

# KONSENTRASI CO<sub>2</sub> PERMUKAAN SEBAGAI FUNGSI RADIASI MATAHARI DI BANDUNG

## *SURFACE CO<sub>2</sub> CONCENTRATION AS FUNCTION OF SOLAR RADIATION IN BANDUNG*

Sumaryati dan Ginaldi Ari Nugroho

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Jl Dr Djundjuman  
No 133 Bandung 40173

Pos-el: [sumary.bdg@gmail.com](mailto:sumary.bdg@gmail.com) [sumaryati@lapan.go.id](mailto:sumaryati@lapan.go.id)

### ABSTRACT

*Photosynthesis is a chemical reaction that absorb CO<sub>2</sub> from the atmosphere emitted by respiration and combustion of the fuel. The photosynthesis reaction uses solar radiation energy. Therefore, there is a correlation between solar radiation and CO<sub>2</sub> absorption in the atmosphere, that can be detected in CO<sub>2</sub> concentrations change in the atmosphere. This paper studies how the correlation between CO<sub>2</sub> concentration and solar radiation in Bandung. The data used in this paper is CO<sub>2</sub> surface concentration that the instrument is developed LAPAN CO<sub>2</sub> and global radiation data using automatic weather station (AWS). The results show that differences between maximum concentration that occurred closed the early morning and minimum concentration that occurred in mid day is about 17% of the daily average concentrations. Effective process of photosynthesis reaction occurs in the morning until noon that showed  $dc/dt < 0$ . During the observation period, the CO<sub>2</sub> daily concentration has not seen a yearly specific pattern, because of daily radiation energy.*

*Keywords: CO<sub>2</sub>, photosynthesis, respiration, solar radiation*

### ABSTRAK

Fotosintesa merupakan reaksi kimia yang mampu menyerap CO<sub>2</sub> dari atmosfer yang dihasilkan oleh respirasi dan pembakaran bahan bakar. Reaksi fotosintesa dalam prosesnya menggunakan energi radiasi matahari. Oleh karena itu ada keterkaitan antara radiasi matahari dengan hasil penyerapan CO<sub>2</sub> di atmosfer, yang dapat dilihat pada perubahan konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara ambien. Makalah ini mengkaji bagaimana keterkaitan konsentrasi CO<sub>2</sub> dengan intensitas radiasi matahari di Bandung. Data yang digunakan adalah data pengamatan CO<sub>2</sub> permukaan yang dikembangkan LAPAN dan data radiasi global dengan *Automatic Weather Station* (AWS). Hasilnya menunjukkan perbedaan konsentrasi maksimum yang terjadi menjelang pagi hari dan konsentrasi minimum pada siang hari sekitar 17 % dari konsentrasi rata-rata harian. Proses fotosintesa sangat efektif terjadi pada pagi hari sampai siang hari dengan ditandai  $dc/dt < 0$ . Selama periode pengamatan, konsentrasi CO<sub>2</sub> harian belum terlihat membentuk pola tahunan tertentu, karena energi radiasi harian dalam setahun juga demikian.

Kata kunci: CO<sub>2</sub>, fotosintesa, respirasi, radiasi matahari

### PENDAHULUAN

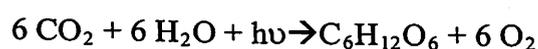
Gas CO<sub>2</sub> merupakan gas rumah kaca yang tidak termasuk dalam polutan karena efek toksiknya rendah.<sup>1</sup> Meskipun efek rumah kaca paling kecil di antara gas rumah kaca lain, tetapi kontribusi dalam pemanasan global di atmosfer paling besar karena kelimpahannya yang sangat besar di atmosfer. Pembahasan gas rumah kaca difokuskan pada gas CO<sub>2</sub> yang karena cenderung naik.

Gas CO<sub>2</sub> dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar dan pernafasan, serta oksidasi gas CO dan hidrokarbon di troposfer. Sumber CO<sub>2</sub> dari pernafasan berasal dari semua makhluk hidup, baik manusia, hewan, dan tumbuhan yang

dilakukan sepanjang waktu. Penyerapan gas CO<sub>2</sub> dapat terjadi di atmosfer melalui reaksi fotosintesa tumbuhan berkhlorofil, melalui difusi dalam air laut, pencucian oleh air hujan, dan reaksi kimia dengan CaSiO<sub>3</sub> di permukaan tanah.<sup>2</sup> Dari berbagai proses tersebut yang paling dominan dalam siklus CO<sub>2</sub> adalah proses reaksi fotosintesa dan pembakaran bahan bakar serta pernafasan.

