

Simulasi Penyebaran CO₂ di Semarang Dengan Software LADM

Sumaryati, Saipul Hamdi, Nurlaini, dan Dessy Gusnita
Puslitbang Pengetahuan Atmosfer, LAPAN
Jl. Dr. Junjuran 133 Bandung, 40173

Abstrak

Telah dilakukan simulasi penyebaran CO₂ di daerah Semarang dan sekitarnya mencakup luasan (50 x 50) km² pada bulan September 1998 (mewakili musim kemarau) dengan menggunakan software LADM-CSIRO Australia. Data aerologi, kecuali angin, untuk pemodelan ini diperoleh dengan melakukan peluncuran radiosonde di komplek Bandar Udara Ahmad Yani, pada posisi geografis sekitar 110,4 °BT dan 7,0 °LS, dan sekaligus tempat ini dijadikan titik pusat simulasi. Data angin diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika. Dengan mengambil sumber titik yang diletakkan di daerah Ungaran dan daerah timur laut Semarang dekat terminal bus Terboyo diperoleh pola penyebaran CO₂ yang arahnya cenderung ke arah utara dan terutama ke arah barat daya meliputi daerah Semarang bagian utara dan barat daya, laut Jawa dan DATI II Kendal.

Berdasar pola penyebaran CO₂ hasil LADM dan dengan mempertimbangkan kondisi lapangan yang meliputi topografi dan sumber emisi, maka dilakukan pengukuran CO₂ di enam lokasi pada musim yang sama tahun 1999. Pantai Jomblom (Kendal), pelabuhan Tanjung Mas, dan komplek perumahan Graha Padma mewakili daerah sebaran CO₂ versi (daerah terpolusi versi LADM). Candi, Gubug (Grobogan), dan komplek Dab Sat Brimob mewakili daerah bukan sebaran CO₂ (daerah bersih versi LADM). Komplek Dan Sat Brimob dan pelabuhan Tanjung Mas memiliki sumber emisi CO₂ yang tinggi (jalan dan industri). Lokasi lainnya tidak ada sumber emisi CO₂ yang penting sehingga dapat diabaikan. Hasil analisa pengukuran di lapangan menunjukkan adanya kesesuaian dengan pola penyebaran CO₂ hasil keluaran LADM.

Abstract

Simulation of CO₂ dispersion has been carried out for Semarang region and its surrounding which covers area of (50 x 50) km², in September 1998 (represent dry season), by using software of LADM that developed by CSIRO, Australia. Aerology data, except wind data, for this simulation is observed by launching radiosonde at Ahmad Yani airport area (110,4°E and 7,0°S), and this location is taken as center of the simulation. Wind data is obtained from Meteorological and Geophysics Agency. By simulating two CO₂ emission sources that placed in Ungaran regent and north east of Semarang, close by bus terminal of Terboyo, it is found that the CO₂ dispersion pattern tends to spread northwards and north-westwards; covering northern and north western of Semarang, Java sea and Kendal Regency.

Based on the CO₂ dispersion pattern given by LADM and by considering field conditions including topography and CO₂ emission sources therefore are measurements of CO₂ in six sites in the same season in 1999. Jomblom bay (Kendal), Tanjung Mas harbor, and Graha Padma Settlement represent the spreaded area of CO₂ (polluted area of LADM version) that borne in Semarang city. While Candi, Gubug (Grobogan) and Dan Sat Brimob complex represent the unspreaded area of CO₂ (cleaned area of LADM version). Dan Sat Brimob and Tanjung Mas harbor are located closed by CO₂ emission sources (road and industry). The other sites have no significant pollutant emission sources, thus the CO₂ emission sources can be neglected in the sites. Analyzing of measurement of CO₂ in the sites show correlation with the dispersion of CO₂ pattern of LADM.

