

## Rancang Bangun Sistem Pengukur Gas CO<sub>2</sub>

ARINTO YUDI PONCO WARDOYO <sup>a)</sup>, SETYAWAN P. SAKTI <sup>a)</sup>, DIDIK RAHADI SANTOSO <sup>a)</sup>

<sup>a)</sup>Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

diterima 19 Januari 2010, direvisi 10 Maret 2011

### ABSTRAK

Pemanasan global merupakan fenomena yang banyak dibicarakan akhir-akhir ini. Salah satu penyebab pemanasan global adalah gas rumah kaca. Salah satu gas rumah kaca yang banyak memberikan kontribusi terhadap pemanasan global adalah gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Mengingat pentingnya peranan gas CO<sub>2</sub> maka diperlukan pengukuran konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara untuk mengetahui seberapa jauh dampak yang dihasilkannya. Perancangan alat pengukuran gas CO<sub>2</sub> merupakan salah satu program yang dikembangkan oleh group penelitian “Pengukuran dan Monitoring Kualitas Udara” yang ada di jurusan Fisika untuk memenuhi kebutuhan alat pengukuran polusi udara. Alat pengukuran gas CO<sub>2</sub> dirancang secara otomatis dengan harga yang murah dengan menggunakan piranti-piranti elektronika yang tersedia di pasaran. Sistem pengukur CO<sub>2</sub> ini dirancang terdiri dari sensor CO<sub>2</sub>, sistem antarmuka, dan sistem pembacaan (perangkat komputer). Hasil ujicoba skala laboratorium menunjukkan bahwa sistem instrumentasi ini telah bekerja dengan sangat baik, dan dapat bekerja secara online dan real time.

Kata kunci: CO<sub>2</sub>, sistem instrumentasi, pengukuran online

### ABSTRACT

Carbon Dioxyde (CO<sub>2</sub>) has been known well as a contributor gas for the global warming. Regarding the impact, the measurement of the CO<sub>2</sub> concentration in the air is very important for the assesment. This paper present the design of a CO<sub>2</sub> instrument built by using the components that are available in the market. The instrument contains a CO<sub>2</sub> sensor, an interfacing system, and a computer. The test showed that the instrument worked well. It could be used to measure a CO<sub>2</sub> concentration on line and in real time.

Key word: CO<sub>2</sub>, instrumentation system, online measurement.

### PENDAHULUAN

Perubahan kondisi cuaca secara regional yang berdampak pada berubah iklim secara global pada dasarnya dipengaruhi oleh beberapa sebab, antara lain urbanisasi, industrilisasi [1]

dan pembakaran biomass [2],[3],[4],[5],[6],[7]. Beberapa faktor tersebut menghasilkan emisi yang berupa gas dan partikel yang dilepaskan di atmosfer yang dapat mempengaruhi keseimbangan radiasi sinar matahari. Faktor tersebut juga berdampak pada perubahan proses yang terjadi di atmosfer baik berupa proses fisika, kimia, dan termodinamika yang berakibat pada perubahan sifat atmosfer itu sendiri. Perubahan kondisi atmosfer dapat diketahui dari

---

\*Corresponding author : Phone: , Fax: ,  
E-mail: a.wardoyo@ub.ac.id

perubahan suhu. Perubahan suhu yang terjadi di atmosfer sebagai akibat gas rumah kaca sebagai hasil aktivitas manusia. Salah satu gas rumah kaca yang menyebabkan kenaikan suhu di permukaan bumi adalah gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Tren kenaikan konsentrasi gas karbondioksida dan kenaikan suhu di permukaan bumi menunjukkan korelasi berbanding lurus [8].

