

## **KOMPENSASI PRODUKSI CO<sub>2</sub> DARI PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR DENGAN SERAPAN CO<sub>2</sub> OLEH VEGETASI**

Oleh:

**Syaukat Ali**

Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Gadjah Mada

### **Abstract**

*The global warming issue, with increasing CO<sub>2</sub> concentration level, has become a global problem. The increasing of the CO<sub>2</sub> is caused by the high emission of CO<sub>2</sub> produced by several sectors, mainly from road and building infrastructure sectors. Buildings are responsible for CO<sub>2</sub> production from their use of electricity, while road infrastructure, by means of the transportation system, plays a role in the CO<sub>2</sub> hike. It is by no means a rare occasion that trees alongside roads and streets are being cut down since they are believed to take much of the land used for transportation. Whereas, as we all see, trees and vegetation are able to absorb and limit CO<sub>2</sub> emission. Thus, the tree-cutting activities and the increase of CO<sub>2</sub> emission constitute environmental cost which must be "paid" by regularly planting trees. By doing so, environmental balance is attained as trees readily absorb CO<sub>2</sub> emission from both road and building infrastructures.*

*The aim of this research is to develop a formula to calculate the environmental cost, thus named "CO<sub>2</sub> compensation system," by both measuring CO<sub>2</sub> production cost from community's energy consumption and analyzing a survey on transportation energy consumption. Field observations are conducted to know the CO<sub>2</sub> production character in the sample site. The data collected are therefore analyzed quantitatively using a computer program to attain an exact CO<sub>2</sub> compensation formula.*

*The result of the study reveals that community's (families) domestic energy/electricity consumption indirectly produces emission of 679.46 kgs of CO<sub>2</sub> per month. To compensate that, vegetation which can absorb the amount of 679.46 kgs of CO<sub>2</sub> per month is decidedly needed. In addition, from the transportation sector, each motor vehicle reaches an average of 539.43 kms/month on road. Its CO<sub>2</sub> emission produced per month is 62.22 kgs/vehicle in average.*

Kata Kunci: CO<sub>2</sub> pembangunan infrastruktur, vegetasi

## Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur berupa gedung dan jalan akan selalu ada guna memenuhi kebutuhan manusia. Namun demikian tak bisa dipungkiri bahwa infrastruktur gedung dan jalan tersebut memproduksi sejumlah polusi, termasuk polusi CO<sub>2</sub> yang sekarang berkembang menjadi isu pemanasan global. Gedung merupakan emitor CO<sub>2</sub> terbesar (43,9%) melalui pemakaian listrik sementara jalan mendorong emisi CO<sub>2</sub> (15,9%) melalui sektor transportasi (<http://oica.net>, 2010).

Untuk mengantisipasi hal tersebut, perlu dilakukan gerakan untuk menyelamatkan kualitas udara, yaitu dengan menjaga keseimbangan konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara. Alam sebenarnya sudah memiliki mekanisme alamiah untuk menyelaraskan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer, yaitu melalui vegetasi. Vegetasi memiliki kemampuan untuk menyerap CO<sub>2</sub> dan memprosesnya menjadi O<sub>2</sub> dan karbon yang disimpan dalam bagian tubuh vegetasi tersebut (*carbon sink*). Akan tetapi, seiring dengan pembangunan gedung dan jalan yang membutuhkan lahan dalam jumlah besar, keberadaan vegetasi kerap dikorbankan demi kepentingan ekonomi jangka pendek. Akibatnya, jumlah vegetasi yang mampu menyerap CO<sub>2</sub> berkurang sementara jumlah emitor CO<sub>2</sub> semakin bertambah sehingga konsentrasi CO<sub>2</sub> secara global meningkat dengan tingkat pertambahan yang makin besar.

Dalam konteks tersebut, diperlukan sebuah mekanisme keseimbangan CO<sub>2</sub> secara lebih efektif dan efisien serta dengan menggunakan nilai-nilai kearifan lokal. Dengan adanya mekanisme keseimbangan CO<sub>2</sub> tersebut, akan dapat menurunkan kadar emisi CO<sub>2</sub> yang diakibatkan oleh pembangunan gedung dan jalan.

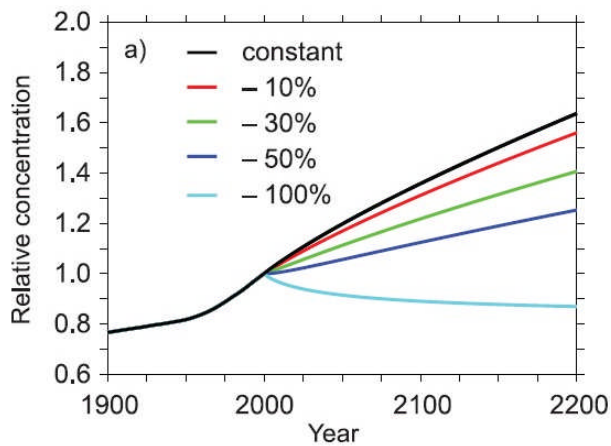
CO<sub>2</sub> (*carbon dioxide*/karbon dioksida) adalah sejenis gas yang tidak berwarna dan tidak berbau yang dihasilkan oleh pembakaran karbon. Gas CO<sub>2</sub> di atmosfer berada pada lapisan troposfer (10-15 km) dan dapat bertahan hingga 100 tahun. Daya tahan dalam jangka waktu yang lama tersebut menyebabkan CO<sub>2</sub> dapat tercampur secara merata (*well mixed*) di atmosfer sehingga menyebabkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di daerah satu memiliki konsentrasi yang hampir sama di daerah lainnya (Lackner, 1999).