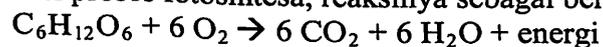
Laju proses fotosintesa tumbuhan-tumbuhan hijau ditentukan oleh faktor internal tumbuhan dan eksternal. Faktor internal tumbuhan meliputi jenis dan kondisi fisiologis tumbuhan. Berdasarkan tipe fotosintesa, tanaman dibagi menjadi tiga, yaitu C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, dan CAM.<sup>3</sup> Kondisi tumbuhan (sehat atau berpenyakit) dan umur

tumbuhan (tunas atau tua) juga memiliki kemampuan berfotosintesa yang berbeda. Banyak faktor yang mempengaruhi laju proses fotosintesa, seperti ketersediaan bahan nutrisi fotosintesa terutama air, serangan hama penyakit, dan radiasi matahari sebagai energi untuk berlangsungnya proses fotosintesa. Reaksi fotosintesa yang menyerap CO<sub>2</sub> di atmosfer dapat terjadi jika ada radiasi matahari. Tidak semua spektrum radiasi dibutuhkan dalam proses fotosintesa. Spektrum radiasi yang sesuai untuk kebutuhan fotosintesa disebut *photosynthetically active radiation* (PAR) berada pada rentang panjang gelombang antara 400 – 700 nm, yang mana rentang panjang gelombang itu masuk dalam spektrum cahaya tampak. Reaksi fotosintesa dituliskan sebagai berikut :<sup>4</sup>



$h\nu$  adalah energi radiasi matahari.

Selain fotosintesa, tumbuhan dan juga makhluk hidup lainnya melakukan proses pernafasan, yang mana dalam proses pernafasan ini ada bagian yang membakar karbohidrat. Pembakaran karbohidrat ini bertujuan untuk mendapatkan energi, yang merupakan kebalikan dari proses fotosintesa, reaksinya sebagai berikut.



Selisih antara CO<sub>2</sub> yang diserap oleh tumbuhan melalui proses fotosintesa dengan CO<sub>2</sub> yang diemisikan melalui proses respirasi yang tersimpan pada pertumbuhan tanaman itu sendiri, bisa berupa akar, batang, dedaunan maupun hasil panen dari tanaman seperti buah dan biji-bijian. Oleh karena itu hasil panen juga dipengaruhi oleh radiasi matahari yang merupakan energi fotosintesa.<sup>5</sup> Simpanan CO<sub>2</sub> dalam tanaman ini merupakan CO<sub>2</sub> yang diemisikan oleh pembakaran bahan bakar, terutama bahan bakar fosil dan gas.

CO<sub>2</sub> juga dihasilkan dari oksidasi CO di atmosfer, melalui rangkaian reaksi yang panjang. Pada proses oksidasi ini juga melibatkan energi radiasi matahari. Jika kondisi troposfer kotor oksidasi CO menjadi CO<sub>2</sub> menyerap oksigen dan menghasilkan ozon, dan sebaliknya jika kondisi troposfer bersih oksidasi mengurangi ozon dan menghasilkan oksigen.<sup>6</sup> Kontribusi ini sangat kecil karena orde CO hanya sekitar 1 ppm, sedangkan CO<sub>2</sub> sekitar 400 ppm.

Radiasi matahari sebagai energi proses fotosintesa dan oksidasi CO di atmosfer, intensitasnya tergantung waktu dan lokasi. Secara temporal, intensitas radiasi matahari memiliki siklus harian dan tahunan. Oleh karena itu

kecepatan reaksi fotosintesa tidak konstan, tetapi memiliki siklus baik harian maupun tahunan. Menurut beberapa penelitian CO<sub>2</sub> di lintang tinggi memiliki siklus harian dan tahunan, dengan konsentrasi maksimum harian terjadi pada pagi hari dan tahunan pada musim dingin menuju musim semi, sedangkan minimum harian terjadi pada siang hari dan minimum tahunan terjadi pada musim panas.<sup>7,8,9</sup> Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh intensitas radiasi matahari sebagai energi fotosintesa terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> di Bandung sebagai daerah lintang rendah yang tidak memiliki empat musim.

