul organik lain) menjadi karbon dioksida dan air.
2. Pembusukan tumbuhan dan binatang yang mati, dengan bantuan jamur dan bakteri mengurai senyawa karbon dan mengubah karbon menjadi karbon dioksida dengan aerob (oksigen), atau menjadi metana jika anaerob (tidak tersedia oksigen).
3. Pembakaran material organik (kayu, daun dsb) yang mengoksidasi karbon yang terkandung menjadi karbon dioksida.
4. Pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak dan gas alam) melepaskan karbon yang tersimpan selama kurn waktu yang sangat lama di dalam geosfer yang digunakan untuk transportasi, industri, pembangkit listrik dsb.
5. Industri kimia, seperti industri semen, diantaranya komponen kapur atau gamping atau kalsium oksida. Dihasilkan dari pemanasan batu kapur atau batu gamping yang melemparkan karbon dioksida cukup banyak.
6. Permukaan laut dengan air menjadi lebih hangat, sehingga karbon dioksida mudah larut, selanjutnya dilepas kembali ke atmosfer.
7. Erupsi vulkanik atau letusan gunung berapi, melepaskan gas-gas diantaranya karbon dioksida, uap air dan belerang. Karbon dioksida yang dilepas ke atmosfer setara atau hampir sama dengan jumlah karbon dioksida yang dirosotkan dari atmosfer akibat pelapukan silikat.

Sebaliknya peningkatan karbon dioksida di atmosfer tersebut di atas, harus diseimbangkan melalui rosotan atau menarik dari atmosfer agar kondisi bumi ini tetap seimbang. Dalam dekade akhir akhir ini, rosotan karbon dioksida/karbon menjadi sangat penting, karena tetap saja laju emisi CO₂ belum bisa terbendung, yang berdampak terhadap perubahan iklim. Karbon dioksida dirosotkan dari atmosfer ke ruang angkasa, tumbuh-tumbuhan, laut, batu-batuan, padang pasir, hutan, mineral, mineral geologi, dsb, dengan berbagai cara diantaranya (Houghton, 2005, Wikipedia, 2008):

LAPAN Bandung, ruang terbuka hijau-RTH) untuk eliminasi pelepasan CO₂ dapat dihitung.

1.2. Metodologi

Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran konsentrasi CO₂ dan oksigen di pepohonan dan diluar pepohonan pada hari dan jam yang sama, selanjutnya dilakukan koreksi dan perhitungan emisi pada pendekatan koefisien emisi yang ada. Dilakukan juga perekaman temperatur dan energi sinar matahari. Berdasarkan reaksi fotosintesis siang hari dan respirasi malam hari, diduga konsentrasi CO₂ akan menunjukkan perbedaan jauh antara malam hari dan siang hari, sehingga peletakan sensor CO₂, perlu dipertimbangkan hal yang demikian.

Menghitung kecukupan RTH di LAPAN Bandung, lemparan karbon dan netralisasinya serta lamanya.

2. LANDASAN TEORI

Karbon dioksida tidak ada habis-habisnya dibahas sebagai salah satu sumber yang diduga menyumbang pemanasan global walaupun kecil pada sebagaian pendapat.

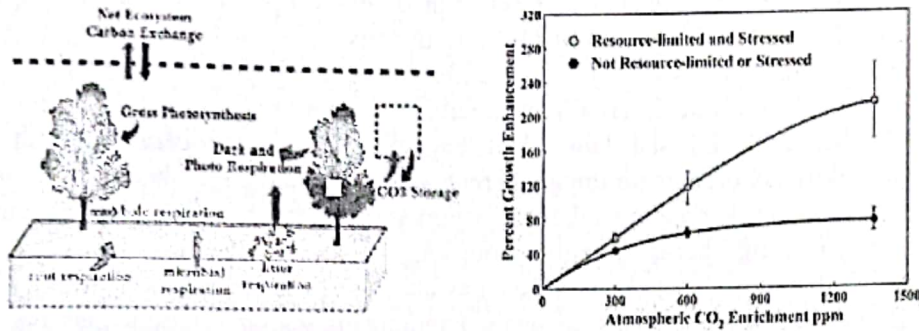
2.1. Pelepasan dan Perosotan Karbon (Karbon Dioksida)

Karbon sebagai pembentuk CO₂ di atmosfer dapat meningkat dari berbagai sumber diantaranya:

1. Pernafasan (respirasi) oleh tumbuhan, binatang dan manusia, jasad renik (reaksi eksotermik) termasuk penguraian glukosa (molekul organik lain) menjadi karbon dioksida dan air.
2. Pembusukan tumbuhan dan binatang yang mati, dengan bantuan jamur dan bakteri mengurai senyawa karbon dan mengubah karbon menjadi karbon dioksida dengan aerob (oksigen), atau menjadi metana jika anaerob (tidak tersedia oksigen).
3. Pembakaran material organik (kayu, daun dsb) yang mengoksidasi karbon yang terkandung menjadi karbon dioksida.
4. Pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak dan gas alam) melepaskan karbon yang tersimpan selama kurn waktu yang sangat lama di dalam geosfer yang digunakan untuk transportasi, industri, pembangkit listrik dsb.
5. Industri kimia, seperti industri semen, diantaranya komponen kapur atau gamping atau kalsium oksida. Dihasilkan dari pemanasan batu kapur atau batu gamping yang melemparkan karbon dioksida cukup banyak.
6. Permukaan laut dengan air menjadi lebih hangat, sehingga karbon dioksida mudah larut, selanjutnya dilepas kembali ke atmosfer.
7. Erupsi vulkanik atau letusan gunung berapi, melepaskan gas-gas diantaranya karbon dioksida, uap air dan belerang. Karbon dioksida yang dilepas ke atmosfer setara atau hampir sama dengan jumlah karbon dioksida yang dirosotkan dari atmosfer akibat pelapukan silikat.