*International Panel on Climate Change* (IPCC) di tahun 2001 menyebutkan CO<sub>2</sub> sebagai gas rumah kaca sekaligus kontributor utama pemanasan global. Pengukuran gas CO<sub>2</sub> di atmosfer dapat menggunakan istilah emisi atau konsentrasi. Emisi merujuk pada pengukuran CO<sub>2</sub> per satuan luas dan waktu sehingga satuannya adalah massa/luas/waktu (misal ton/m<sup>2</sup>/tahun). Sementara konsentrasi merujuk pada pengukuran CO<sub>2</sub> per satuan volume atau berat suatu ruangan atau media dengan satuan ppm atau *part per million* (S. Slamet, 2008). Konsentrasi CO<sub>2</sub> antara satu wilayah dengan wilayah lain di bumi relatif sama, sementara emisi CO<sub>2</sub> antara satu wilayah dengan wilayah lain bisa berbeda,

bergantung pada kuantitas produksi CO<sub>2</sub> di daerah tersebut. Besar kecilnya tingkat emisi di suatu daerah akan mempengaruhi konsentrasi CO<sub>2</sub> secara global (IPCC, 2007).

Lebih lanjut IPCC (2007) menyatakan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> sangat bergantung pada rasio CO<sub>2</sub> yang diemisikan (*emitted*) ke atmosfer dan rasio CO<sub>2</sub> yang hilang dari atmosfer (*removal*). Melalui siklus karbon, sebagian CO<sub>2</sub> diserap oleh vegetasi dan tertimbun di lautan. Akibatnya, sebagian besar (lebih dari 50%) CO<sub>2</sub> dapat dihilangkan dari atmosfer melalui serangkaian proses kimia dan alamiah. Proses ini berjalan dalam waktu ratusan tahun. Akan tetapi, dalam waktu tersebut, sebagian kecil (sekitar 20%) CO<sub>2</sub> masih bertahan dalam atmosfer dan proses ini sanggup memakan waktu hingga ribuan tahun. Proses "penghilangan" (*removal*) CO<sub>2</sub> yang cukup lama tersebut menyebabkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer akan terus meningkat dalam jangka waktu yang lama. Reduksi emisi CO<sub>2</sub> yang dilakukan di waktu sekarang baru akan terlihat efeknya dalam jangka panjang. Di tahun 2009 tercatat bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer adalah 388 ppm dengan kecenderungan yang terus meningkat tiap tahunnya (Keeling, dkk., 2001).

### Grafik Simulasi Tingkat Reduksi Emisi CO<sub>2</sub> Terhadap Konsentrasi CO<sub>2</sub> di Atmosfer

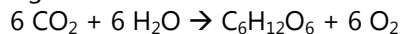


Manusia melakukan metabolisme dan memproduksi CO<sub>2</sub>. Namun, pelepasan CO<sub>2</sub> hasil respirasi manusia secara kuantitas tidak memiliki kontribusi yang cukup besar dalam konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer. Dalam IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006 disebutkan bahwa emisi gas rumah kaca ke atmosfer dilepaskan oleh pembakaran dinamis (*mobile combustion*) dan pembakaran statis (*stationary combustion*).

Produksi CO<sub>2</sub> yang termasuk dalam kategori pembakaran dinamis adalah CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari infrastruktur jalan. Jalan akan mendorong penggunaan kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor memproduksi CO<sub>2</sub> sehingga keberadaan sebuah jalan akan secara otomatis memproduksi CO<sub>2</sub>. Produksi CO<sub>2</sub> dari kendaraan bermotor bersumber dari pembakaran bahan bakar karbon (baik bahan bakar bensin, diesel, ataupun gas).

Sementara produksi CO<sub>2</sub> yang termasuk dalam kategori pembakaran statis adalah CO<sub>2</sub> yang bersumber dari gedung. Produksi CO<sub>2</sub> dari gedung berasal dari penggunaan energi (energi yang melalui proses pembakaran) untuk menunjang aktivitas di dalam bangunan tersebut. Bangunan dengan fungsi permukiman, perkantoran, dan komersial diperkirakan mengkonsumsi 1/3 bagian dari total konsumsi energi global (ASME, 2009). Produksi CO<sub>2</sub> tersebut bersumber dari penggunaan bahan bakar untuk keperluan domestik (misal memasak) dan penggunaan energi listrik. Penggunaan energi listrik akan mengemisikan CO<sub>2</sub> secara tidak langsung karena dalam proses produksi listrik dibutuhkan pembakaran bahan bakar karbon.

Vegetasi memiliki kemampuan untuk menyerap CO<sub>2</sub> melalui fotosintesis dengan reaksi kimia sebagai berikut :



CO<sub>2</sub> yang masuk melalui daun diolah menjadi karbon atau biomassa (Heriansyah, 2005). Dari semua jenis vegetasi, pohon memiliki kemampuan yang paling besar untuk menyerap CO<sub>2</sub> secara efektif. Pohon memiliki batang yang besar dan perakaran yang cukup kuat dibanding tanaman lainnya, sehingga dapat menyimpan CO<sub>2</sub> di dalam batang sebagai *carbon sinks* (Liu dan Han, 2009).

*Carbon sinks* atau *CO<sub>2</sub> sinks* adalah sebutan bagi semacam “wadah” yang dapat menyimpan CO<sub>2</sub>, yang secara alamiah dapat dilakukan oleh hutan baru (hutan yang masih muda). Hal ini dikarenakan pohon yang sedang tumbuh menyerap lebih banyak CO<sub>2</sub> untuk kemudian disimpan di dalam batang kayunya.

Kemampuan pohon dalam menyerap CO<sub>2</sub> berbeda antara satu pohon dengan pohon yang lain. Faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan daya serap pohon tersebut adalah sebagai berikut :

1. Iklim

Hutan tropis dapat menyerap lebih banyak karbon. Tidak seperti hutan *boreal* dan *temperate* yang memiliki musim gugur di mana daun-daun berguguran dan malah melepaskan karbon bukannya menyerap karbon. (Bala dalam artikel Gatra, 2008)

2. Diameter pohon

Semakin besar diameter pohon maka kemampuan pohon tersebut dalam menyimpan dan *mensequester* karbon akan makin besar pula. Dalam sebuah

penelitian di Brooklyn ditemukan bahwa pohon besar dengan diameter lebih dari 83,8 cm dapat menyimpan 2,6 ton karbon, 530 kali lebih besar dari kemampuan menyimpan karbon pohon kecil (diameter kurang dari 7,6 cm).