## METODOLOGI

Konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer dipengaruhi oleh radiasi matahari sebagai energi untuk reaksi fotosintesa yang menyerap CO<sub>2</sub> dari atmosfer. Oleh karena itu konsentrasi CO<sub>2</sub> sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari, yang mana ketika intensitas radiasi tinggi CO<sub>2</sub> menurun karena terjadi proses fotosintesa. Pengamatan CO<sub>2</sub> di Mauna Loa menunjukkan konsentrasi rendah terjadi setelah musim panas<sup>9</sup> sedangkan secara harian konsentrasi rendah terjadi pada siang hari.<sup>8</sup>

Pengaruh radiasi matahari terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> di Bandung digunakan data yang digunakan adalah data konsentrasi CO<sub>2</sub> permukaan per menit dan per lima menit di Bandung (6°54' LS; 107°35' BT) tahun 2009 – 2014. Pola harian CO<sub>2</sub> dirata-ratakan konsentrasi CO<sub>2</sub> pada jam yang sama. Pola tahunan dibuat rata-rata harian pada hari yang sama. Rata-rata harian merupakan rata-rata dalam pengamatan selama satu hari yang datanya dengan kekosongan data kurang dari 20 %. Pola CO<sub>2</sub> dikaji berdasarkan pola radiasi matahari harian dan tahunan yang diukur di Bandung dengan menggunakan *Automatic Weather Station* (AWS). Panjang siang sebagai waktu proses fotosintesa diperhitungkan berdasarkan posisi lintang di Bandung sepanjang tahun dengan persamaan berikut:

$$\cos(\theta) = \sin(\delta) \sin(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(\omega) \quad (1)$$

dengan  $\theta$  adalah sudut zenith matahari yaitu sudut antara garis vertikal dan arah datangnya sinar matahari,  $\delta$  adalah sudut deklinasi matahari yaitu pergeseran posisi gerak semu matahari mengelilingi bumi dari katulistiwa,  $\phi$  adalah derajat lintang posisi Bandung (6°54' LS = -6,9

°) dan  $\omega$  adalah sudut jam matahari yang mana  $15^\circ$  setara dengan satu jam dan dengan acuan pada jam 12.00 waktu matahari sama dengan  $0^\circ$ .

Sudut deklinasi ( $\delta$ ) dirumuskan berikut:

$$\delta = 23,45 \sin \left( \frac{284 + N}{365} \right) \quad (2)$$

Jika  $\cos$  sudut  $\theta$  sama dengan nol maka sudut  $\theta$  bernilai  $90^\circ$  atau  $-90^\circ$  berarti posisi matahari terbit atau terbenam. Untuk  $\cos$  sudut  $\theta = 0$ , maka persamaan (1) bisa dituliskan berikut

$$\begin{aligned} \cos(\omega_{\cos(\theta)=0}) &= -\frac{\sin(\delta) \sin(\phi)}{\cos(\delta) \cos(\phi)} \\ &= -\text{tg}(\delta) \text{tg}(\phi) \end{aligned} \quad (3)$$

Lama siang hari suatu lokasi berarti dua kali persamaan (3) di atas dengan mengkonversi sudut jam matahari, dengan persamaan berikut ini:

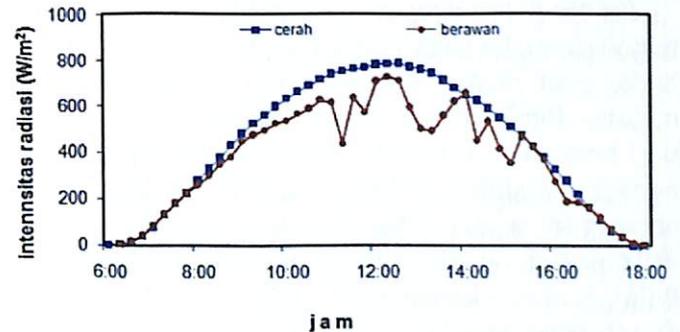
$$\text{lama siang (derajat)} = 2 \cos(\omega_{\cos(\theta)=0}) \quad (4)$$

$$\text{lama siang (menit)} = 15 \text{ menit} \times 2 \cos(\omega_{\cos(\theta)=0}) \quad (5)$$