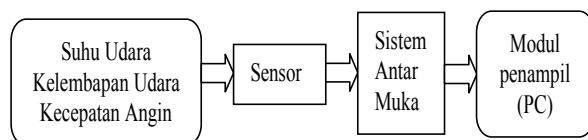
Dari sejumlah emisi yang dihasilkan pembakaran biomasa carbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai salah satu gas rumah kaca yang dikenal sebagai penyebab utama pemanasan global karena jumlah yang dilepaskan di atmosfer signifikan sangat besar [9]. Dari data yang dikumpulkan selama lima tahun menunjukkan bahwa gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari kebakaran semak belukar di negara-negara Eropa diperkirakan kurang lebih 11 juta ton per tahunnya [10]. Data lain menunjukkan bahwa sekitar 134 juta ton CO<sub>2</sub> dihasilkan dari pembakaran kayu di Filandia dari tahun 2005 sampai tahun 2007 [11]. Pada periode tahun 2006 sampai tahun 2007, telah dilepaskan sejumlah 5690 juta ton gas CO<sub>2</sub> ke atmosfer sebagai akibat kebakaran hutan Amazon pada 2 negara bagian di Brasil [4]. Pembakaran biomasa yang meliputi kebakaran hutan dan savannah di negara Australia telah menghasilkan sekitar 6 sampai 8 % dari seluruh karbon secara global setiap tahunnya carbon [12],[13]. Salah satu contoh data menunjukkan bahwa total carbon yang dihasilkan dari pembakaran biomasa di negara bagian Australia Utara pada tahun 2004 adalah sebesar 6,76 juta ton [14]. Di wilayah Asia, sumbangan dari gas CO<sub>2</sub> di atmosfer dari pembakaran biomasa sebesar 1100 juta ton dan dari pembakaran sisa-sisa hasil pertanian sebesar 379 juta ton tiap tahunnya [15].

Mengingat pentingnya pengukuran konsentrasi karbondioksida, maka diperlukan suatu alat yang dapat digunakan untuk mengukur konsentrasinya di udara. Penelitian bertujuan merancang bangun suatu sistem instrumentasi untuk mengukur gas karbondioksida yang datanya dapat diakses secara *online* dan *real time*. Dibandingkan dengan sistem pengukur gas karbondioksida yang sudah ada di pasaran, sistem yang akan

dibangun ini mempunyai beberapa kelebihan diantaranya harganya yang murah, berbasis PC, bersifat fleksibel dan *upgradable*.

## METODE PENELITIAN

**Rancangan Sistem Instrumentasi.** Sistem Instrumentasi yang dikembangkan pada penelitian dibangun terdiri atas modul-modul: Sensor Gas CO<sub>2</sub>, sistem antarmuka atau sistem akuisisi data berbasis mikrokontroler, dan sistem penampil berbasis PC seperti terlihat pada gambar 1.



**Gambar 1** Skema rancang bangun sistem pengukur gas CO<sub>2</sub>.

**Sensor Gas Karbondioksida.** Sensor gas karbondioksida dirancang menggunakan komponen utama berupa sensor karbondioksida yang tersedia di pasaran, yaitu Figaro CDM 4160. Keluaran dari sensor tersebut merupakan tegangan listrik, yang akan diproses untuk dihubungkan dengan sistem antarmuka ke mikrokontroler. Sensor ini mempunyai kemampuan untuk mengukur konsentrasi CO<sub>2</sub> antara 4000 ppm sampai dengan 45000 ppm. dengan jangkauan suhu pengukuran antara -10° sampai 50° C, dan dapat digunakan pada kelembaban udara antara 5% sampai dengan 95%.

**Sistem Antarmuka.** Sistem antarmuka dirancang untuk membaca tegangan keluaran dari sensor. Tegangan keluaran dari sensor kemudian diproses dan dikondisikan untuk disesuaikan dengan masukan dari mikrokontroler untuk keperluan akuisisi data. Mikrokontroler PIC16F877, sebuah mikrokontroler jenis *midrange* keluaran Microchip digunakan untuk keperluan ini. Mikrokontroler ini merupakan mikrokontroler dengan arsitektur RISC yang mempunyai beberapa *features* di dalamnya diantaranya adalah delapan buah ADC dengan resolusi 10 bit, tiga buah TIMER, sebuah Universal

Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART), 8K x 14 *words flash program memory*, 368 x 8 byte RAM.