### 3. Tingkat pertumbuhan pohon

Pohon pada masa tumbuh akan semakin tinggi tingkat serapan CO<sub>2</sub>nya. Masing-masing pohon memiliki tingkat pertumbuhan dan masa pertumbuhan yang berbeda-beda. Sebuah studi di Taiwan menyebutkan bahwa pohon pada usia 20 tahun akan sanggup menyerap CO<sub>2</sub> sebanyak 121-325 Mg/ha sementara pada usia 40 tahun kemampuan serapannya menjadi 226-523 Mg/ha (Liu, dkk, 2007)

Sebuah pengukuran yang lebih lengkap mengenai serapan CO<sub>2</sub> dari berbagai vegetasi yang ditemukan di Indonesia dikemukakan oleh Endes Dahlan, peneliti dari ITB dan dipublikasikan dalam majalah Trubus (2008). Hasil penelitian Endes menyebutkan 31 jenis pohon dengan variasi serapan CO<sub>2</sub> antara 28 ton hingga 0,2 kg per tahun. Pohon Trembesi diklaim memiliki kemampuan serap yang terbesar yaitu 28.448 kg CO<sub>2</sub> per tahun. Secara lebih rinci, hasil penelitian Endes diuraikan dalam Tabel 1.

### Metode Penelitian

Pengumpulan data dalam penelitian ini mencakup data mengenai karakter produksi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh penggunaan kendaraan bermotor dan karakter produksi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh penggunaan listrik. Pengumpulan data tersebut dilakukan melalui survei kuesioner. Responden diberi pertanyaan mengenai tipe penggunaan kendaraan bermotor selama sebulan dan juga penggunaan listrik selama sebulan.

Data produksi CO<sub>2</sub> dari sumber dinamis dan statis tersebut kemudian dikomparasikan dengan data serapan tanaman seperti yang telah diidentifikasi oleh Dahlan. Analisis komparasi menggunakan metode kuantitatif.

Hasil analisis tersebut akan dapat menggambarkan karakteristik produksi CO<sub>2</sub> dan kemungkinan jenis kompensasi yang dilakukan dengan menggunakan serapan CO<sub>2</sub> oleh vegetasi.

### Hasil Penelitian

Penggunaan energi domestik meliputi penggunaan bahan bakar untuk memasak (*cooking oil*) dan penggunaan energi listrik untuk aktivitas sehari-hari. Berdasarkan survei emisi CO<sub>2</sub> di Yogyakarta, penggunaan kayu bakar atau arang hanya ditemui pada 1 rumah tangga. Sebagian besar (>90%) responden menggunakan bahan bakar gas (LPG) sebagai bahan bakar untuk memasak. Beberapa di antara responden masih menggunakan minyak tanah dan gas sebagai bahan bakar untuk memasak. Rata-rata penggunaan gas (LPG) sebagai bahan bakar untuk memasak adalah 16,23 kg LPG per bulan per rumah tangga. Kondisi tersebut berarti bahwa dalam satu bulan, rata-rata satu rumah tangga di

Yogyakarta mengemisikan 48,5277 kg CO<sub>2</sub>/bulan dari penggunaan LPG untuk memasak. Jika diasumsikan bahwa produksi CO<sub>2</sub> sama tiap bulannya, maka dalam satu tahun, rata-rata emisi CO<sub>2</sub> yang diproduksi dari kegiatan memasak dengan menggunakan LPG oleh satu rumah tangga di Yogyakarta adalah 582,3324 kg CO<sub>2</sub>/tahun.

Tabel 1. Kemampuan Vegetasi Serap CO<sub>2</sub>

No	Local Name	Latin	CO <sub>2</sub> sequestration (kg/tree/year)
1	Trembesi	<i>Samanea Saman</i>	28.448,39
2	Cassia	<i>Cassia sp</i>	5.295,47
3	Kenanga	<i>Canangium odoratum</i>	756,59
4	Pingku	<i>Dysoxylum excelsum</i>	720,49
5	Beringin	<i>Ficus benjamina</i>	535,90
6	Krey payung	<i>Felicium decipiens</i>	404,83
7	Matoa	<i>Pornetia pinnata</i>	329,76
8	Mahoni	<i>Swettiana mahagoni</i>	295,73
9	Saga	<i>Adenanthera pavoniana</i>	221,18
10	Bungkur	<i>Lagerstroema speciosa</i>	160,14
11	Jati	<i>Tectona grandis</i>	135,27
12	Nangka	<i>Arthrocarpus heterophyllus</i>	126,51
13	Johar	<i>Cassia grandis</i>	116,25
14	Sirsak	<i>Annona muricata</i>	75,29
15	Puspa	<i>Schima waliichii</i>	63,31
16	Akasia	<i>Acacia auriculiformis</i>	48,68
17	Flamboyan	<i>Delonix regia</i>	42,20
18	Sawo kecil	<i>Manikara kauki</i>	36,19
19	Tanjung	<i>Mimusops elengi</i>	34,29
20	Bunga merak	<i>Caesalpinia pulcherrina</i>	30,95
21	Sempur	<i>Dilema retusa</i>	24,24
22	Khaya	<i>Khaya anthotheca</i>	21,90
23	Merbabu pantai	<i>Intsia bijuga</i>	19,25
24	Akasia	<i>Acacia mangium</i>	15,19
25	Angsana	<i>Pterocarpus indicus</i>	11,12
26	Asam karnji	<i>Pithecelobium dulce</i>	8,48
27	Saputangan	<i>Manitoea grandiflora</i>	8,26
28	Dadap merah	<i>Erythrina cristagalli</i>	4,55
29	Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>	2,19
30	Asam	<i>Tamarindus indica</i>	1,49
31	Kempas	<i>Coompasia excelsa</i>	0,20