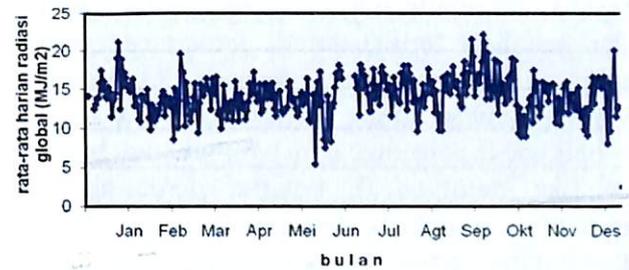
Pada kajian ini diasumsikan bahwa emisi  $\text{CO}_2$  dari pembakaran bahan bakar fosil konstan serta oksidasi CO ke  $\text{CO}_2$  sangat kecil sehingga tidak berpengaruh dalam dinamika perubahan konsentrasi  $\text{CO}_2$  di atmosfer.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Radiasi matahari sebagai energi proses fotosintesa memiliki siklus harian dan tahunan. Siklus radiasi matahari global harian memiliki pola seperti setengah sinusoida, tetapi kondisi ini sangat jarang dijumpai di Bandung. Hampir setiap hari sinar matahari terhalang awan, sehingga intensitas radiasi global polanya menjadi tidak beraturan (Gambar 1a). Rata-rata harian radiasi global matahari dalam tanggal yang sama dalam satu tahun tidak memiliki pola yang mengikuti jarak matahari bumi maupun sudut deklinasi matahari karena pada saat potensi intensitas radiasi global tinggi Bandung sedang musim hujan yang relatif banyak awan.<sup>10</sup> Rata-rata harian radiasi global di Bandung disajikan dalam Gambar 1b.



(a)

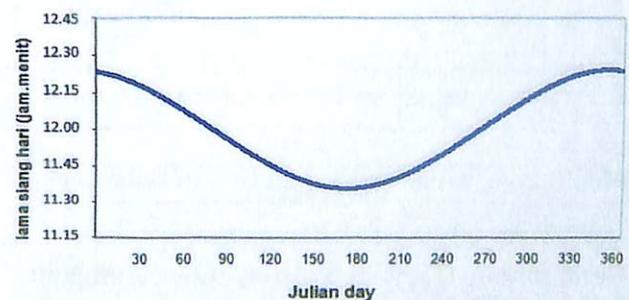


(b)

Gambar 1 Radiasi matahari di Bandung dalam pola harian (a) dan tahunan (b)

Berlangsungnya proses fotosintesa harus ada radiasi matahari, yang berarti proses berlangsungnya fotosintesa dipengaruhi oleh panjang siang hari. Perhitungan potensi lama siang hari di Bandung disajikan pada Gambar 4.2. Lama siang hari di daerah lintang rendah seperti Bandung dengan posisi lintang  $6^\circ 54'$  LS sekitar 12 jam, paling lama hanya 12 jam 24 menit dan paling pendek 11 jam 36 menit. Hal itu berbeda dengan dilintang tinggi yang siangnya dapat sepanjang hari ataupun malam sepanjang hari.

Tidak semua radiasi matahari tersebut digunakan dalam fotosintesa, hanya yang termasuk dalam spektrum cahaya tampak yang disebut *photosynthetically active radiation* (PAR) sebagaimana dijelaskan di atas yang digunakan dalam fotosintesa. Perbandingan nilai PAR terhadap radiasi global ini besarnya tidak tetap, tetapi tergantung posisi lintang yang mana semakin dekat ekuator nilai perbandingan nilai PAR terhadap radiasi global semakin besar.<sup>11</sup>