1. Pendahuluan

Gas CO₂ termasuk gas stabil yang tidak reaktif di atmosfer dan tidak mudah larut dalam air hujan, sehingga memiliki umur yang sangat panjang, lebih dari 100 tahun¹⁾. Dengan umur yang sangat panjang ini memungkinkan gas CO₂ menyebar secara global di seluruh atmosfer bumi. Gas CO₂ adalah salah satu gas rumah kaca yang berperan dalam pemanasan atmosfer. Gas rumah kaca dengan efek rumah kacanya bersifat transparan terhadap radiasi gelombang pendek sinar matahari yang menuju ke bumi, tetapi menjadi penghalang bagi menjalarnya radiasi

gelombang panjang (radiasi panas) yang diemisikan oleh bumi ke angkasa. Karena sifat yang demikian ini, CO₂ bersama-sama uap air dan gas rumah kaca lainnya, yaitu CH₄, O₃ di troposfer, N₂O, CFCs, telah menaikkan temperatur di atmosfer sekitar 18°C.

Meskipun GWP (*Global Warming Potential*), yaitu efek pemanasan per molekul, CO₂ paling kecil dibanding gas rumah kaca yang lainnya, namun secara total CO₂ memiliki kontribusi terbesar (30%) dalam pemanasan globalnya karena konsentrasinya paling tinggi di atmosfer²⁾. Jika tidak memperhitungkan uap air,

maka CO₂ sendiri memiliki kontribusi sekitar 60 %³⁾. Oleh karena itu dalam kajian gas rumah kaca lebih banyak dititik beratkan pada gas CO₂.

Sumber utama dari CO₂ adalah hasil pembakaran sempurna dari unsur karbon yang ada dalam bahan bakar fosil yang terdiri atas gas (LPG, CNG,), cair (minyak tanah, solar, dll), dan padat (batu bara); maupun yang ada pada bahan bakar biomasa terutama berasal dari tanaman. Oleh karena itu daerah transportasi padat, daerah industri, daerah pembangkit listrik tenaga uap merupakan daerah sumber CO₂ akibat dari pembakaran bahan bakar fosil. Pembakaran sampah pertanian dan kebakaran hutan adalah sumber CO₂ yang banyak dijumpai di daerah pedesaan. Hasil oksidasi CO di troposfer juga menambah konsentrasi CO₂. Sedangkan media rosot (*sink*) CO₂ yang paling besar adalah tumbuhan hijau melalui proses fotosintesa. Selain tumbuhan hijau, laut juga berpotensi menyerap CO₂ melalui proses difusi dan fotosintesa tumbuhan laut, walau sangat kecil.

Semarang sebagai daerah perkotaan, jalan raya dan industri merupakan sumber utama CO₂. Penyebaran Gas CO₂ ini disimulasikan dengan menggunakan software LADM (Lagrangian Atmospheric Dispersion Model) yang telah dikembangkan oleh CSIRO (Commonwealth Scientific for Industrial Research Organization) Australia.

Model ini terdiri atas dua komponen utama yaitu LADM_M (prognostic meteorological model) dan LADM_P⁴⁾. Model pertama berfungsi untuk memprediksi arah dan kecepatan angin, serta turbulensinya. Berdasarkan hasil dari model pertama ini, LADM_P akan menentukan dispersi (sebaran) partikel yang bersifat lembam dan ambang. Model ini dapat digunakan untuk memprediksi sebaran partikel dari suatu sumber, sehingga dapat diketahui daerah terpolusi (daerah

sebaran partikel) dan daerah bersih (daerah yang tidak melewati sebaran partikel).

Model Lagrangian ini berdasarkan pada persamaan Langevin untuk kecepatan suatu partikel fluida⁵⁾.

$$dw = - (w/T_{L,w}) dt + (2 / T_{L,w})^{1/2} \sigma_w dW \quad (1)$$

yang dengan menggunakan model numerik, penyelesaian persamaan di atas adalah:

$$w(t + \Delta t) = (1 - \Delta t / T_{L,w}) w(t) + (2 \Delta t / T_{L,w})^{1/2} \sigma_w r_w \quad (2)$$

dengan :

w : kecepatan dalam turbulensi stasioner, homogen, dan gaussian.