Selain dari kegiatan memasak, produksi CO<sub>2</sub> domestik dapat bersumber dari penggunaan atau konsumsi listrik. Konsumsi listrik secara tidak langsung akan mengemisikan CO<sub>2</sub>, karena listrik diproduksi dari pembakaran bahan bakar karbon di Pusat Pembangkit Listrik. Untuk tipikal penggunaan listrik di Yogyakarta, berdasarkan hasil survei emisi CO<sub>2</sub> yang telah dilakukan, konsumsi listrik domestik digunakan untuk mengoperasikan alat-alat sebagai berikut : 1) Penerangan, rata-rata dalam satu rumah tangga di Yogyakarta memiliki 11

lampu yang berfungsi sebagai penerangan. Sayangnya, sebagian besar responden menyatakan bahwa lampu penerangan sering dioperasikan selama 24jam sehari yang berarti pemborosan dari konsumsi listrik dan peningkatan emisi CO<sub>2</sub> secara tidak langsung. 2) Televisi, 3) Komputer, 4) Setrika, 5) Water heater, 6) *Magic jar/rice cooker*, 7) Kulkas, 8) Pompa air, 9) Mesin cuci, 10) AC, 11) Kipas angin, 12) Laptop, 13) Blender, 14) Oven, 15) HP, 16) PS (Playstation), 17) Radio, 18) DVD player, 19) Mesin fotokopi.

Urutan tersebut disusun berdasarkan frekuensi penggunaan. Urutan teratas adalah alat-alat yang dimiliki oleh hampir seluruh rumah tangga dan lebih sering dioperasikan. Dari urutan tersebut terlihat bahwa komputer menempati prioritas ketiga. Berdasarkan hasil survei emisi CO<sub>2</sub>, dalam satu rumah tangga bisa terdapat lebih dari satu komputer yang sering digunakan secara bersamaan. Kondisi ini memungkinkan karena Yogyakarta merupakan kota pelajar dan banyak rumah yang berfungsi sebagai indekos. Penggunaan komputer sendiri membutuhkan tenaga listrik yang cukup besar sehingga berpengaruh dalam peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Selain komputer, penggunaan pompa air, mesin cuci, AC, dan oven juga membutuhkan tenaga listrik yang cukup besar.

Berdasarkan hasil survei kuesioner, diperoleh data bahwa rata-rata penggunaan listrik selama 1 bulan oleh satu rumah tangga di Yogyakarta adalah 753,61 kWh/bulan. Dengan menggunakan nilai konversi bahwa penggunaan 1 kWh listrik akan mengemisikan 0,8409 kg CO<sub>2</sub>, maka dapat diperoleh bahwa rata-rata emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari penggunaan atau konsumsi listrik di Yogyakarta adalah 633,71 kg CO<sub>2</sub>/bulan per rumah tangga.

Jika dilihat dari besaran rumah, berdasarkan hasil survei diperoleh bahwa rata-rata luas rumah adalah 124,89 m<sup>2</sup> dengan rata-rata tingkat hunian per rumah adalah 5,16 orang/rumah. Berdasarkan karakter konsumsi listrik tersebut, maka rata-rata 1 m<sup>2</sup> rumah di Yogyakarta akan mengkonsumsi listrik sebanyak 6 kWh/bulan. Tingkat konsumsi listrik tersebut dapat diartikan bahwa luasan 1 m<sup>2</sup> rumah di Yogyakarta berpotensi untuk mengemisikan CO<sub>2</sub> sebanyak 5,0454 kg CO<sub>2</sub>/bulan dari penggunaan listriknya. Besaran emisi CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> tersebut akan dapat menjadi lebih besar jika bangunan tersebut mengkonsumsi listrik lebih banyak melalui pemakaian alat listrik bertenaga besar seperti AC atau komputer. .

Dari data tersebut, diperoleh bahwa rata-rata total produksi CO<sub>2</sub> domestik adalah 679,46 kg CO<sub>2</sub> per bulan per rumah tangga. Total produksi CO<sub>2</sub> domestik tersebut merupakan jumlah produksi CO<sub>2</sub> dari penggunaan bahan bakar untuk memasak ditambah dengan produksi CO<sub>2</sub> dari penggunaan energi listrik.

Secara ringkas, karakteristik produksi CO<sub>2</sub> dari penggunaan energi domestik diuraikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. karakteristik produksi CO<sub>2</sub> dari penggunaan energi domestik

Keluaran Emisi	volume
Rata-rata emisi CO <sub>2</sub> dari bahan bakar memasak	48,528 kg CO <sub>2</sub> /bulan/ rumah tangga
Rata-rata emisi CO <sub>2</sub> dari konsumsi listrik	633,71 kg CO <sub>2</sub> /bulan/ rumah tangga
Rata-rata emisi CO <sub>2</sub> dari konsumsi listrik/1m <sup>2</sup>	5,0454 kg CO <sub>2</sub> /bulan/m <sup>2</sup>
Rata-rata emisi CO <sub>2</sub> dari penggunaan energi domestik	679,46 kg CO <sub>2</sub> /bulan/ rumah tangga

Penggunaan kendaraan bermotor akan secara langsung mengemisikan CO<sub>2</sub> sebagai gas buang. Banyak sedikitnya emisi CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor bergantung dari tipe kendaraan bermotor tersebut serta jarak yang ditempuh. Tipe kendaraan bermotor mempengaruhi nilai konversi emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Sepeda motor memiliki nilai konversi emisi CO<sub>2</sub> yang lebih kecil dibandingkan dengan mobil atau bus. Mobil diesel memiliki nilai konversi emisi CO<sub>2</sub> yang lebih kecil dibandingkan dengan mobil berbahan bakar bensin. Sementara bus memiliki nilai konversi emisi CO<sub>2</sub> yang relatif lebih besar dibanding mobil. Akan tetapi bus memiliki daya angkut yang lebih besar dibanding mobil, sehingga nilai konversi tersebut ditanggung secara kolektif oleh pengguna bus.

Selain tipe kendaraan, emisi CO<sub>2</sub> kendaraan bermotor juga dipengaruhi oleh jarak yang ditempuh. Semakin jauh jarak yang ditempuh maka semakin banyak bahan bakar yang digunakan dan semakin banyak pula emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Besaran nilai konversi emisi CO<sub>2</sub> per tipe kendaraan per jarak yang ditempuh mengacu pada standar yang dikeluarkan oleh DEFRA pada tahun 2008, yaitu *Guidelines to Defra's GHG Conversion Factors: Methodology Paper for Transport Emission Factors*.