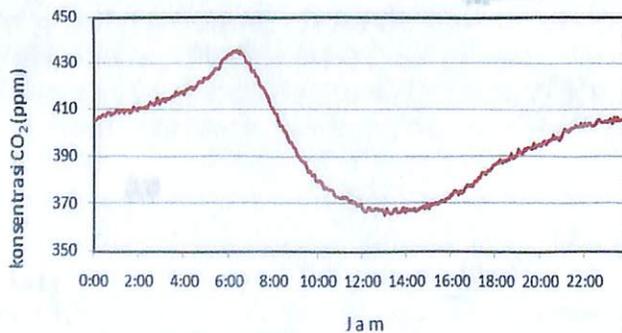


Gambar 2 Potensi lama siang hari di Bandung

Proses fotosintesa menggunakan energi matahari, maka hanya terjadi pada siang hari saja. Sedangkan respirasi terjadi baik siang maupun malam. Berdasarkan asumsi bahwa emisi CO<sub>2</sub> dari pembakaran bahan bakar konstan sepanjang hari dan oksidasi CO menjadi CO<sub>2</sub> di troposfer berkontribusi sangat kecil, maka pola harian CO<sub>2</sub> di troposfer ini ditentukan oleh laju fotosintesa. Pola harian konsentrasi CO<sub>2</sub> di Bandung ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang tinggi pada pagi hari merupakan akumulasi emisi pada malam hari. Ketika matahari terbit, terjadi fotosintesa yang menyerap CO<sub>2</sub> tersebut. Penyerapan CO<sub>2</sub> karena proses fotosintesa lebih besar dari pada emisi CO<sub>2</sub> baik oleh respirasi dan pembakaran bahan bakar jika  $dc/dt < 0$ , dengan  $dc/dt$  adalah penurunan konsentrasi terhadap waktu. Nilai  $dc/dt < 0$  terjadi pada pagi hari sampai siang hari, yang berarti laju proses fotosintesa pada saat ini terjadi sangat tinggi sehingga mampu menyerap CO<sub>2</sub> di atmosfer yang diemisikan dari pembakaran bahan bakar. Meskipun sore intensitas radiasi masih tinggi, tetapi  $dc/dt > 0$ , yang berarti fotosintesa tidak lagi mampu mengimbangi emisi CO<sub>2</sub> dari pembakaran bahan bakar.

Antara CO<sub>2</sub> di atmosfer dengan laju fotosintesa terjadi keseimbangan. Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang tinggi di atmosfer menunjukkan laju fotosintesa yang cepat, yang dampaknya telah diamati Gray, *et al.* (2014) dengan kenaikan produktifitas hasil pertanian.<sup>14</sup> Ketika konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer tinggi laju fotosintesa berlangsung cepat, sehingga CO<sub>2</sub> di atmosfer cepat menurun sebagaimana terjadi pada pagi hari.<sup>12</sup> Ketika CO<sub>2</sub> rendah laju fotosintesa pun melambat sehingga penyerapan CO<sub>2</sub> dari fotosintesa tidak mampu mengimbangi dari emisinya yang terjadi pada sore hari.

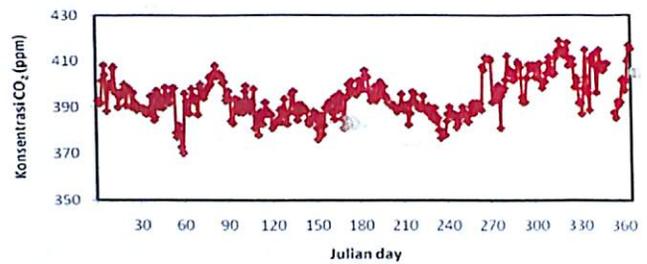


Gambar 3 Pola harian konsentrasi CO<sub>2</sub> di Bandung

Berdasarkan Gambar 3 dapat diperhitungkan perbedaan nilai maksimum dan minimum konsentrasi CO<sub>2</sub> di Bandung yaitu nilainya

sekitar 17 % dari rata-rata konsentrasi harian. Perbedaan antara konsentrasi maksimum dan minimum karena pada malam hari tidak ada proses fotosintesa dan kejadian inversi yang kuat di Bandung. Kuatnya inversi di Bandung pada malam hari menyebabkan CO<sub>2</sub> yang diemisikan pada malam cenderung mengendap di permukaan.<sup>13</sup>

Perbedaan nilai maksimum dan minimum konsentrasi CO<sub>2</sub> di Bandung ini masih rendah dibanding di daerah rural yang mencapai 20 %.<sup>14</sup> Perbedaan yang kecil ini karena daerah rural lahan hijau masih luas dengan banyak pepohonan, sedangkan di Bandung merupakan daerah perkotaan yang mana lahan hijau sudah sangat sedikit. Oleh karena itu proses fotosintesa yang menyerap CO<sub>2</sub> dari atmosfer sekitar lokasi pengamatan di Bandung relatif kecil.



Gambar 4 Rata-rata konsentrasi CO<sub>2</sub> harian di Bandung

Rata-rata harian CO<sub>2</sub> untuk tanggal yang sama ditunjukkan pada Gambar 4.4. Variasi CO<sub>2</sub> tahunan di Bandung tidak nampak membentuk pola tahunan yang mengikuti posisi matahari yang terukur dari jarak posisi matahari bumi dan sudut deklinasi matahari, sebagaimana terlihat pada pola CO<sub>2</sub> di daerah lintang tinggi.<sup>7,8</sup> Salah satu penyebabnya adalah pola radiasi matahari tahunan di Bandung juga tidak membentuk pola yang mengindikasikan posisi matahari. Kondisi ini dikarenakan posisi Bandung pada lintang 6°54' yang menyebabkan durasi siang hari sepanjang tahun hampir sama dan potensi awan lebih besar yang selalu menghalangi sinar matahari ketika potensi radiasi matahari tinggi.