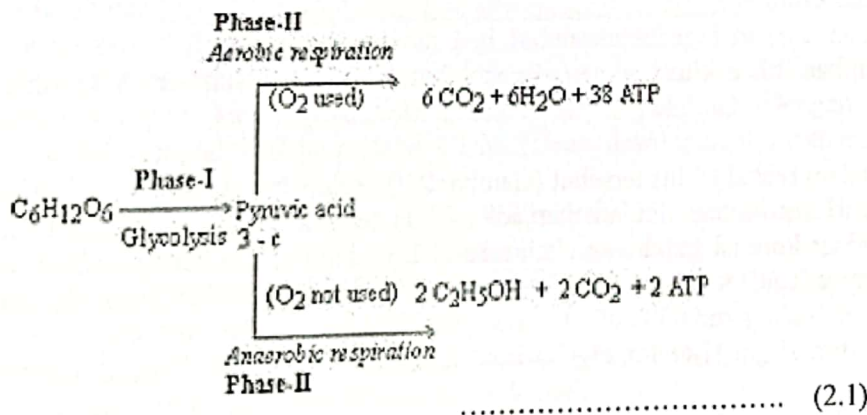
Sebaliknya peningkatan karbon dioksida di atmosfer tersebut di atas, harus diseimbangkan melalui rosotan atau menarik dari atmosfer agar kondisi bumi ini tetap seimbang. Dalam dekade akhir akhir ini, rosotan karbon dioksida/karbon menjadi sangat penting, karena tetap saja laju emisi CO₂ belum bisa terbendung, yang berdampak terhadap perubahan iklim. Karbon dioksida dirosotkan dari atmosfer ke ruang angkasa, tumbuh-tumbuhan, laut, batu-batuan, padang pasir, hutan, mineral, mineral geologi, dsb, dengan berbagai cara diantaranya (Houghton, 2005, Wikipedia, 2008):

- a. Tumbuhan menikmati fotosintesa untuk mengubah karbon dioksida menjadi karbohidrat, dan melepaskan oksigen ke atmosfer. Proses ini akan lebih banyak menyerap atau merosotkan karbon khususnya hutan dengan tumbuhan yang baru dan sedang tumbuh pesat (lihat gambar 2.1).



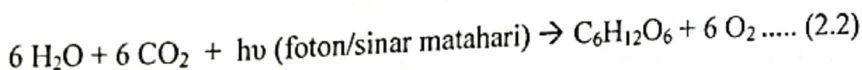
Gambar 2.1. Terjadinya proses respirasi dan fotosintesa dengan persamaan (2.1) dan (2.2), (a) fotosintesis dan respirasi, (b) kecepatan tumbuhan antara pengkayaan CO₂ (sumber: Ekosystem Carbon Balance gambar, diakses Google, Maret 2010)

Pada Gambar 2.1.(b) memperlihatkan bahwa pengkayaan CO₂ di sekitar tumbuh-tumbuhan akan menyebabkan pertumbuhan tetumbuhan akan semakin baik, walaupun suatu saat mengalami kejenuhan, sesuai dengan kebutuhan untuk respirasi. Persamaan respirasi adalah:



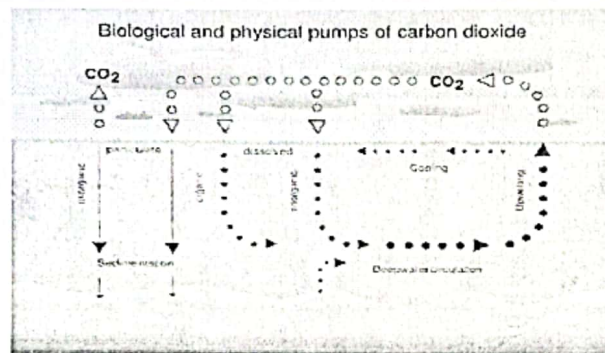
Reaksi melalui Fase I- Fase II (aerobic respiration) adalah respirasi yang menggunakan oksigen yang menghasilkan 6 molekul CO₂ dan 6 molekul H₂O dengan 38 ATP (*adenosin triphosphate*, *nukleotida* yang berisi sejumlah besar kimia energi). Sedangkan melalui Fase I- Fase II (anaerobic respiration) yang tidak membutuhkan oksigen menghasilkan 2 molekul C₂H₅OH dan 2 molekul CO₂ dan 2 ATP.

Pada reaksi fotosintesis (pers 2.2)



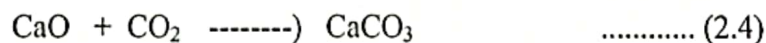
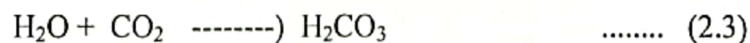
Jika dilihat persamaan respirasi (2.1) yang aerobik dan (2.2), membutuhkan 6 O₂ dan melepas 6 CO₂ sebaliknya pada fotosintesis butuh 6 CO₂ dan melepas 6 O₂ sehingga terjadi keseimbangan pada siang dan malam hari, namun perbedaannya pada respirasi terjadi energi untuk pertumbuhan, sehingga jumlah sesaat akan bertambah dalam produksi berikutnya.

- b. Sirkulasi laut. Permukaan laut semakin dingin (ke arah kutub) maka CO₂ akan mudah larut. Kandungan CO₂ ini terhanyutkan oleh sirkulasi termohalain (*thermohaline circulation*) yang membawa massa air permukaan yang lebih berat ke laut dalam atau interior laut karena pompa solubilitas (*solubility pump*, lihat Gambar 2.2). Di sisi lain laut bagian atas (*upper ocean*), daerah dengan produktivitas organisme tinggi (karena sinar matahari), membentuk jaringan yang mengandung karbon membentuk cangkang karbonat dan bagian-bagian tubuh lainnya yang keras seperti moluska, karang, ikan-ikan. Proses ini akan menimbulkan aliran karbon ke bawah yang disebut pompa biologi karbon (*biological carbon pump*, dengan kandungan sekitar 36.000 gigaton karbon, Gambar 2.2. (Wikipedia, 2008) .