Tabel 2. *Guidelines to Defra's GHG Conversion Factors: Methodology Paper for Transport Emission Factors*, oleh Defra (2008)

Vehicle type	g CO <sub>2</sub> per km	Vehicle type	g CO <sub>2</sub> per km
Petrol Car		Petrol Motorcycle	
small (< 1.4 liter)	180.9	small (up to 125 cc)	72.9
medium (1.4-2.0 liter)	213.9	medium (125-500 cc)	93.9
large (> 2.0 liter)	295.8	large (over 500 cc)	128.6
average petrol car	207	average petrol motorcycle	105.9
Diesel Car			
small (< 1.7 liter)	151.3		
medium (1.7-2.0 liter)	188.1		
large (> 2.0 liter)	258		
average diesel car	197.9		



Berdasarkan survei karakter produksi CO<sub>2</sub> yang telah dilakukan, diperoleh bahwa 35% (94 responden dari 269 responden) memiliki lebih dari satu tipe kendaraan. Responden tersebut umumnya memiliki sepeda motor yang digunakan untuk bepergian jarak dekat serta mobil untuk mobilitas dengan jarak yang lebih jauh. Bahkan ditemui responden yang memiliki 6 jenis kendaraan yang digunakan secara bergantian selama 1 bulan.

Tipe kendaraan yang paling banyak digunakan oleh responden adalah sepeda motor 125 – 500 cc. Untuk tipe mobil yang paling banyak digunakan oleh responden adalah mobil berbahan bakar bensin (*petrol car*) 1.400 - 2.000 cc. Selain menggunakan sepeda motor dan mobil, terdapat sebagian responden yang menggunakan bus dan taxi sebagai sarana mobilitas sehari-hari. Data penggunaan tipe kendaraan digambarkan dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 2. Data penggunaan tipe kendaraan

Tipe Kendaraan	Jumlah
Sepeda motor > 125 cc	95
Sepeda motor 125 - 500 cc	152
Sepeda motor > 500 cc	1
Petrol car < 1.400 cc	41
Petrol car 1.400 - 2.000 cc	53
Petrol car > 2.000 cc	14
Diesel car < 1.700 cc	3
Diesel car 1.700 - 2.000 cc	0
Diesel car > 2.000 cc	1
bus	13
taxi	1

Dengan karakter penggunaan tipe kendaraan tersebut, rata-rata responden menempuh jarak 539,43 km per bulan. Emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari penggunaan kendaraan bermotor selama satu bulan rata-rata adalah 64,22 kg CO<sub>2</sub> per orang.

### Pembahasan

Berdasarkan hasil survei mengenai produksi CO<sub>2</sub>, didapatkan bahwa kegiatan domestik (rumah tangga) membutuhkan energi listrik yang kemudian menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> secara tidak langsung sebesar 679,46 kg CO<sub>2</sub> per bulan per rumah tangga. Sebagai kompensasi terhadap besaran emisi CO<sub>2</sub> tidak langsung tersebut, diperlukan vegetasi yang memiliki kemampuan untuk menyerap CO<sub>2</sub> sebesar 679,46 kg CO<sub>2</sub>/bulan atau 8.153,52 kg CO<sub>2</sub>/tahun. Vegetasi penyerap CO<sub>2</sub> tersebut harus ditanam di masing-masing rumah tangga.

Bila dibandingkan dengan tabel serapan vegetasi CO<sub>2</sub> (Dahlan, 2008), angka tersebut cukup besar dan hanya dapat diserap oleh Trembesi. Sementara Trembesi sendiri merupakan vegetasi yang berukuran cukup besar untuk diterapkan pada satu rumah tangga.



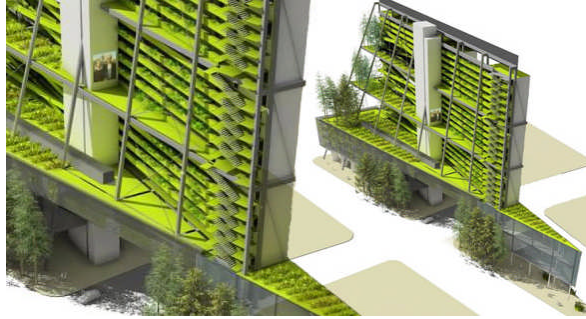
Pohon Trembesi (Sumber foto : <http://cetak.kompas.com/read/xml/2010/02/16/03152785/Trembesi.Tanaman..Asing>)

Untuk mengantisipasi keterbatasan ruang dalam penanaman vegetasi tersebut, rekayasa teknologi bangunan dan ilmu botani telah menemukan sebuah alternatif yang dikenal dengan *vertical planting*. Penerapan konsep vertical planting walaupun tidak menyerap seluruh emisi CO<sub>2</sub> domestik, namun dapat bersifat mereduksi emisi CO<sub>2</sub>. Dalam konsep ini, emisi CO<sub>2</sub> akan naik ke lapisan udara atas yang akan diserap oleh tanaman yang ada pada setiap lantai gedung bertingkat. Jenis tanaman yang ditanam pada gedung tinggi adalah jenis semak yang tahan terpaan angin keras pada ketinggian tertentu, tahan panas, memerlukan sedikit air dan banyak daun untuk dapat meningkatkan daya serap terhadap CO<sub>2</sub> (Kwanda, 2003).

Terdapat tiga konsep penghijauan vertikal yang dapat diterapkan pada bangunan tinggi, yaitu sebagai berikut :

a. Penghijauan pada dinding luar bangunan

Penghijauan pada dinding luar bangunan biasanya dilakukan dengan menyediakan balkon untuk ditanami perdu atau bunga-bunga. Jenis tanaman dipilih berdasarkan keindahan bunga, tipe menjuntai atau merambat, serta perakaran tidak merusak struktur bangunan, contohnya *Bougenville*, *Scindapsus aureus*, dan *Passiflora violace*.