### KESIMPULAN

Pola harian CO<sub>2</sub> maksimum pada pagi hari menjelang matahari terbit dan minimum pada siang hari setelah matahari melewati titik kulminasi. Perbedaan antara konsentrasi maksimum dan minimum di Bandung sebagai daerah urban sekitar 17% lebih rendah dari pada daerah rural yang mencapai 20 %. Laju fotosintesa sangat cepat terjadi dari matahari

terbit sampai matahari melewati titik kulminasi. Lama siang yang hampir sama sepanjang tahun, adanya penutupan awan diduga faktor yang menyebabkan CO<sub>2</sub> harian sepanjang tahun tidak membentuk pola yang spesifik, sebagaimana terjadi di lintang tinggi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Chunaeni L dan Bapak Asif yang telah mengembangkan sistem pemantau CO<sub>2</sub> di PSTA – LAPAN.

#### DAFTAR PUSTAKA

- <sup>1</sup>Langford dan J. Nigel, 2005. *Toxicological Reviews*, 24 (4), 2005, pp. 229-235).
- <sup>2</sup>Nio Son, 2012. *Evolusi Fotosintesis pada Tumbuhan*. Jurnal Ilmiah Sains, Vol 12, No 1
- <sup>3</sup>Weise S.E., K. J. van Wijk dan T. D. Sharkey, 2011. *The role of transitory starch in C3, CAM, and C4 metabolism and opportunities for engineering leaf starch accumulation* Journal of Experimental Botany, Vol. 62, No. 9, , doi:10.1093/jxb/err035 pp. 3109–3118
- <sup>4</sup>Mõttus M., M. Sulev, F. Baret, R. Lopez-Lozano, A. Reinart, 2012. Photosynthetically Active Radiation: Measurement and Modeling Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. Dalam R. Mayers (Ed). *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*:7902-7932 Springer
- <sup>5</sup>Klaring H.P., dan A. Krumbein, 2012. *The Effect of Constraining the Intensity of Solar Radiation on the Photosynthesis, Growth, Yield and Product Quality of Tomato*. Jurnal Agronomy and Crop Science Vol. 199 (5) doi:10.1111/jac.12018, pp 351–359
- <sup>6</sup>Crutzen P.J., M. G. Lawrence, dan U. Pöschl, 1999. *On the background photochemistry of tropospheric ozone*. Tellus Volume 51, DOI: 10.1034/j.1600-0889 pp 123–146
- <sup>7</sup>Miyaoka Y., H. Y. Inoue, Y. Sawa, H Matsueda, S. Taguchi. 2007. *Diurnal and seasonal variations in atmospheric CO<sub>2</sub> in Sapporo, Japan*. Jurnal Anthropogenic sources and biogenic sinks Geochemical, Vol. 41, pp. 429-436
- <sup>8</sup>Griffin *Climatology*, (<http://www.geos.ed.ac.uk/abs/research/micromet/Current/griffin/climate/>, diakses 5 Maret 2015)
- <sup>9</sup>Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>, diakses 5 Maret 2015)
- <sup>10</sup>Sumaryati dan Saipul Hamdi, 2010. *Potensi Radiasi Matahari di Bandung sebagai alternative reduksi emisi CO<sub>2</sub>*, Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer I LAPAN, Bandung
- <sup>11</sup>Sudhakar K., T. Srivastava, G. Satpathy dan M. Premalatha, 2013. *Modelling and estimation of photosynthetically active incident radiation based on global irradiance in Indian latitudes*, International Journal of Energi and Environmental Engineering 4:21, doi:10.1186/2251-6832-4-21
- <sup>12</sup>Gray J.M., Steve Frolking, Eric A. Kort, Deepak K. Ray, Christopher J. Kucharik, Navin Ramankutty, Mark A. Friedl, 2014. *Direct human influence on atmospheric CO<sub>2</sub> seasonality from increased cropland productivity*. *Nature*, DOI: [10.1038/nature13957](https://doi.org/10.1038/nature13957) 2014; 515 (7527): 398
- <sup>13</sup>Sumaryati, 2011. *Polusi Udara di Kawasan Cekungan Bandung*, *Berita Dirgantara* 12 (3): 83 - 89
- <sup>14</sup>Pérez I.A., I.A., M. L. Sánchez, M. Á. García, N. Pardo, 2012. *Analysis of CO<sub>2</sub> daily cycle in the low atmosphere at a rural site*. *Science of Environment* Volume 431, pp: 286–29