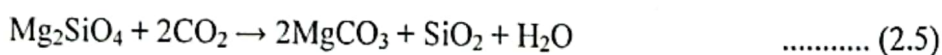
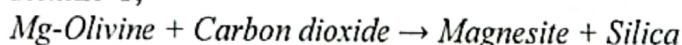
Gambar 2.2. Siklus karbon (termasuk rosotan) di laut (Sumber: Wikipedia, Google gambar, diakses 3 Mei 2010).

Dalam reaksi siklus tersebut (Gambar 2.2) , selain berada di permukaan laut, masuk ke dasar laut tersimpan menjadi karbon organik, sebaliknya hasil reaksi H₂CO₃ dalam kondisi gabungan akan terurai lagi dan bereaksi dengan CaO membentuk kapur (CaCO₃) oleh karang-karang laut dan binatang moluska laut, dengan reaksi;



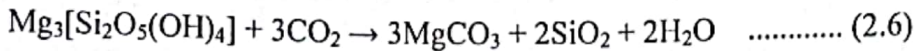
- c. Rosotan CO₂ pada padang pasir dan batu mineral, maupun mineral geologi. Pelapukan batuan silikat, dengan membentuk ion bikarbonat terbawa ke laut, selanjutnya digunakan untuk membuat karbonat laut dengan reaksi balik (*reverse reaction*). Ditariknya CO₂ yang cukup banyak juga adalah dari siklus mineral, yang bersifat mengikat CO₂ seperti:

Reaksi 1;



Reaksi 2

Serpentine + carbon dioxide → Magnesite + silica + water



Jadi banyak mineral - mineral yang menarik atau merosotkan CO₂. Masih banyak lagi rosotan yang dapat mengurangi CO₂ dari atmosfer di bumi ini, sehingga keseimbangan karbon/CO₂ dapat tercapai. Salah satu yang ingin diketengahkan dalam makalah ini adalah penelitian rosotan pada tumbuh-tumbuhan.

2.2. Rosotan CO₂ Tumbuh-Tumbuhan.

Rosotan CO₂ dari tumbuh-tumbuhan dapat dilakukan bukan hanya di hutan saja, melainkan dapat dilakukan pada ruang terbuka hijau (RTH) di perkotaan. Menurut Instruksi Menteri Dalam Negeri No.14 tahun 1988, hutan kota adalah suatu ruang terbuka hijau (RTH) yang ditanami berbagai tanaman tahunan, dengan maksud sebagai tempat perlindungan kelestarian tanah dan air penyelamatan plasma nutfah serta paru-paru kota. Dari instruksi tersebut, dapat dipahami fungsi kelestarian termasuk menjaga rosotan CO₂.

Tumbuh-tumbuhan adalah salah satu yang mudah dilakukan pengembangan rosotan karena karbon yang tertangkap dapat disimpan, atau dikembalikan ke tanah. Pertanian dapat menyebabkan terlepasnya penyimpanan karbon di tanah. Namun dengan rekayasa pertanian dapat mengembalikan tanah atau tetumbuhan sebagai carbon sink. Dengan meregenerasi sistem pertanian, secara praktis bumi dengan 22 juta km² lahan kosong dapat diefektifkan, maka dapat menarik emisi CO₂ sampai 40% yang dilempar ke atmosfer. Inilah merupakan salah satu yang ampuh untuk menangkal global warming, tanpa mereduksi hasil atau keuntungan dari pertanian tersebut. (Lappe. Anna, 2008). Sehingga tanah dan lahan dapat dimanajementi untuk mengubah karbon dioksida dari GRK menjadi asset produksi makanan. Terlebih lagi Indonesia sebagai negara agraris, maka dengan meningkatkan pertanian dapat mereduksi GRK dan menghasilkan padi, jagung dan buah-buahan maupun kayu-kayuan sebagai penyimpan karbon. Dengan demikian Indonesia dapat menjual karbon melalui CDM (clean development mechanism) yang berorientasi dari sektor pertanian.

Di Amerika Serikat pada tahun 2006 (Wikipidea, 2008) yang diperkirakan emisi CO₂ dari BBM mencapai 6,5 milyar ton. Diperkirakan akan dapat di seimbangkan dengan pendekatan bila pertanian sanggup menarik 2.000 (lb/ac)/tahun, maka akan dapat disikluskan seluruhnya dengan 434.000.000 acres (1.760.000 km²) dan tanah dapat memanen atau menarik sebanyak 1,6 milyar ton CO₂ pertahun, yang berarti hampir ¼ total akibat pemakaian BBM di Amerika dapat dieleminir.

Hutan dapat dianggap sebagai sumber atau reservoir CO₂ terbesar di Indonesia, kegiatan yang mengubah hutan, terutama deforestasi dan perubahan fungsi lahan Tabel 2.1. Dari Tabel 2.1 tersebut, diketahui jumlah emisi CO₂ terbesar disebabkan oleh deforestasi dan konversi lahan (kebakaran hutanan, HTI, perkerbunan, deforestasi, konversi lahan, pemanfaatan lahan dan lain-lain) sebesar 559.471,00 .Gt. (74%), diikuti konsumsi energi (23%) dan proses industri (3%). Namun secara ekologis hutan dan perkebunan juga mempunyai potensi dan fungsi ekologis menurunkan kadar CO₂ atau rosot (*sink*) pada saat melakukan aktivitas fotosintesis. Pohon dan tetumbuhan menyerap CO₂ dan menghasilkan oksigen. Jadi fungsi hutan/tumbuhan harus dikembalikan agar keseimbangan terjadi.

Tabel 2.1. Sumber Emisi CO₂ di Indonesia Tahun 1994 (sumber: SME, 1999)

Sumber	Emisi
A. Seluruh Energi	170.016,31
1. Industri Energi & Transformasi	50.702,24
2. Industri	50.014,38
3. Transpor	47.047,16
4. Rumah tangga dan komersial skala kecil	22.252,17
5. Lain-lain	2.038,17
B. Kehutanan & Perubahan Peruntukan Lahan	559.471,00
1. HTI dan Perkebunan	198.994,00
2. Deforestasi & Konversi lahan	303.237,00
3. Beban Pemanfaatan lahan	57.240,00
4. Lain-lain	
Total	748.607,31

Penyerapan CO₂ melalui proses fotosintesis oleh hutan pada hakekatnya adalah mereduksi CO₂ dari udara. CO₂ yang diserap ini pada prinsipnya dapat juga mendapatkan Reduksi Emisi berSertifikat (RES). Secara eksplisit hal ini belum disetujui, tetapi perdagangan implementasi patungan karbon hutan sudah terjadi.