Ilustrasi penghijauan di pada dinding bangunan  
(Sumber : <http://www.gliving.com>)

- b. Penghijauan pada lantai tingkat-tingkat tertentu di atas bangunan  
Penghijauan pada bagian ini harus memperhatikan elemen iklim, seperti menahan hujan tetapi memasukkan cahaya dan angin.



Penanaman vegetasi di atap bangunan

- c. Penghijauan pada ruang publik (atrium) bangunan  
Vegetasi ditanam di bagian dalam bangunan dan menjadi bagian dari interior bangunan. Umumnya diletakkan di ruang yang dapat diakses publik, seperti lobi utama .

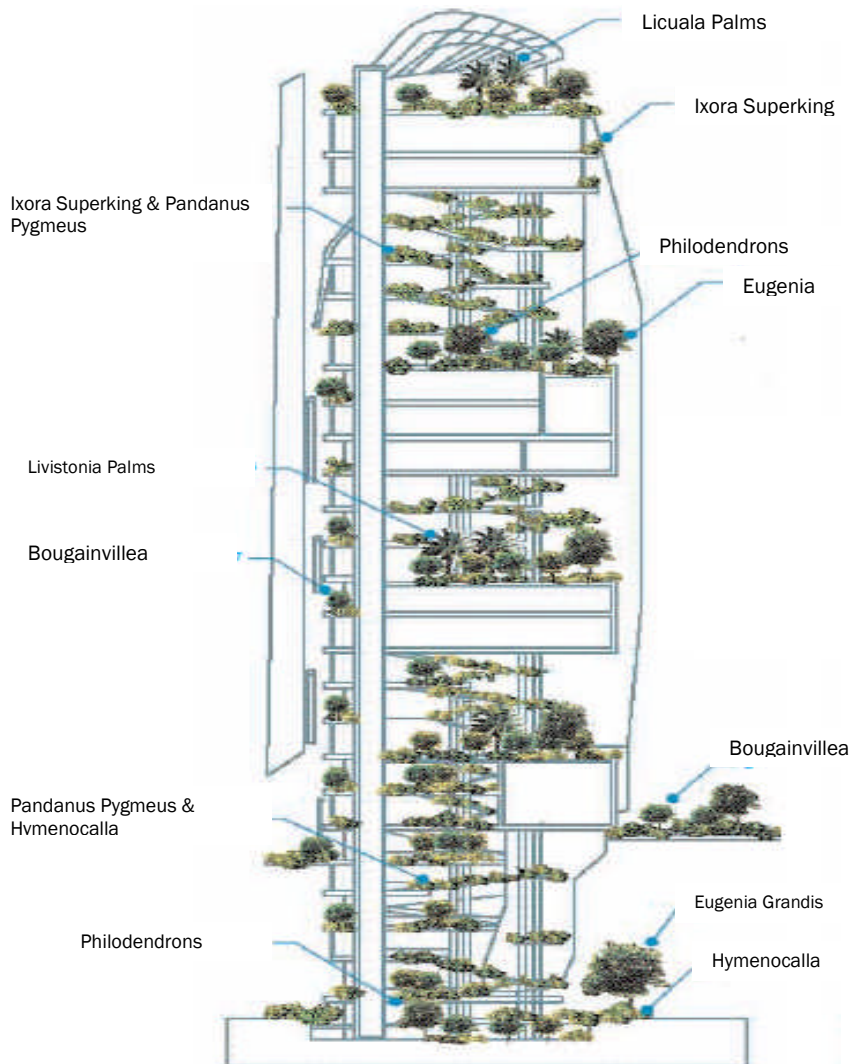


Kiri : Vegetasi sebagai interior hotel (<http://www.marriott.com>) dan kanan : pemanfaatan taman di stasiun KA Madrid (<http://flickr.com>)

Yeang (1994) mengembangkan suatu konsep penanaman vegetasi secara vertikal. Vegetasi tersebut dapat ditanam di beberapa bagian bangunan tanpa merusak struktur ataupun segi estetika dari bangunan tersebut. Berikut adalah skema vertical planting yang diterapkan T.R. Hamzah dan Yeang (1994) di EDITT Tower, Singapura :

Sementara untuk produksi CO<sub>2</sub> yang bersumber dari penggunaan kendaraan bermotor lebih kecil dibandingkan produksi CO<sub>2</sub> dari kegiatan domestik, yaitu 64,22 kg CO<sub>2</sub>/orang/bulan atau 770,64 kg CO<sub>2</sub>/orang/tahun. Angka tersebut cukup besar karena hanya berupa emisi yang dikeluarkan oleh satu orang saja. Pada kenyataannya, dalam satu hari terdapat ratusan ribu orang yang menggunakan kendaraan bermotor.

Bila dibandingkan dengan serapan CO<sub>2</sub> oleh vegetasi, seharusnya tiap-tiap individu yang menggunakan kendaraan bermotor bertanggungjawab terhadap pemeliharaan sejumlah vegetasi yang dapat menyerap emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkannya. Beberapa teknik rekayasa pertamanan seperti penanaman vegetasi di pinggir jalan akan dapat membantu mereduksi emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan kendaraan bermotor.

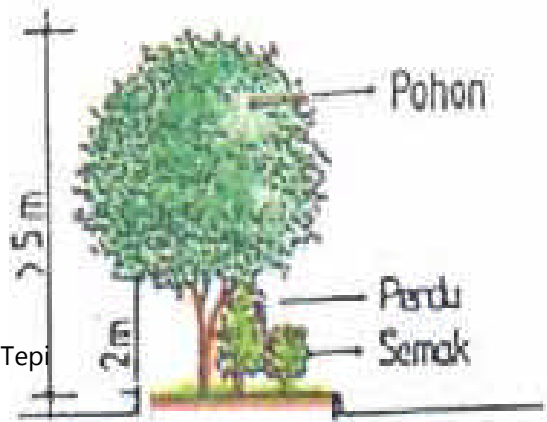


Penanaman vegetasi untuk mereduksi emisi CO<sub>2</sub> yang bersumber dari jalan dapat dilakukan dalam bentuk penanaman di median jalan, tepi jalan, dan pembuatan taman di persimpangan. Vegetasi yang digunakan dalam konteks ini harus memenuhi sejumlah persyaratan (Ditjen Bina Marga, 1991), antara lain :

