

## **OPTIMALISASI EKSPLOKASI ENERGI MATAHARI DI MAKASSAR UNTUK MEREDUKSI EMISI CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, DAN NO<sub>x</sub> DARI PEMBAKARAN BATU BARA**

**Sumaryati dan Saipul Hamdi**

**Bidang Komposisi Atmosfer - LAPAN**

**sumary.bdg@gmail.com**

### **ABSTRACT**

*Coal is the energy source that supports the electrical energy needs, both in Indonesia and the world. Unfortunately, the use of coal produces green house gas and air pollutant especially CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and NO<sub>x</sub>, moreover the availability is limited and the price tends to rise. This study is analyzed the potential of the gas emission reduction by change combustion coal with solar cells as a power plant in the city of Makassar (5.113 ° LS; 119.417 ° E). Observations of global solar radiation from 2011 until 2013 conducted using AWS. The period of daily global energy observation is yield of 15.54 MJ/m<sup>2</sup>. The solar energy can be converted into electrical energy to be 4.66 and 5.9 MJ/m<sup>2</sup>. Emissions of CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and NO<sub>x</sub> can be reduced respectively as follows: (11.22 to 14.22) kg / (m<sup>2</sup> day), (1.67 to 99.69) g / (m<sup>2</sup> day), and (3.35 to 44.54) g / (m<sup>2</sup> day).*

*Keywords: coal, solar energy, optimalization, Makassar*

### **ABSTRAK**

Batu bara merupakan sumber energi yang menopang kebutuhan energi listrik, baik di Indonesia maupun dunia. Sayangnya, penggunaan batu bara menghasilkan gas rumah kaca dan polutan udara terutama CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub>. Selain itu ketersediaan batu bara terbatas dan harganya yang cenderung naik. Penelitian ini mengkaji potensi reduksi emisi gas tersebut dengan pengalihan pembakaran batu bara dengan sel surya sebagai pembangkit listrik di kota Makassar (5,113 °LS ; 119,417° BT). Pengamatan radiasi matahari global dilakukan dari tahun 2011-2013 dengan menggunakan AWS. Dari pengamatan periode tersebut diperoleh energi global harian sebesar 15,54 MJ/m<sup>2</sup>. Energi tersebut dapat diubah menjadi energi listrik sebesar 4,66 sampai 5,9 MJ/m<sup>2</sup>. Emisi CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub> yang bisa direduksi masing-masing sebagai berikut: (11,22 – 14,22) kg/(hari m<sup>2</sup>), (1,67 – 99,69) g/(hari m<sup>2</sup>), dan (3,35-44,54) g/(hari m<sup>2</sup>).

Kata kunci: batu bara, energi matahari, optimalisasi, Makassar

## **1. PENDAHULUAN**

Kebutuhan energi nasional semakin meningkat karena penambahan penduduk dan pertumbuhan ekonomi. Permintaan energi meningkat pesat di kalangan masyarakat miskin, dari di kalangan masyarakat kaya, karena orang miskin belum dapat menikmati semua fasilitas yang berbasis energi listrik dan akan menggunakan di waktu mendatang (Wolfram, 2012). Oleh karena itu sebagai negara berkembang, kebutuhan energi listrik di Indonesia masih terus akan berkembang di masa mendatang. Diproyeksikan kebutuhan energi nasional sampai tahun 2035 mengalami pertumbuhan sebesar 4,8 %, dan khusus sektor listrik kebutuhan energi diproyeksikan sampai tahun 2015 mengalami pertumbuhan 5,3 % pertahun (Santosa dan Yudiartono, 2005). Lebih dari 50 % dari kebutuhan energi tersebut masih mengandalkan bahan bakar fosil, terutama minyak dan batubara.