Di sektor Kehutanan, CDM dapat diarahkan untuk mendukung jual-beli emisi dalam bentuk sertifikat, yaitu jumlah emisi para pelaku perdagangan CO₂ atau karbon akan diverifikasi oleh sebuah badan internasional atau badan lain yang diakreditasi. Reduksi Emisi berSertifikat (RES) atau *Certified Emission Reduction (CER)* inilah yang diperjualbelikan dalam suatu pasar internasional. Harga karbon masih sangat bervariasi, yaitu antara 1 – 30 \$ US per ton karbon.

Amerika Serikat sangat gigih memperjuangkan RES dari penyerapan karbon oleh hutan. Mekanisme ini bukan hutannya atau kayunya yang dijual, melainkan RESnya. Bila dapat dilakukan reboisasi hutan missal 1.000 ha, setelah diverifikasi oleh badan internasional ternyata karbon yang diserap hutan yang direhabilitasi itu adalah 200 ton karbon/ha/tahun. RES yang kita dapatkan ialah 100.000 ton/tahun. Jika harga karbonnya 10 \$US/ton, maka nilai RES itu 2.000.000 \$US/tahun. Tetapi kalau hutan rusak lagi, RES kita akan hilang. RES yang diperoleh ini merupakan insentif untuk negara dan masyarakat agar memelihara hutan, sehingga mereka merasa menikmati jerih payah memelihara hutan itu.

Diantara pemeliharaan hutan yang dapat lebih dioptimalkan adalah:

- *Agroforestry*
- Pembangunan hutan tanaman pada lahan hutan yang rusak,
- Penerapan RIL (*Reduced Impact Logging*),
- Rehabilitasi areal bekas kebakaran,
- Rehabilitasi hutan mangrove dan hutan gambut,
- Perlindungan terhadap hutan yang rawan kebakaran dan perambahan.
- Peningkatan peremajaan lingkungan khususnya hutan.
- Pembuatan ruang terbuka hijau (RTH)/hutan kota.

3. PENGUKURAN CO₂ dan O₂ PADA ROSOTAN TUMBUHAN

3.1. Fotosintesis Pada Tumbuhan.

Dari landasan teori, fotosintesis (lihat per. 2.2), penyerapan energi cahaya dilakukan oleh klorofil daun yang sensitif terhadap cahaya. Proses absorpsi energi cahaya menyebabkan lepasnya elektron berenergi tinggi dari klorofil a dan disalurkan atau ditangkap oleh akseptor elektron utama. Elektron ini selanjutnya masuk ke sistem siklus elektron yang akan menarik elektron air dalam daun dan terurai oleh unsur Mn (mangan) menjadi unsur O₂ dan H⁺. Oksigen akan keluar, ion H⁺ akan di pompa dan dengan elektron digunakan untuk membentuk adenosin trifosfat (ATP), lihat persamaan 2.1.

Panjang gelombang yang berperan pada fotosintesis berada pada kisaran cahaya matahari tampak (380-700 nm). Tumbuhan menggapai karbon dioksida dengan air untuk menghasilkan gula dan oksigen yang diperlukan sebagai makanannya. Ada beberapa faktor utama yang menentukan runutan laju fotosintesis:

1. Intensitas cahaya
Laju fotosintesis maksimum ketika banyak energi cahaya.
2. Konsentrasi karbon dioksida
Semakin banyak karbon dioksida di udara, makin banyak jumlah bahan yang dapat digunakan tumbuhan untuk melangsungkan fotosintesis.
3. Kadar air
Kekurangan air atau kekeringan menyebabkan stomata menutup, menghambat penyerapan karbon dioksida sehingga mengurangi laju fotosintesis
4. Temperatur
Enzim-enzim yang bekerja dalam proses fotosintesis hanya dapat bekerja pada temperatur optimalnya. Umumnya laju fotosintesis meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur hingga batas toleransi enzim.
5. Kadar fotosintat (hasil fotosintesis)
Jika kadar fotosintat seperti karbohidrat berkurang, laju fotosintesis akan naik. Bila kadar fotosintat bertambah atau bahkan sampai jenuh, laju fotosintesis akan berkurang.
6. Tahap pertumbuhan
Penelitian menunjukkan bahwa laju fotosintesis jauh lebih tinggi pada tumbuhan yang sangat muda (kecambah) ketimbang tumbuhan dewasa. Hal ini mungkin dikarenakan tumbuhan muda memerlukan lebih banyak energi dan makanan untuk tumbuh.

Dari ketentuan tersebut percobaan ini dilakukan pada ruang terbuka hijau/hutan kota di LAPAN Bandung. Menurut Instruksi Menteri Dalam Negeri No.14 tahun 1988, dapat bermanfaat menjaga rosotan CO₂.

Untuk menyeimbangkan pelepasan karbon dioksida ke atmosfer dapat ditarik oleh tumbuh-tumbuhan hutan dengan ratio pendekatan dari bahan bakar fosil adalah (Bernatzky, 1978):

$$A = (hH + pP + sS + dD + kK + nN + lL)/R \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana: A - area hutan kota (ha), h - karbondioksida yang dilepas manusia (gr/jam), H- jumlah penduduk (jiwa), p- karbondioksida yang ditimbulkan dari pembakaran bensin (gr/lt), P - jumlah konsumsi bensin (lt/jam), d - karbondioksida yang ditimbulkan dari pembakaran solar (gr/lt), D - jumlah konsumsi solar (lt/jam), k - karbondioksida yang ditimbulkan dari pembakaran minyak tanah (gr/lt), K - jumlah konsumsi minyak tanah (lt/jam), n- karbondioksida yang ditimbulkan dari pembakaran LNG (gr/gr), N - jumlah konsumsi LNG (gr/jam), l- karbondioksida yang ditimbulkan dari pembakaran LPG (gr/gr), L - jumlah

konsumsi LPG (gr/jam), R -kemampuan hutan/tumbuhan dalam menyerap karbondioksida adalah 75.000 gr/jam/ha (Bernatzky, 1978).