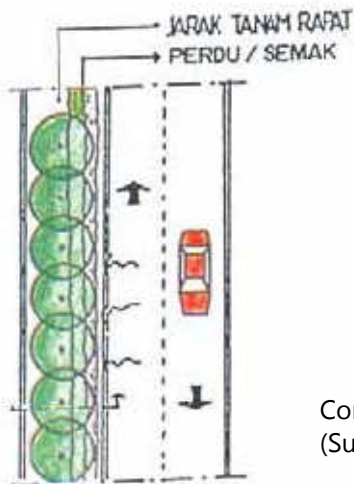
- a. Terdiri dari pohon, perdu/semak
- b. Memiliki ketahanan tinggi terhadap pengaruh udara

- c. Jarak tanam rapat
- d. Bermassa daun padat

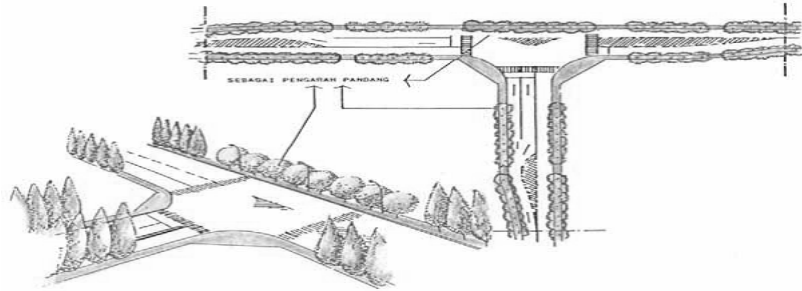
Contoh tanaman yang dianjurkan pada tepi jalan antara lain Angsana (*Pterocarpus indicus*), Akasia daun besar (*Accasia mangium*), Oleander (*Nerium oleander*), Bogenvil (*Bougenvillea Sp*), dan Teh-tehan pangkas (*Acalypha sp*).



Contoh Penanaman Vegetasi Pada Tepi Jalan. (Sumber : Ditjen Bina Marga, 1996)



Contoh Penanaman Vegetasi di Persimpangan (Sumber : Ditjen Bina Marga, 1996)

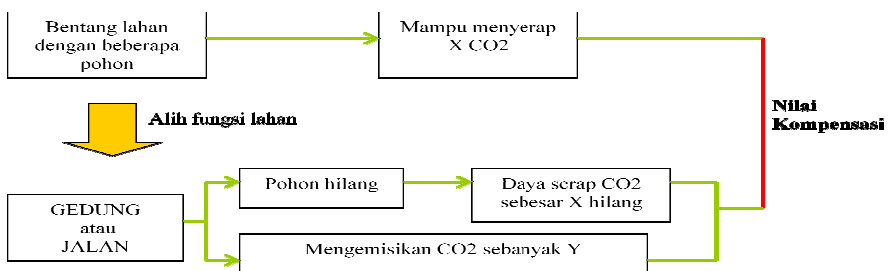


Untuk mengantisipasi emisi CO<sub>2</sub> yang diakibatkan oleh kegiatan domestik dan penggunaan kendaraan bermotor, dibutuhkan mekanisme keseimbangan antara produksi CO<sub>2</sub> dan serapan CO<sub>2</sub>. Serapan CO<sub>2</sub> dapat dilakukan dengan memanfaatkan kemampuan vegetasi berfotosintesis. Dalam skala makro, mekanisme keseimbangan tersebut telah mulai diterapkan dengan menggunakan skema perdagangan karbon.

Dalam skala mikro, mekanisme keseimbangan tersebut dapat dilakukan dengan menyusun skema kompensasi CO<sub>2</sub> untuk setiap pembangunan infrastruktur, baik berupa infrastruktur bangunan gedung maupun infrastruktur jalan.

Dalam proses pembangunan gedung, terlebih dahulu perlu diperhitungkan berapa vegetasi yang dihilangkan. Nilai vegetasi yang hilang tersebut ditambahkan dengan nilai vegetasi yang diperlukan untuk menyerap emisi CO<sub>2</sub> akibat kegiatan domestik. Bentuk kompensasi tersebut adalah dengan menanam vegetasi dengan jumlah yang sama di lokasi yang sama atau berbeda.

Sementara dalam proses pembangunan jalan, terlebih dahulu juga diperhitungkan berapa vegetasi yang dihilangkan. Nilai vegetasi yang hilang tersebut ditambahkan dengan nilai vegetasi yang diperlukan untuk menyerap emisi CO<sub>2</sub> akibat kendaraan bermotor yang melintas di jalan tersebut. Bentuk kompensasi tersebut adalah dengan menanam vegetasi dengan jumlah yang sama di lokasi yang sama atau berbeda. Konsep kompensasi tersebut secara skematis digambarkan sebagai berikut :



## Kesimpulan

Tingkat produksi CO<sub>2</sub> baik yang disebabkan oleh aktivitas domestik ataupun penggunaan kendaraan bermotor telah mencapai taraf yang cukup tinggi. Kondisi tersebut perlu ditangani dengan mengembalikan keseimbangan konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara. Mekanisme yang paling baik dan adaptif untuk mewujudkan keseimbangan CO<sub>2</sub> tersebut adalah dengan memanfaatkan kemampuan vegetasi untuk menyerap CO<sub>2</sub> atau mereduksi gas rumah kaca.

Dalam konteks pengelolaan vegetasi sebagai pereduksi konsentrasi gas rumah kaca, maka prinsip-prinsip pengelolaan tersebut dapat diadaptasi sebagai berikut :

1. Produktivitas vegetasi dalam menyerap CO<sub>2</sub> harus terus dijaga. Hal ini berarti bahwa diupayakan seminimal mungkin untuk menebang pohon, yang berarti menghilangkan kemampuan serap vegetasi
2. Proses pembangunan jalan dan gedung harus memperhatikan kelestarian atau *sustainability*
3. Vegetasi dan udara bersih (udara di mana konsentrasi CO<sub>2</sub> berada dalam batas normal) dianggap sebagai asset pembangunan sehingga harus dipertahankan
4. Manfaat yang diperoleh dari pemanfaatan vegetasi sebagai pereduksi karbon dioksida digunakan sebagai investasi pembangunan pada jangka panjang. Jika fenomena peningkatan karbon dioksida terus berjalan, maka suhu bumi akan terus meningkat dan menjadi tidak nyaman untuk ditinggali.