Kebutuhan listrik dunia sampai tahun 2009 (Ito, 2011) diperkirakan sebesar 900 TWH, yang mana 617 TWH mengandalkan batu bara dan hanya 18 TWH yang bersumber energi terbarukan. Laporan IEA 2011, Indonesia dari tahun 1990 – 2010, mengemisikan CO<sub>2</sub> dari penggunaan batu bara termasuk gambut mengalami peningkatan 6,8 %. Bahan bakar batu bara, selain ketersediaannya terbatas yang suatu saat nanti akan habis, dalam proses pembakarannya banyak menghasilkan polutan seperti SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, hidrokarbon, serta partikulat, dan gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>. Dari sisi kesehatan, dampak polutan ini bukan hanya merusak generasi yang terpapar saja melainkan generasi yang terlahir dari ibu yang terpapar oleh polutan tersebut (Li, 2011). Selain itu, harga batu bara cenderung semakin mahal. Oleh karena itu, sudah seharusnya Indonesia mulai memikirkan energi alternatif yang ramah lingkungan.

Radiasi matahari merupakan salah satu sumber energi yang terbarukan, yang tidak akan habis dieksploitasi dan tidak menghasilkan pencemar dalam proses eksplorasinya. Sebagai daerah tropis, Makassar memiliki potensi radiasi matahari yang tinggi, dengan intensitas yang tinggi sepanjang tahun dan lama siang hari yang hampir 12 jam sepanjang tahunnya.

Meskipun demikian ada kelemahan dari eksplorasi energi matahari, baik secara ekonomis maupun teknis. Pembangunan

instalasi pembangkit listrik tenaga surya memang memerlukan dana besar, seharusnya ini menjadi perhatian pemerintah karena program ini mendukung pengurangan emisi gas rumah kaca dan polutan udara. Kendala secara teknis dikarenakan intensitas radiasi matahari tidak konstan serta posisi matahari yang selalu bergeser sepanjang waktu. Untuk mengatasi masalah ini bisa dilakukan dengan mengubah arah sel surya yang menangkap sinar matahari.

Dalam makalah ini dibahas seberapa besar potensi radiasi matahari di Makassar dan bagaimana mengoptimalkan penggunaan energi matahari sebagai sumber energi listrik serta potensi reduksi emisi CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub>. Penelitian sebelumnya yang dilakukan di Bandung (Sumaryati, 2010) hanya potensi reduksi emisi CO<sub>2</sub> tanpa memperhitungkan efisiensi pembakaran batu bara menjadi energi listrik dan upaya optimalisasi eksplorasi energi matahari menjadi energi listrik. Meskipun studi kasus ini dilakukan di Makassar, hasilnya dapat juga diterapkan di kota lain.

## 2. METODOLOGI

Data radiasi global diamati dengan menggunakan instrumen AWS (*Automatic Weather Station*) yang merupakan alat pengukur parameter meteorologi, dari tahun 2011 – 2013, di Makassar (5,113 °LS ; 119,417° BT). Data radiasi yang dipakai merupakan intensitas radiasi global dengan satuan W/m<sup>2</sup> dalam rentang waktu ( $\Delta t$ ), yang dalam monitoringnya nilai  $\Delta t$  tidak sama. Untuk menghitung besarnya energi radiasi matahari dalam satu hari  $E_h$  (J m<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup>) yang dapat dikonversi menjadi energi listrik digunakan persamaan (1) berikut.

$$E_h = \epsilon_s \sum_{t_1}^{t_2} I_i \Delta t_i \quad (1)$$

dengan:

- $\epsilon_s$  : efisiensi sel surya
- $E_h$  : energi radiasi matahari dalam satu hari
- $t_1$  : waktu matahari terbit
- $t_2$  : waktu matahari terbenam
- $I_i$  : intensitas radiasi dalam selang waktu  $I$  (W/m<sup>2</sup>)
- $\Delta t_i$  : selang waktu ke- $i$  (detik)

Energi matahari yang mampu dikonversi menjadi energi listrik ini disetarakan dengan banyaknya batu bara yang harus dibakar untuk menghasilkan energi listrik yang sama. Faktor emisi dari pembakaran batu bara menjadi energi listrik untuk senyawa CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub> adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Faktor emisi

Senyawa	Faktor emisi
CO <sub>2</sub>	670 g CO <sub>2</sub> / kWh
SO <sub>2</sub>	0,1 -4,7 g SO <sub>2</sub> / kWh
NO <sub>x</sub>	0,2 - 2,1 g NO <sub>x</sub> / kWh

Sumber: (Ito, 2011)

Untuk mengoptimalkan eksplorasi energi matahari, kemiringan sel surya mengikuti arah datangnya sinar matahari. Kemiringan diarahkan ke barat dan ke timur. Kemiringan sel surya ke arah utara atau selatan ditentukan oleh sudut deklinasi yang dirumuskan berikut,

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (N + 284) \right] \quad (2)$$

N adalah Julian day atau urutan hari dalam satu tahun, yang berarti 1 Januari nilainya 1, 2 Januari nilainya 2, 1 Februari nilainya 32, dan seterusnya.