Dari persamaan 3.1. ini dapat ditambahkan eliminasi yang lain, seperti pelepasan dari industri dsb. Tabel 3.1. untuk mencari konversi bahan bakar fosil ke penggaipaan karbon dioksida.

Tabel 3.1. Faktor timbulan dari bahan bakar fosil dan manusia.

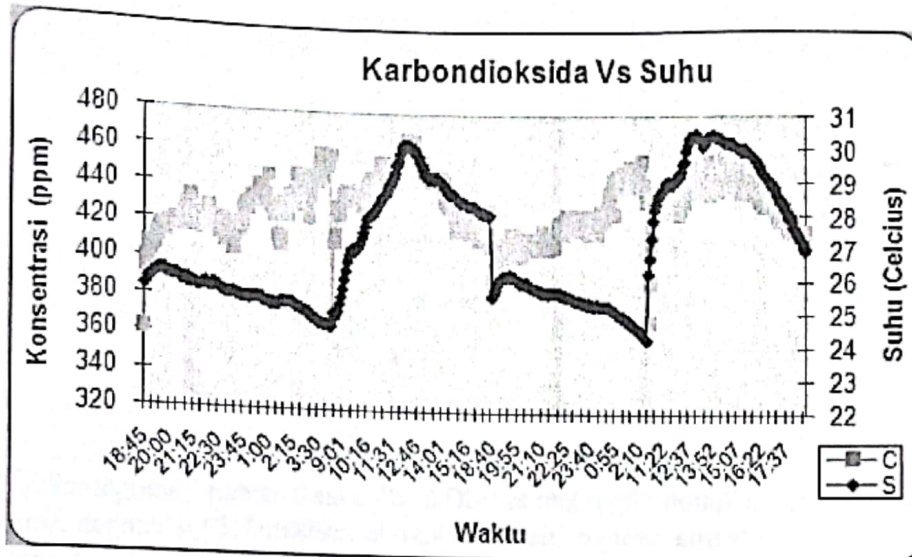
kode	Penggunaan	Timbulan CO ₂	Standar
h	Pernafasan manusia	40,33 gram /jam	White, Handler dan Smith (dari Wisesa, S. P. C. 1988, dari Herdiansah, 2006.)
p	Bensin	2.333 gr /lt	DEFRA, 2001
s	Solar	2.639 gr/lt	DEFRA, 2001
k	Minyak tanah	2.575 gr/lt	DEFRA, 2001
d	Minyak diesel	2.682 gr/lt	(http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/coefficients.html)
n	Gas alam (LNG)	1.777 gr/m ³	DEFRA, 2001
p	LPG	2.700 gr/kg	(Rosa. D.S, 2005)

Sumber: Herdiansah, 2006.

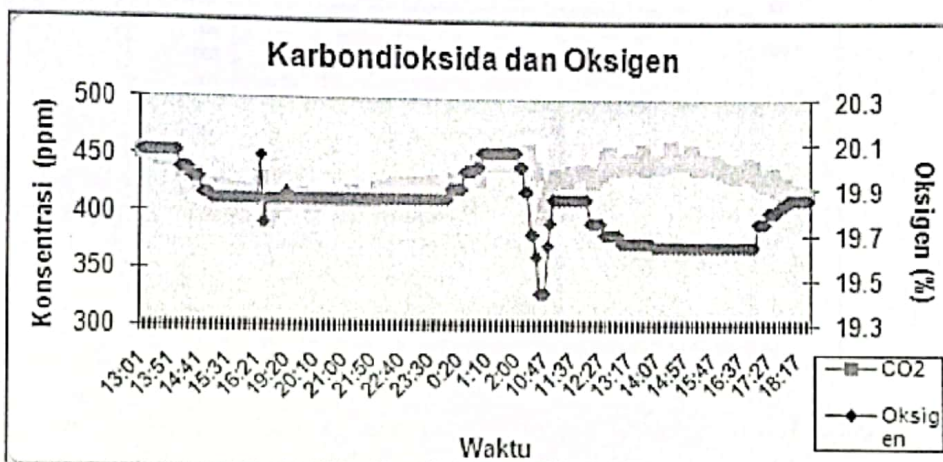
Penelitian ini dilakukan di lingkungan LAPAN Bandung, dengan pendekatan, pegawai yang aktif dikantor adalah 235 orang, bekerja sehari 8 jam, satu tahun 240 hari kerja. Mobil yang ada berjumlah 60 mobil menggunakan bahan bakar bensin, pemakaian bensin di kantor dijalankan selama 5 menit sehari. Motor sejumlah 160 jenis, dijalankan di kantor sehari 5 menit. LPG ada 16 tabung setahun. Minyak solar untuk generator stand by untuk listrik PLN mati (pemanasan) diperlukan 48 liter setahun.