Pada akhirnya, pengelolaan vegetasi sebagai penyerap gas CO<sub>2</sub> tidak akan berjalan efektif jika individu sebagai penghasil CO<sub>2</sub> tidak memiliki kesadaran lingkungan. Konsep penghijauan di tepi jalan, *vertical planting*, serta perdagangan karbon merupakan sebuah mekanisme untuk mencegah terjadinya kenaikan konsentrasi karbon dioksida pada taraf yang lebih parah. Sebaiknya, mekanisme tersebut jangan disertai dengan pemikiran "saya sudah membayar (mengkompensasi) emisi gas CO<sub>2</sub>, jadi saya bebas untuk mengemisikan CO<sub>2</sub> lagi".

## Saran

Mengingat tingginya manfaat pepohonan untuk menyerap CO<sub>2</sub>, maka disarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Perlunya penerapan regulasi tentang penebangan pohon, sehingga penebangan pohon harus melalui mekanisme perizinan yang jelas
2. Perlunya sosialisasi melalui pertemuan di tingkat kampung, RT, RW bahwa penebangan pohon berarti penghilangan kemampuan daya serap CO<sub>2</sub>
3. Perlunya sosialisasi dan membiasakan di dalam rumah tangga melalui pertemuan di tingkat kampung, RT, RW bahwa hemat penggunaan energi listrik berarti pengurangan emisi CO<sub>2</sub>



4. Perlunya sosialisasi bahwa penebangan pohon hendaknya menggunakan perencanaan yang matang, sehingga dapat disiapkan penggantinya (pohon yang perlu ditanam) terlebih dahulu
5. Perlunya pemberian hadiah bagi rumah tangga yang paling kecil penggunaan energi listriknya diukur dari biaya listrik bulanan dalam setahun dan paling besar tanaman yang mampu menyerap CO<sub>2</sub>nya

### **Ucapan Terima Kasih**

Demikian artikel penelitian ilmiah ini saya susun dan perkenankan pada kesempatan ini saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu saya selama ini.

Saya ucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional yang telah memberi kepercayaan dan kesempatan kepada saya untuk melakukan penelitian menggunakan dana hibah disertasi doktor.

Ucapan terima kasih saya sampaikan pula kepada Direktur Sekolah Pascasarjana UGM, Ketua LPPM UGM, dan khususnya Prof. Dr. Totok Gunawan, M.S., yang telah bersedia menjadi promotor. Ucapan terima kasih saya sampaikan pula kepada asisten dan mahasiswa yang telah banyak membantu dalam penelitian ini, serta berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

### **Daftar Pustaka**

- American Society of Mechanical Engineers (ASME), (2009). "Technology and Policy Recommendations and Goals for Reducing Carbon Dioxide Emissions in The Energy Sector"
- Bala, Govindasamy, Caldeira, K., Wickett, M., Philips, T.J., Delire, C., dan Mirin, A., (2007). "Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation", PNAS, vol. 104 no.16, didownload dari [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0608998104](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0608998104)
- Ditjen Bina Marga (1991). "Spesifikasi Tanaman lansekap Jalan No. 09/5/BNKT/1991"
- Ditjen Bina Marga, (1996). "Tata Cara Pelaksanaan Teknik Lansekap Jalan no. 033/T/BM/1996"
- Heriansyah, Ika. (2005). "Potensi Hutan Tanaman Industri Dalam Mensequester Karbon : Studi Kasus di Hutan Tanaman Akasia dan Pinus", *Inovasi Online*, Vol. 3/XVII/Maret 2005
- <http://cetak.kompas.com/read/xml/2010/02/16/03152785/Trembesi.Tanaman..Asing>, diakses pada 16 Februari 2010
- <http://flickr.com>, diakses pada 14 September 2009
- <http://oica.net/wp-content/themes/default/scripts/view-diagram->

- [larger.php?/wp-content/uploads/co2.bmp](#), diakses pada 22 Maret 2010 pukul 08.41
- <http://www.marriott.com>, diakses pada 14 September 2009
- 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, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Keeling, C.D., dkk (2001). "Exchanges of atmospheric CO<sub>2</sub> and <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000. I. Global aspects, SIO Reference Series, No. 01-06", Scripps Institution of Oceanography, San Diego
- Kwanda, Timoticin (2003). "Pembangunan Permukiman Yang Berkelanjutan Untuk Mengurangi Polusi Udara", *Dimensi Teknik Arsitektur*, Vol. 31, No. 1, Juli 2003
- Lackner, et.al (1999). "Carbon Dioxide Extraction From Air : Is It An Option?" paper dalam 24<sup>th</sup> Annual Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, March 8-11, 1999, Clearwater, Florida
- Liu, Chung-Ming, dkk (2007). "Estimation of Carbon dioxide Sequestration by Forestation", *Global Change and Sustainable Development*, Vol. 1, No. 2, July 2007
- Liu, Guoliang dan Han, Shijie (2009). "Long-Term Forest Management And Timely Transfer Of Carbon Into Wood Products Help Reduce Atmospheric Carbon", *Ecological Modelling*, Vol.220 (2009), hlm.1719-1723
- S. Slamet, Lilik .(tidak ada tahun). "Skenario Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia" Prosiding Seminar Nasional Pemanasan Global dan Perubahan Global – Fakta, Mitigasi, dan Adaptasi
- T R Hamzah & Yeang Sdn Bhd (1994). "EDITT Tower Singapore : Scraping the Green Sky" review by Lindsay Johnston
- Trubus (2008). "Para Jagoan Serap Karbon Dioksida", artikel dalam Majalah Trubus, no. 459 edisi Februari 2008