Perubahan kemiringan ke timur dan barat dilakukan setiap hari dengan acuan waktu jam 12.00 waktu matahari. Hubungan antara waktu matahari (*t<sub>sol</sub>*) dan waktu local (*t<sub>loc</sub>*), yang dalam hal ini adalah WITA (GMT + 8 jam) dihubungkan dengan persamaan (2)

$$t_{loc} = t_{sol} - \frac{E_q}{60} - \frac{(Lon_{loc} - Lon_{std})}{15} \quad (3)$$

dengan

Lon<sub>loc</sub> : bujur lokasi setempat dalam hal ini kota Makassar (119,417° BT)

Lon<sub>std</sub> : bujur standar waktu Makassar (WITA), yaitu 120° BT

$E_q$  : persamaan waktu (dalam menit), yang besarnya sebagai berikut:

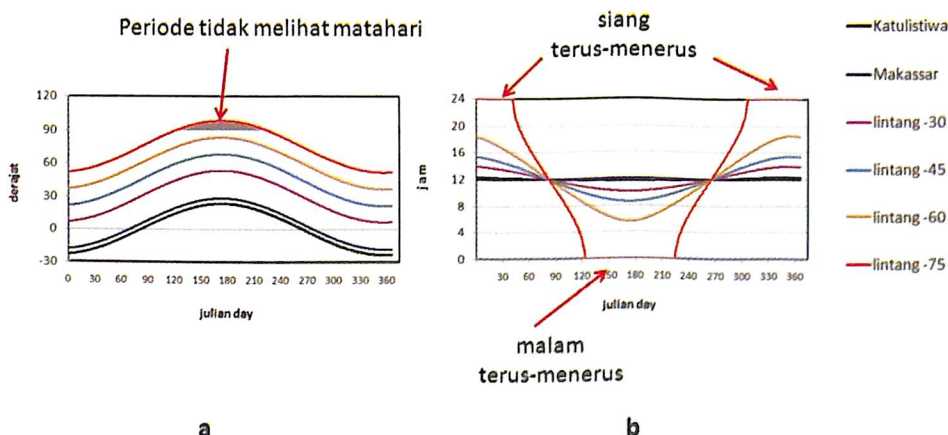
$$E_q = 9,87 \sin(2B) - 7,53 \cos B - 1,5 \sin B \quad (4)$$

$$\text{Dengan } B = 360 \left( \frac{N - 81}{364} \right)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Energi radiasi matahari yang diterima di satu lokasi besarnya berbanding terbalik dengan sudut zenithnya. Sudut zenith adalah sudut yang dibentuk antara garis vertikal dengan garis ke arah matahari. Makin kecil sudut zenith makin besar intensitas radiasi matahari.

Sebagai daerah tropis, nilai absolut sudut zenith minimum di Makassar bernilai antara  $0^\circ$  dan  $28,56^\circ$ . Sudut zenith minimum tersebut nilainya sama dengan besarnya sudut deklinasi matahari jika dilihat dari Makassar. Semakin mendekati kutub sudut zenith minimum ini semakin besar. Beberapa sudut zenith minimum di beberapa lokasi di belahan bumi selatan dapat dilihat pada Gambar 3.1a. Dari Gambar 3.1a posisi pada  $75^\circ$  LS, mulai dari 3 Mei sampai 12 Agustus sudut zenith minimumnya lebih dari  $90^\circ$ , yang berarti matahari berada di bawah horizon sepanjang hari.