$T_{L,w}$: skala waktu lagrangian

σ_w : variansi kecepatan vertikal

dW : Gaussian, untuk proses stokastik *white-noise* dengan rata-rata nol dan variance dt.

r_w : variabel random Gauss

Input data untuk perangkat lunak ini meliputi parameter meteo (tekanan, kelembaban, temperatur, arah dan kecepatan angin) pada tingkat ketinggian tertentu; kondisi fisik lingkungan (albedo tanah, *roughness*, tutupan lahan, dll); dan data emisi partikel (laju emisi, kondisi fisik sumber emisi partikel).

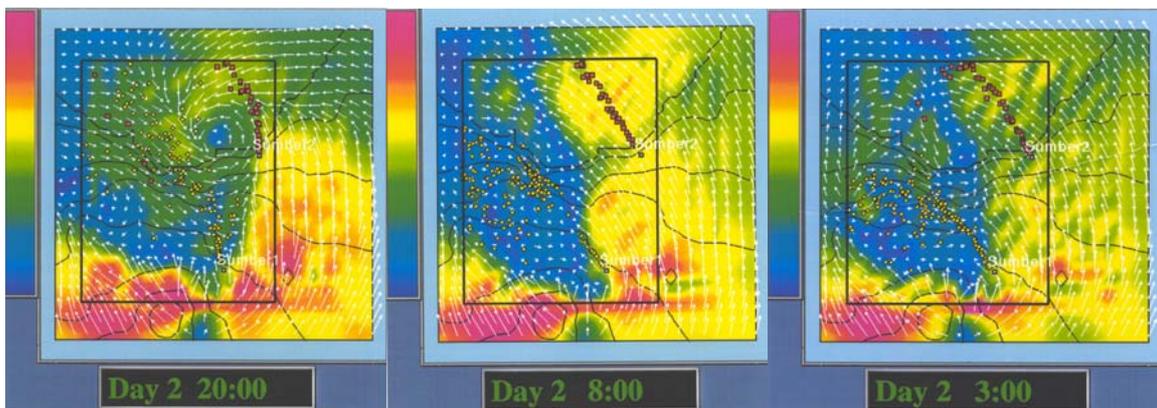
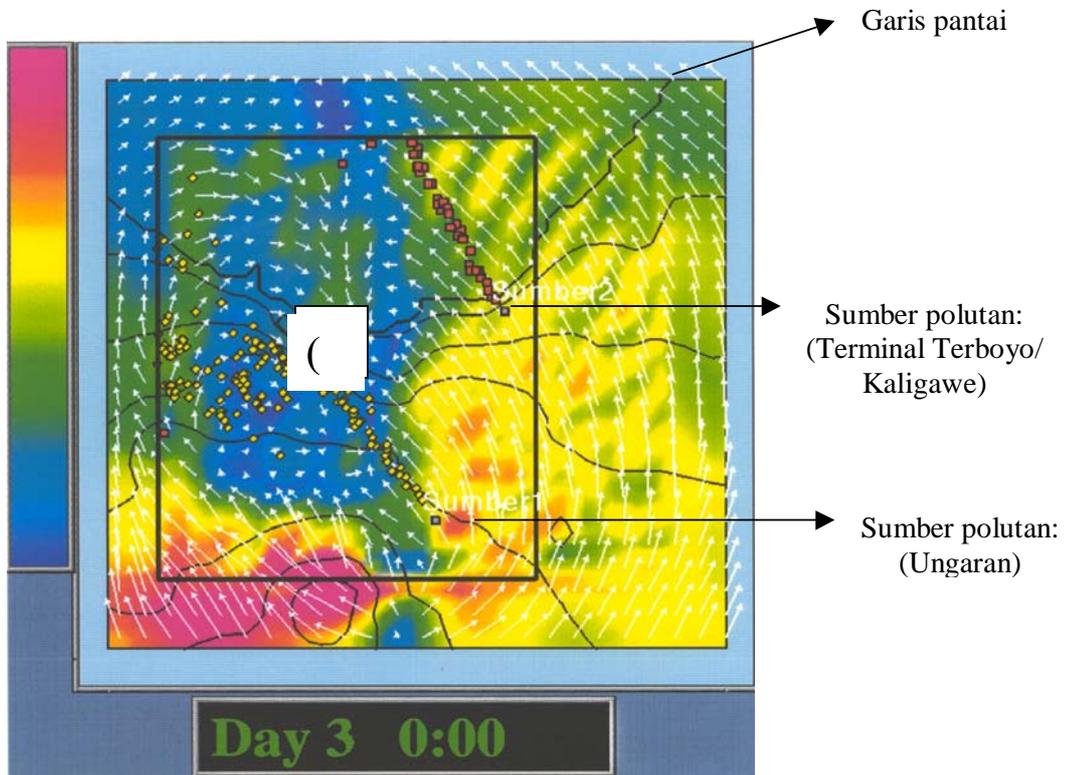
2. Simulasi dan Hasilnya