3.2. Pengukuran dan Data

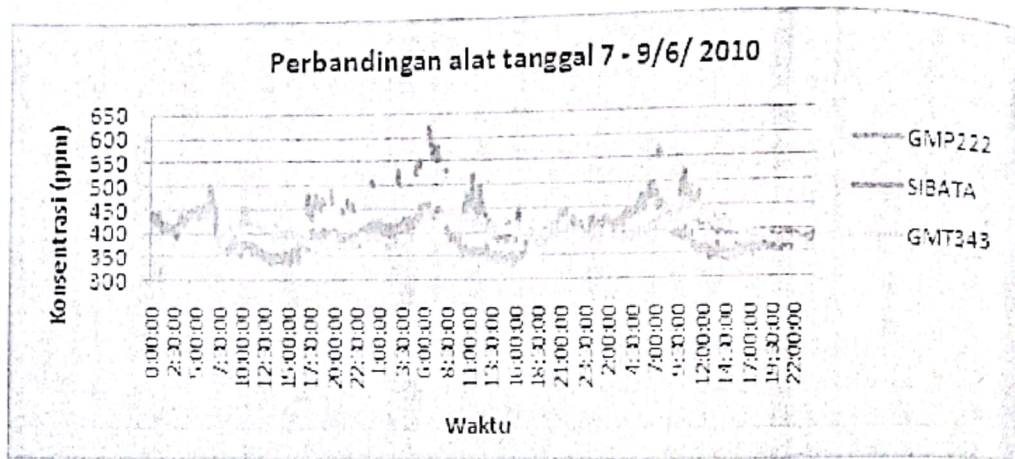
Percobaan yang dilakukan pertama-tama dilakukan pengukuran dan mengkompilasi data selanjutnya melakukan plotting dan menganalisis data intensitas radiasi matahari, konsentrasi CO₂, temperatur, oksigen serta kecepatan angin. Selanjutnya dilakukan perhitungan karbon yang dilepas dan eliminasi melalui RTH dengan luasannya serta sebaran karbon yang harus digapai. Kadar air tumbuhan, kadar foto instant (jatuhnya sinar matahari seketika dan langsung) dan pertumbuhan pada tataran ini belum dilakukan (perlu kerjasama dengan instansi lain). Peralatan yang digunakan adalah Vaisala GMP 343, GMM 222, SIBATA CO, CO₂ meter, Oxygenmeter APOGE 02M, DAVIS AWS – Fantage Pro 2 (kecepatan angin dan pembandingan temperatur) dan Pyranometer MS 210W (pengukur radiasi matahari).



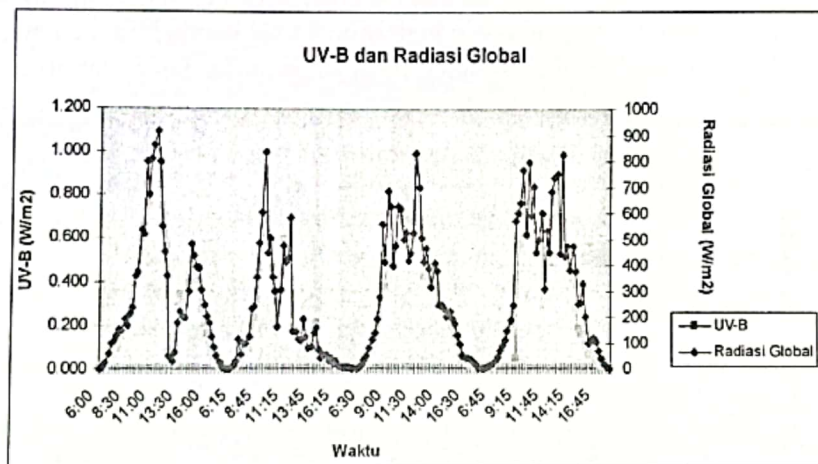
Gambar 3.1. Contoh Perekaman CO₂ di dalam rosotan (di tetumbuhan) menggunakan Vaisala GMP 343 (tanggal, 7-9 Juni 2009, melalui kalibrasi temperatur dan tekanan, sensor terkalibrasi). Warna oranye menunjukkan konsentrasi CO₂, warna biru menunjukkan suhu derajat C (sumber: hasil pengukuran dan perhitungan).



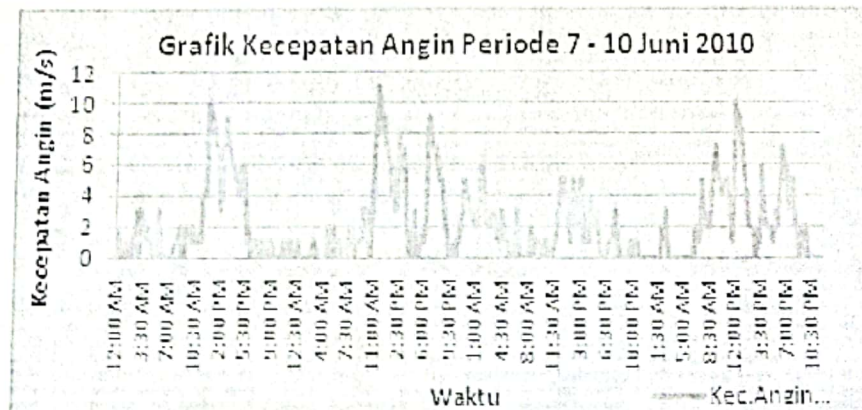
Gambar 3.2. Contoh perekaman CO₂ di dalam rosotan menggunakan Vaisala GMP 343 (tanggal, 10 Juni 2009, melalui kalibrasi temperatur dan tekanan, sensor terkalibrasi, dengan perekaman oksigen APOGE 02M. Warna oranye menunjukkan konsentrasi CO₂ ppm, biru adalah konsentrasi O₂ dalam %. (sumber: hasil pengukuran dan perhitungan).



Gambar 3.3. Contoh perekaman CO₂ di luar rosotan menggunakan 3 sensor, warna oranye menunjukkan konsentrasi CO₂ dengan sensor Sibata, biru menggunakan sensor Vaisala GMM 222, hijau menggunakan sensor Vaisal GMP 343 dan SIBATA CO CO₂ meter (sumber: hasil pengukuran dan perhitungan).



Gambar 3.4. Radiasi matahari pada pengukuran CO₂ dan O₂ direkam, menggunakan Pyranometer MS 210W dari 7-10 Juni 2010 (sumber: hasil pengukuran).



Gambar 3.5. Kecepatan angin saat pengukuran CO₂ dan O₂ arah timur, menggunakan DAVIS AWS – Fantage Pro 2 (sumber: hasil pengukuran).