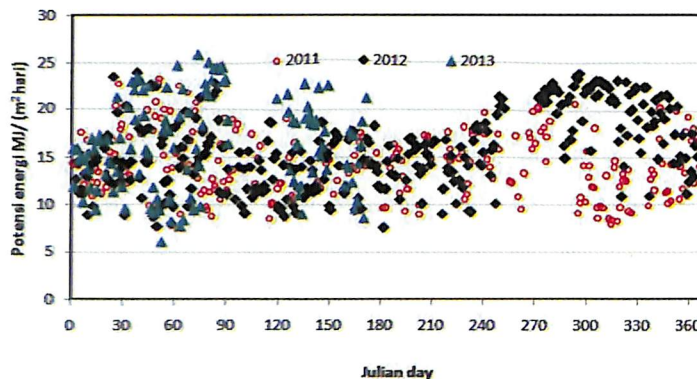


**Gambar 3.1** Sudut zenith minimum (a) dan durasi siang dan malam (b) beberapa lokasi di lintang selatan

Selain sudut minimum yang kecil, sebagai daerah tropis memiliki durasi malam dan siang yang hampir sama yaitu 12 jam

(Gambar 3.1b). sedangkan untuk daerah 75° LS, periode 3 Mei – 12 Agustus mengalami malam sepanjang hari, dan sebaliknya pada periode 2 November sampai 10 Februari mengalami siang terus-menerus. Meskipun mengalami siang sepanjang hari, tetapi sudut zenith matahari sangat tinggi, sehingga intensitas sinar matahari yang rendah.

Intensitas radiasi global di Makassar yang diukur dengan AWS dalam satuan  $W/m^2$  dan dikonversi ke satuan energi harian ( $Jm^{-2}hari^{-1}$ ) dengan persamaan (1) ditunjukkan pada Gambar 3.2. Dari Gambar 3.2. terlihat energi radiasi matahari yang diterima di Makassar tidak mengikuti pola sudut zenith minimum hal menunjukkan faktor awan sangat kuat dalam mengurangi radiasi matahari yang sampai ke bumi. Dari pengamatan tahun 2011 pertengahan 2013, rata-rata potensi energi radiasi per harinya sebesar  $15,54 MJ/m^2$ .



**Gambar 3.2** Potensi energi matahari di Makassar 2011 - 2013 [MJ/( $m^2$  hari)]

Rata-rata potensi energi matahari sebesar  $15,54 MJ/(m^2$  hari) ini tidak semuanya dapat diubah menjadi energi listrik. Efisiensi sel surya awalnya sangat rendah, tetapi terus dikembangkan, hingga mencapai 44 % (Gree, 2013), meskipun sel surya dengan efisiensi sebesar ini belum dipasarkan. Dengan asumsi bahwa efisiensi yang digunakan adalah 30 %, maka potensi energi radiasi di Makassar yang dapat dikonversi menjadi energi listrik adalah sebesar  $4,66 MJ/(m^2$  hari).

Sesuai dengan tabel 2.1 faktor emisi untuk energi listrik berbahan bakar batu bara, dapat diperhitungkan reduksi emisi  $CO_2$ ,  $SO_2$ , dan  $NO_x$  dengan pengalihan listrik bertenaga batu bara ke energi matahari. Perhitungan reduksi emisi setiap penggunaan

sel surya seluas 1 m<sup>2</sup> rata-rata setiap harinya dapat disajikan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Reduksi emisi CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub> dari penggunaan energi matahari

Senyawa	Reduksi Emisi (m <sup>2</sup> hari <sup>-1</sup> )
CO <sub>2</sub>	11,22 kg
SO <sub>2</sub>	1,67 – 78,68 g
NO <sub>x</sub>	3,35 – 35,15 g

Cakupan nilai SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> yang cukup tinggi ini disebabkan oleh kandungan sulfur dan nitrogen yang berbeda dalam setiap jenis batu bara, serta kondisi pembakaran. Kandungan sulfur dan karbon, serta nilai panas dapat dilihat pada Tabel 3.2. Sedangkan kandungan nitrogen berkisar antara 0,5 – 2 % (Gil, 2012).