Untuk keperluan komunikasi data digunakan suatu *network communication interface* (NCI) yang sering dipakai untuk membentuk jaringan multidrop yakni IC MAX485E dari Maxim Semiconductor. MAX485E merupakan *low-power transceivers* untuk komunikasi RS-485 dan RS-422. IC MAX485E mempunyai sebuah bagian *driver* dan sebuah bagian *receiver*. *Slew rate* dari *driver* MAX485E hampir tidak terbatas dan mampu mentransmisikan data sampai dengan laju 2.5 Mbps. MAX485E dirancang untuk komunikasi *half duplex*, yang mampu mengatasi sampai 32 node dengan rentang komunikasi sampai dengan 1200m.

#### Kalibrasi dan Pengujian Sistem.

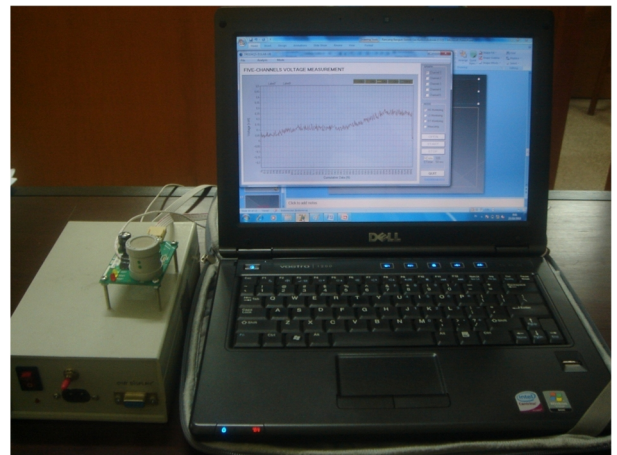
Pengujian sistem merupakan hal yang mutlak diperlukan dalam membangun suatu sistem pengukuran. Untuk itu dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian sekaligus kalibrasi sistem yang meliputi: pengujian modul sensor karbondioksida dan pengujian sistem secara keseluruhan dengan melakukan pengukuran konsentrasi karbondioksida di udara. Kalibrasi sensor dengan mereset sensor, maka sensor akan membaca konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara yakni 400 ppm. Kalibrasi dilakukan pada pagi hari pada saat konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara sekitar 400 ppm.

Pengujian sistem secara keseluruhan difokuskan pada berjalannya sistem untuk pengukuran gas CO<sub>2</sub>. Pengujian sistem dilakukan di laboratorium dengan meniup sensor untuk mengetahui respon sistem terhadap perubahan konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara. Pengujian selanjutnya dilakukan dengan mengukur konsentrasi CO<sub>2</sub> dari gas buang sepeda motor dengan menempatkan sensor berjarak 20 cm dari pembuangan gas pada sepeda motor.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem alat pengukur CO<sub>2</sub> yang dirancang seperti terlihat pada Gambar 2. Sistem alat pengukur CO<sub>2</sub> terdiri dari modul sensor, sistem antarmuka, dan komputer. Sensor gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dibangun menggunakan

komponen utama berupa sensor karbondioksida yang tersedia di pasaran, yaitu Figaro CDM 4160. Keluaran dari sensor tersebut merupakan tegangan listrik analog yang selanjutnya dihubungkan dengan sistem antarmuka ke mikrokontroler. Modul sensor CO<sub>2</sub> mempunyai 5 PIN yang mempunyai fungsi masing-masing. Pin 1 digunakan sebagai asupan tegangan masukan, PIN 2 sebagai keluaran dari hasil pengukuran konsentrasi CO<sub>2</sub>, PIN 3 berfungsi sebagai pengontrol sinyal keluaran, PIN 4 untuk mengidentifikasi apabila sensor dalam keadaan trouble, dan PIN 5 sebagai tegangan nol atau ground GND.