Untuk menyeimbangkan pelepasan karbon dioksida ke atmosfer dapat ditarik oleh tumbuh-tumbuhan hutan dengan ratio sebagai berikut.

4. ANALISIS

4.2. Penentuan Luasan RTH di LAPAN sebagai Penyerap (CO₂)

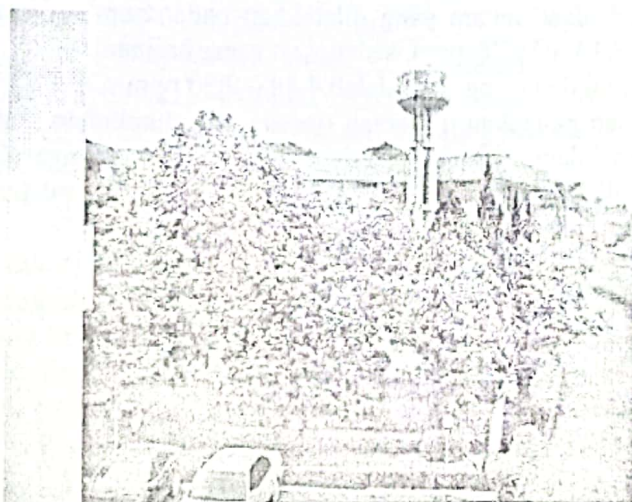
Dengan menggunakan persamaan (3.1), maka pendekatan yang dimasukkan sebagai variabel adalah: manusia (pegawai), mobil (bensin), motor (bensin), generator diesel (solar), LPG, setelah dihitung diperoleh luas RTH yang dibutuhkan selama setahun:

$$A = (hH + pP + sS + dD + kK + nN + lL) / R$$

diperoleh

$$A = 40,33 \times 235 + 2.333 \times (0,02 \times 240 \times 60) + 2.333 \times (0,007 \times 240 \times 160) + 2.700 \times (16 \times 12) + 2.639 \times 48 / 75.000 \text{ (ha)} = 268,546 \text{ ha}$$

Untuk memenuhi eliminasi CO₂ setiap hari, maka RTH di LAPAN dengan kegiatan seperti sekarang adalah : 268,546 ha/240 = 1,12 ha. Artinya luas RTH yang ada untuk menggapai dan menyeimbangkan karbon dioksida yang dilepas oleh kegiatan di LAPAN Bandung, belum mencukupi dari fungsi tanaman yang ada, dengan fungsi tanaman seperti hutan (lihat RTH yang ada saat ini, Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Kondisi RTH LAPAN Bandung belum cukup untuk mengeleminir timbulan CO₂ dari kegiatan LAPAN Bandung setiap hari dengan total luas 1.500 m²

4.2. Karbon Dioksida Terukur dan Karbon Tergapai.

Melihat hasil perhitungan di atas bahwa hutan atau RTH dengan luas satu ha setiap satu jam dapat menarik 75.000 gr CO₂. untuk LAPAN Bandung yang diperkirakan dengan tetumbuhan tersisa 1.500 m². Perjam hanya dapat menarik 11.364 gr CO₂ dan sehari hanya 12 x 11.364 gr CO₂. Pada reaksi 2.1 dan 2.2 terjadi perbedaan yang mencolok antara malam dan siang, khususnya daerah rosotan yaitu didalam rimbunnya tumbuhan, menunjukkan tatkala malam hari sampai pagi terjadi peningkatan pelepasan CO₂ walaupun dengan sensor tipe lain (sebagai pembanding). Sebaliknya konsentrasi O₂ meningkat di siang hari dan turun di malam hari. Tatkala mendung dan akan hujan, maka terjadi

penurunan konsentrasi CO_2 yang ditunjukkan juga dengan penurunan temperatur dan penurunan oksigen, akibat penurunan radiasi matahari termasuk UV yang berperan juga dalam fotosintesis (lihat Gambar 3.1-3.4). Saat itu kondisi angin di bawah 1 m/detik (lihat Gambar 3.5). Hal ini menunjukkan fotosintesis tidak mulus, karena cahaya matahari kurang. Konsentrasi yang paling tinggi di siang hari terjadi saat puncak radiasi matahari global pada pk. 12.30, sebesar 920 W/m^2 , menghasilkan konsentrasi CO_2 mencapai 419,37 ppm. Konsentrasi CO_2 tinggi karena udara gas ideal jika temperatur meningkat sampai $29,8^\circ\text{C}$, konsentrasinya pun meningkat, sebaliknya oksigen menurun hanya mencapai 19.989%, karena kadar air sudah berkurang, sehingga stomatal kurang.

Hasil rerata harian melalui peletakan sensor di daerah rosotan (ditaruh didalam rimbunnya dedaunan pohon tahunan), selama pengukuran konsentrasi CO_2 (tergantung temperatur dan tekanan) pada saat respirasi antara 410,34 - 420,78 ppm, dengan kadar oksigen antara 19,988 - 20.007 %. Siang hari (fotosintesis) CO_2 antara 398,56 - 412,62 ppm, dengan kadar oksigen antara 20.004 - 20,889 %. Sehingga terjadi perbedaan konsentrasi CO_2 antara siang dan malam berkisar 8.16 - 11,78 ppm, sedang oksigen antara 16 ppm - 882 ppm.

Di luar daerah rosotan di ruang terbuka diatas bangunan (GD III, lt 4,) pada saat respirasi antara 385,56 - 410,24 ppm, Siang hari (fotosintesis) CO_2 antara 383,68 - 408,92 ppm. Sehingga terjadi perbedaan konsentrasi CO_2 saat respirasi dan fotosintesis antara siang dan malam berkisar 1.88 - 4,88 ppm. Jadi dominasi antara peristiwa respirasi dengan fotosintesa dapat terjadi perbedaan karena pengaruh penggapaian dan pengeluaran karbon dioksida. Perbedaan antara yang diletakkan pada daerah rosotan dengan daerah terbuka malam hari 8,16 - 26,78 ppm, sedangkan siang hari antara 3,7 - 14,88 ppm. Total perbedaan antara malam dan siang hari adalah 4,46 - 9,90 ppm. CO_2

Dengan demikian peletakan di daerah rimbunnya tetumbuhan dengan yang terbuka pada peristiwa respirasi dengan fotosintesa dapat terjadi karena pengaruh penggapaian dan pengeluaran karbon dioksida dari tumbuhan. Didaerah bebas justru pengaruh angin dan sumber lain yang menyumbangkan CO_2 sangat berpengaruh.