**Tabel 3.2** Kandungan sulfur, karbon, dan nilai panas batu bara

Jenis batubara	Nilai panas (J/kg)	Kadar sulfur (% berat)	Kadar karbon (% berat)	Kadar nitrogen (% berat)
Antrasit	31082	0,60 – 0,77	80,5 – 85,7	1,5 – 1,75
Bituminius	27374	0,70 – 4,00	44,9 – 78,2	1 - 2
Lignite	16077	0,40	31,4	

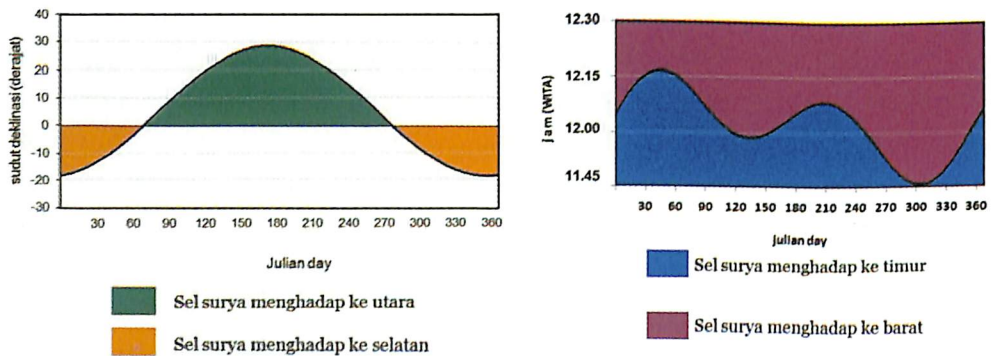
Sumber: The Engineering toolbox 2011,

Optimalisasi penyerapan radiasi matahari dilakukan dengan membuat kemiringan sel surya ke arah datangnya sinar matahari. Kemiringan dilakukan dalam dua arah, yang pertama yaitu arah timur dan barat, dan yang kedua utara dan selatan. Kemiringan ke utara dan ke selatan mengikuti gerak semu peredaran matahari, atau yang disebut deklinasi dan lintang kota Makassar. Berdasarkan persamaan sudut deklinasi dalam persamaan (1) dan letak kota Makassar pada 5,113° LS (-5,113), maka kemiringan sel surya dapat ditentukan dengan kondisi berikut:

$$\delta' = \delta + 5,113, \quad \text{jika } \delta > 0 \text{ sel solar miring ke utara}$$

jika  $\delta < 0$  sel solar miring ke selatan

Kemiringan ke arah barat dan timur dilakukan secara harian, yaitu sebelum jam 12.00 waktu matahari sel surya miring ke arah timur, dan sesudahnya miring ke arah barat. Berdasarkan persamaan (2) dan (3) dengan dua kondisi ini, kemiringan sel surya sebagai fungsi waktu ditunjukkan Gambar 3.3. Secara teknik, kemiringan sel surya dapat dilakukan dengan *solar tracker*.



a

b

**Gambar 3.3** Kemiringan sel surya

Dengan pemasangan *solar tracker* ini bisa meningkatkan produksi listrik sebesar 26,7 % (ESDM, 2013). Dengan demikian energi listrik yang dihasilkan per hari untuk luasan sel surya 1 m<sup>2</sup> naik menjadi sebesar 5,90 MJ. Demikian juga reduksi emisi rata-rata juga meningkat, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Reduksi emisi CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub> dari penggunaan energi matahari dengan penggunaan solar tracker

Senyawa	Reduksi Emisi (m <sup>2</sup> hari <sup>-1</sup> )
CO <sub>2</sub>	14,22 kg
SO <sub>2</sub>	2,12 – 99,69 g
NO <sub>x</sub>	4,42 – 44,54 g

Masalah lain dari konversi energi matahari menjadi energi listrik adalah daya yang dihasilkan berbanding lurus dengan luas



area yang dibutuhkan. Konsekuensinya untuk mendapatkan energi listrik yang tinggi memerlukan lahan yang luas. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan dengan pemanfaatan lahan di bawah sel surya dan tidak membiarkan lahan di bawah sel surya tanpa ada manfaatnya. Hal itu dapat dilakukan antara lain dengan memasang sel surya sebagai atap gedung, atap jalan raya, maupun atap green house.