**Gambar 2** Sistem pengukur konsentrasi CO<sub>2</sub> yang terdiri dari modul sensor, sistem antarmuka, dan komputer.

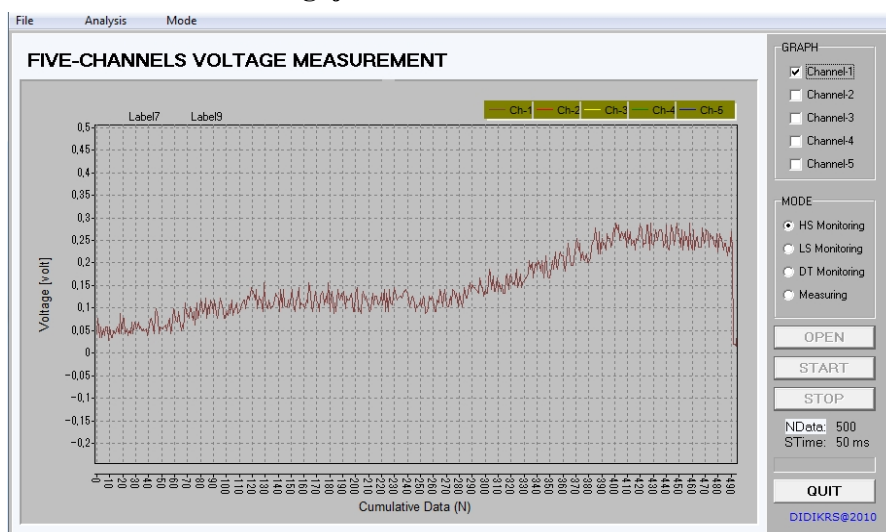
Untuk mengatur sensitivitas dan threshold keluaran sensor, maka disediakan PIN khusus yakni PIN JP1 dan JP2. Kombinasi keadaan PIN JP1 dan JP2 menentukan jangkauan pengukuran dari pada sensor. Dengan mengatur kombinasi keadaan kedua PIN tersebut maka sensor dapat digunakan untuk pengukuran konsentrasi CO<sub>2</sub> dengan jangkauan pengukuran antara 400 ppm sampai dengan 45000 ppm.

Sistem antarmuka pada prinsipnya dapat membaca tegangan keluaran dari sensor dan data tegangan keluaran dari sensor selanjutnya dapat diakuisisi. Sistem akuisisi data dirancang berbasis pada sebuah mikrokontroler PIC16F877 sebagai komponen utamanya dan IC MAX485E sebagai *network communication interface*-nya. Sensor CO<sub>2</sub> mendeteksi besarnya konsentrasi karbondioksida di udara dan

mengubahnya menjadi tegangan listrik. Tegangan listrik sebagai output dari sensor ini dikondisikan oleh pengondisi sinyal pada harga 0-5 volt. Dimana 0 volt menunjukkan harga konsentrasi minimum dan 5 volt mewakili harga konsentrasi maksimum. Modul sistem akuisisi data akan mengubah tegangan analog menjadi digital, yang alur kerjanya akan dikontrol sepenuhnya oleh prosedur program yang telah dituliskan/diisikan ke dalam chip mikrokontroler. *Network communication interface* ditangani oleh IC MAX485E untuk komunikasi pada jalur *filedbus* RS-485.

**Tampilan Perangkat Lunak.** Perangkat lunak untuk akuisisi data telah dirancang dengan menggunakan software DELPHI untuk mengambil keluaran dari sensor CO<sub>2</sub> yang telah melalui akuisisi di sistem antar muka. Hasil pembacaan ditampilkan dalam bentuk grafik pada komputer. Gambar 3 merupakan tampilan dari perangkat lunak yang dirancang yang menampilkan hasil pembacaan data dari sensor. Tampilan perangkat lunak terdiri dari 3 menu utama yakni File, Analysis, dan Mode. Menu File terdiri dari 4 sub menu yakni Open, Save, Print Graph, dan Exit. Menu Analysis tersusun dari 4 sub menu yaitu Send to Exel, FFT Analysis, Filtering, dan Amplitude. Sedangkan menu Mode terdiri dari sub menu : On Line dan Off Line. Grafik keluaran hasil pembacaan dari sensor ditampilkan sebagai Tegangan (volt) sebagai sumbu vertikal dan Banyaknya cacahan atau data pada sumbu horisontal.