Dengan pendekatan *carbon cycle* (Houghton dan Hacker, diambil dari C.D. Keeling et.al., 2004), karbon yang berada di ruang tetumbuhan dapat dihitung. Saat siang hari menghasilkan karbon antara $(398,56 \times 213,13 \text{ PgC}) = 84.945,09 \text{ PgC}$ sampai $(412,62 \text{ ppm} \times 213,13 \text{ PgC}) = 87.941,70 \text{ PgC}$. Malam hari menghasilkan karbon antara $(410,34 \times 213,13 \text{ PgC}) = 87.455,76 \text{ PgC}$ sampai $(420,78 \text{ ppm} \times 213,13 \text{ PgC}) = 89.680,80 \text{ PgC}$.

Kemampuan RTH LAPAN Bandung (dari Houghton dan Hacker) dari karbon yang ada di udara dapat ditarik 1 jam sebesar $11.364 \text{ gr CO}_2 = 3.099,27 \text{ gr C/jam}$. Berarti RTH LAPAN harus dapat menggapai kandungan karbon yang dikeluarkan (berbeda antara siang dan malam dan perubahan ini bertahan selama satu tahun) adalah $1,88 \text{ (ppm)} \times 213,13 \times 10^{15} \text{ gr C (per ppm)/3.099,27 grC/jam} = 129,28 \times 10^{12} \text{ jam}$. Lama yang harus dinetralisir adalah $= 14,76 \times 10^6 \text{ tahun}$ dapat ditarik (kalau tidak berubah) atau luasan lahan RTH yang diperluas 7,5 kali dari yang ada.

5. KESIMPULAN

Dari pembahasan tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa RTH di LAPAN Bandung untuk mengimbangi kegiatan kantor setiap hari dengan kerja 8 jam dibutuhkan seluas 1,12 ha atau 7,5 kali dari yang ada. Penelitian CO_2 pada daerah rosotan di LAPAN Bandung menunjukkan bahwa konsentrasi karbon dioksida malam hari lebih tinggi dari pada siang hari antara 1,88 - 4,88 ppm, pengaruh angin terhadap sistem di dalam daerah rosotan tidak banyak berpengaruh. Perbedaan antara konsentrasi CO_2 daerah rosotan

dengan daerah terbuka di LAPAN malam hari sebesar 8,16 – 26,78 ppm, siang hari 3,7 - 14,88 ppm. Karbon yang dihasilkan siang hari antara 84.945,09 PgC sampai 87.941,70 PgC. Malam hari menghasilkan karbon 87.455,76 PgC sampai 89.680,80 PgC. Peletakan sensor CO₂ untuk pengamatan seyogyanya yang tidak dipengaruhi rosotan maupun transportasi (sesuai dengan kepentingannya).

DAFTAR RUJUKAN

- Bernatzky, 1978, *Tree Ecology and Preservation*. Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam.
- DEFRA, 2001, Conversion. <http://www.natenergy.org.Uk/convert.htm>. Januari 2005.
- Google (gambar), Ekosistem Carbon Balance (diakses 2 Maret 2010).
- Google (gambar), Siklus karbon di laut, diakses 3 Mei 2010).
- Houghton, R. A., 2005, The contemporary carbon cycle. Pages 473-513 in W. H. Schlesinger, editor. *Biogeochemistry*. Elsevier Science.
- Herdiansah, 2006, Penentuan Luasan optimal Hutan Kota Sebagai Rosot Gas Karbondioksida (Studi kasus kota Bogor), Skripsi, Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan ekowisata, Fak. Kehutanan IPB.
- Ka'ban M.S., 2008 (Kamis, 10 April 2008), Bincang-bincang dengan Menhut, MetroTV.
- Keeling C.D, T. P. Whorf and the Carbon Dioxide Research Group at the Scripps Institution of Oceanography (SIO), 2004, University of California, La Jolla, California USA 92093-0444, p.1.
- Lappé Anna, 2008 (10 May 2008). "Timothy LaSalle of Rodale on the surprising climate benefits farming". *Grist*. <http://www.grist.org/feature/2008/05/09/index.html>.
- Lacoma T, 2010, Discovery of Photosynthesis (terhubung berkala), http://www.ehow.com/about_5410325_discovery-photosynthesis.html, (diakses 14 Mei 2010).
- Rodale Institute A report recently, 2008, A report recently, based on nearly 30 years of research in its side-by-side studies of organic and conventional agriculture, (diakses 6 Februari 2010).
- Sutrisno Budiarto, 2008, Ketika Uang 'Di-Tuhan-kan' dan Hutan Berantakan; Perlu Menggali Hak Asazi Alam Melalui Ekoteologi dan Ekosofi, www.kabarindonesia.com, (diakses 2 Januari 2010)
- Sabilal Fahri, 2002 (Des 2002), Menjual Hutan Tanpa Menebang Pohon, Makalah Falsafah Sains (PPs 702), Program Pasca Sarjana S3, Institut Pertanian Bogor.
- SME. Indonesia, 1999 (8 Nov 2009), Jakarta – Delegation of 13 Asia Pacific countries meeting in Jakarta, Indonesia, to discuss SME (Small Medium Enterprises) after, www.indonesia.go.id/en/index.php?option=com.
- UNDP Indonesia, 2007 (27 Nov 2007), **Sisi Lain** Dari Perubahan Iklim: Mengapa Indonesia Harus Melakukan Penyesuaian Untuk Melindungi Rakyat Termiskin. www.undp.or.id/press/view.asp.
- Wikipedia, Carbon Cycle, 2008. (diakses 4 Januari 2009), Dan edisi terakhir Mei 2010.