#### **4. KESIMPULAN**

Dari pengamatan radiasi global di Makassar tahun 2011-2013, diperoleh rata-rata harian energi radiasi matahari sebesar  $15,54 \text{ MJ/m}^2$  dengan asumsi bahwa efisiensi sel surya sebesar 30% dapat direduksi emisi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , dan  $\text{NO}_x$  masing-masing sebesar:  $11,22 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{hari}^{-1})$ ,  $(1,67 - 78,68) \text{ g}/(\text{m}^2\text{hari}^{-1})$ , dan  $(3,35 - 35,15) \text{ g}/(\text{m}^2\text{hari}^{-1})$ . Optimalisasi dengan *solar tracker* akan mampu meningkatkan produksi listrik perharinya menjadi  $5,90 \text{ MJ/m}^2$ , dan emisi yang bisa dihemat menjadi  $14,22 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{hari}^{-1})$ ,  $(2,12-99,69) \text{ g}/(\text{m}^2\text{hari}^{-1})$ , dan  $(4,42-44,54) \text{ g}/(\text{m}^2\text{hari}^{-1})$ .

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih kepada Bapak Mulyono, yang telah membantu menyediakan data radiasi matahari.

#### **DAFTAR RUJUKAN**

- Abdul Wahid L M. 2005 Sensitifitas Analisis Potensi Produksi Pembangkit Listrik Renewable untuk Penyediaan Listrik Indonesia, dalam buku: Strategi Penyediaan Listrik Nasional dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batu Bara Skala Kecil, PLTN, dan Pembangkit Energi Terbarukan, BPPT Jakarta ISBN
- ESDM, Maksimalkan Produksi Listrik Energi Surya dengan Solar Tracker, <http://www.esdm.go.id/news-archives/323-energi-baru-dan-terbarukan/6258-maksimalkan-produksi-listrik-energi-surya-dengan-solar-tracker.html>, diakses update: 15 April 2013
- ESDM, 2012. Handbook of Energi and Economic Statistics of Indonesia

- Gil, S., 2012. Fuel-N Conversion to NO, N<sub>2</sub>O and N<sub>2</sub> During Coal Combustion, dalam buku Fossil Fuel and the Environment, Intech Publishing, Kroasia
- Green S., K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, dan E.D. Duniop. (2013) Solar Cell Efficiency tables (version 42). Wiley online Library.com DOI: 10.1002/pip.2404
- Gupta, S.K., dan R. S. Anand, (2013) Development of Solar Electricity Supply System in India: An Overview Journal of Solar Energi Volume),
- Ito O., 2011 Emissions from coal fired power Generation, Workshop on IEA High Efficiency, Low Emissions Coal Technology Roadmap, New Delhi
- Li, Z., L. Zhang, R. Ye, L. Pei, J. Liu, X. Zheng, and Aiguo Ren (2011). Indoor Air Pollution From Coal Combustion and the Risk of Neural Tube Defects in a Rural Population in Shanxi Province, China. American Journal of Epidemiology Advance DOI: 10.1093/aje/kwr108
- Raharjo I dan I. Fitriana 2005. Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sura di Indonesia, dalam buku: Strategi Penyediaan Listrik Nasional Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batu Bara Skala Kecil, PLTN, dan Pembangkit Energi Terbarukan, BPPT Jakarta
- Santosa J. dan Yudiantono, 2005 Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Nasional Jangka Panjang di Indonesia, dalam buku: Strategi Penyediaan Listrik Nasional Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batu Bara Skala Kecil, PLTN, dan Pembangkit Energi Terbarukan, BPPT Jakarta
- Sumaryati dan Saipul Hamdi, 2010. Potensi radiasi matahari di Bandung sebagai alternatif reduksi emisi CO<sub>2</sub>, Prosiding Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer LAPAN Bandung, 16 Juni 2010
- The engineering toolbox.  
[http://www.engineeringtoolbox.com/classification-coal-d\\_164.html](http://www.engineeringtoolbox.com/classification-coal-d_164.html), Diakses Maret 2013
- Wolfram, Catherine, Ori Shelef, and Paul Gertler (2012). "How Will Energi Demand Develop in the Developing World?" *Journal of Economic Perspectives*, 26(1): 119-38. Akses Juni 2013 DOI: 10.1257/jep.26.1.119