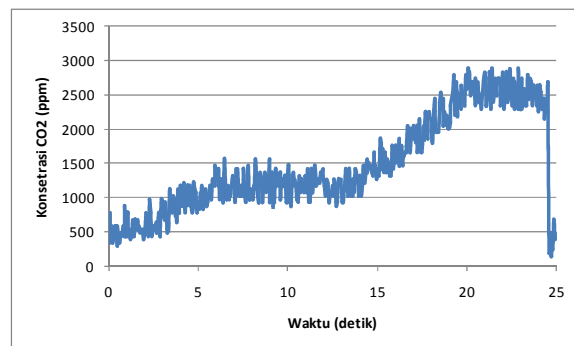
#### Kalibrasi Sistem dan Pengujian Alat.



Gambar 3. Tampilan perangkat lunak pada komputer

Dalam rancangbangun system instrumentasi pengukur konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara ini, modul yang paling penting adalah sensor. Kalibrasi sensor dilakukan dengan mengikuti prosedur yang telah dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya, yakni dengan menekan tombol *reset* pada modul sensor, maka sensor akan membaca skala 400 ppm. Kalibrasi dilakukan pada pagi hari dimana konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara sekitar 400 ppm.

Sedangkan uji kinerja dari perangkat keras RTU telah dilakukan pada skala laboratorium dengan menguji sinyal pada masing-masing unit pada sistem instrumentasi yang dirancang untuk memastikan bahwa komunikasi data masing-masing unit berjalan semestinya. Dari hasil pengujian didapatkan hasil yang bagus, dimana komunikasi data telah berlangsung dengan baik dan tidak ada kesalahan.



Gambar 4. Hasil pengukuran gas CO<sub>2</sub> pada saat sensor ditiup.

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan meniup sensor dan

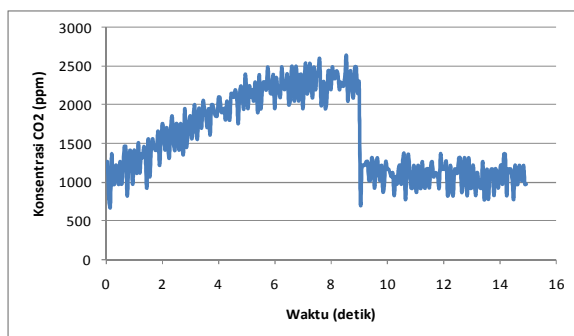
menempatkan sensor berjarak 20 cm dari knalpot sepeda motor untuk meyakinkan bahwa sistem telah berjalan dengan baik. Data hasil pengujian dapat di tampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Gambar 4 menunjukkan hasil pengujian sistem pada saat sensor ditiup. Sistem bekerja dengan baik dimana sensor dapat mendeteksi perubahan konsentrasi CO<sub>2</sub> dan semua unit juga berfungsi dengan baik, sehingga perubahan konsentrasi CO<sub>2</sub> dapat terbaca dan ditampilkan pada komputer.

Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada laboratorium pada saat itu terukur sekitar 500 ppm. Setelah sensor ditiup konsentrasi CO<sub>2</sub> menunjukkan peningkatan sehingga mencapai sekitar 2500 ppm.

Gambar 5 menunjukkan besarnya konsentrasi CO<sub>2</sub> yang diukur pada gas buang dari sepeda motor dimana sensor ditempatkan sekitar 20 cm pada saluran pembuangan. Konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara waktu itu menunjukan 1000 ppm. Konsentrasi CO<sub>2</sub> naik seiring dengan dipercepatnya pembakaran pada sepeda motor dengan cara menaikkan kabel akselerasinya, mencapai 2500 ppm. Kemudian konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara terbaca kembali pada angka 1000 ppm.

Kedua pengujian alat tersebut menunjukkan bahwa alat yang dirancang dapat bekerja dengan baik.



**Gambar 5.** Hasil pengukuran gas CO<sub>2</sub> pada emisi asap pada sepeda motor.

Alat tersebut cepat tanggap dengan perubahan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang terbaca pada sensor. Waktu yang diperlukan untuk merespon perubahan konsentrasi pada alat ini adalah 0.05 detik.

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dirancang bangun suatu sistem instrumentasi untuk mengukur kandungan/konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara. Sistem dibuat sesederhana mungkin sehingga dapat menekan biaya pembuatannya. Walau sederhana dan murah, sistem instrumentasi ini telah bekerja dengan sangat baik, dan dapat bekerja secara online dan real time. Hal ini mengingat sensor yang digunakan telah dikalibrasi oleh pabrik pembuatnya (Figaro). Pekerjaan berikutnya yang perlu dilakukan adalah validasi sistem tersebut untuk menentukan titik terendah konsentrasi yang terbaca oleh alat. Alat pengukur konsentrasi CO<sub>2</sub> yang telah dirancang mempunyai kemampuan pembacaan konsentrasi CO<sub>2</sub> dengan jangkauan pengukuran antara 400 ppm sampai dengan 45000 ppm, dengan kecepatan tanggap pembacaannya 0,05 detik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Roth, M. (2000). "Review of atmospheric turbulence over cities Quarterly." *Journal of Royal Meteorological Society*, 126, 941-990.
- [2] Baik, J.-J., J.-J. Kim and H. J. S. Fernando (2003). "A CFD model for simulating urban flow and dispersion." *Journal of Applied Meteorology* 42 (11), 1636-1648.
- [3] Cheng, M.-T., Horng, C.-L., Su, Y.-R., Lin, L.-K., Lin, Y.-C. and Chou, C. C. K. (2009). Particulate matter characteristics during agricultural waste burning in Taichung City, Taiwan. *Journal of Hazardous Materials* 165:187-192.
- [4] Fearnside, P. M., Righi, C. A., Graça, P. M. L. d. A., Keizer, E. W. H., Cerri, C. C., Nogueira, E. M. and Barbosa, R. I. (2009). Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian "arc of deforestation": The states of Mato Grosso and Rondônia. *Forest Ecology and Management* 258:1968-1978.
- [5] Glasius, M., Ketzel, M., Wählin, P., Bossi, R., Stubkjær, J., Hertel, O. and Palmgren, F. (2008). Characterization of particles

- from residential wood combustion and modelling of spatial variation in a low-strength emission area. *Atmospheric Environment* 42:8686-8697.
- [6] Wardoyo, A. Y. P., Morawska, L., Ristovski, Z. and Marsh, J. (2006). Quantification particle number and mass emission factors from combustion Queensland trees. *Environmental Science and Technology* 40:5696-5703.
- [7] Wardoyo, A.Y.P., 2007. Biomass burning: particle emissions, characterization, and airborne measurements, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia.
- [8] Boeker, E and Grondelle. R. V. (1999). *Environmental Physics Second Edition*. USA – New York. Jhon Wiley & Sons, LTD.
- [9] Andreae, M. O. and Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochem. Cycles* 15:955-966.
- [10] Narayan, C., Fernandes, P. M., van Brusselen, J. and Schuck, A. (2007). Potential for CO<sub>2</sub> emissions mitigation in Europe through prescribed burning in the context of the Kyoto Protocol. *Forest Ecology and Management* 251:164-173.
- [11] Ranta, T., Lahtinen, P., Elo, J. and Laitila, J. (2007). The effect of CO<sub>2</sub> emission trade on the wood fuel market in Finland. *Biomass and Bioenergy* 31:535-542.
- [12] Kasischke, E. S. and Penner, J. E. (2004 ). Improving global estimates of atmospheric emissions from biomass burning *Journal of Geophysical Research* 109 D14S01.
- [13] van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Giglio, L., Collatz, G. J., Kasibhatla, P. S. and Arellano Jr., A. F. (2006 ). Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004 *Atmospheric Chemistry and Physics* 6:3423-3441.
- [14] Meyer, C. P., Luhar, A. K. and Mitchell, R. M. (2008). Biomass burning emissions over northern Australia constrained by aerosol measurements: I--Modelling the distribution of hourly emissions. *Atmospheric Environment* 42:1629-1646.
- [15] Streets, D. G., Yarber, K. F., Woo, J.-H. and Carmichael, G. R. (2003). Biomass burning in Asia: annual and seasonal estimates and atmospheric emissions. *Global* 1118.