Simulasi ini mencakup 50 x 50 grid dengan luasan tiap gridnya 1 km². Data aerologi (kecuali angin) untuk pemodelan ini diperoleh dengan melakukan peluncuran balon meteo di komplek Bandar Udara Ahmad Semarang tanggal 8 September 1998, pada posisi geografis sekitar 110,4 °BT dan 7,0 °LS, dan sekaligus tempat ini dijadikan titik pusat simulasi. Sedangkan data angin diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika. Sumber CO₂ diambil dua buah cerobong emisi dengan kriteria sebagai berikut:

Tabel 1. Kriteria sumber CO₂ untuk simulasi

	Sumber 1	Sumber 2
1. Bentuk sumber	Cerobong	Cerobong
2. Letak	Daerah selatan kota Semarang (sekitar Ungaran)	Dekat timur laut Semarang (dekat terminal bus Terboyo/ Kaligawe)
3. Kondisi lingkungan sekitar	Dataran tinggi. Sebelah timur membujur jalan antar propinsi dari utara ke selatan dengan arus kendaraan sangat tinggi. Ada beberapa industri di sekitar jalan tersebut, seperti pabrik baja Raja Besi, Fumira, dll	Dataran rendah. Sebelah selatan terdapat jalan raya Kaligawe menuju ke terminal bus Terboyo dengan arus kendaraan cukup tinggi. Juga ada beberapa industri di sekitar jalan tersebut
4. Tinggi dan jari-jari cerobong	30 m; 2 m	20 m; 1,5 m
5. Laju keluaran angin dan emisi	1 m s ⁻¹ ; 1 500 g s ⁻¹	1,5 m; 1 000 g s ⁻¹
6. Temperatur cerobong	400 K	425 K

Contoh beberapa hasil keluaran program yang dimulai pada tanggal 8 September 1998 sampai hari ke tiga (10 September 1998) dapat dilihat pada gambar berikut,



Keterangan: Proses keluaran program dimulai tanggal 8 September 1998, daerah yang ditinjau hanya sebatas dalam daerah segiempat.

- (contour line) Kontur topografi
- Arah dan kecepatan angin. Merah (10 m/s, biru 0 m/s)
- + Polutan
- (Bandara Ahmad Yani

Gambar 1. Beberapa Contoh Penyebaran Polusi

Sumber CO₂ yang berasal dari daerah Ungaran menyebar ke arah utara di daerah dataran rendah Semarang bagian barat dan arah barat daya sampai di daerah Semarang Kabupaten Tingkat II Kendal. Jadi polutan yang berasal dari daerah ini hanya akan mencemari daerah di sebelah utara dan barat daya saja. Sedangkan sumber CO₂ juga yang berasal dari timur laut Semarang menyebarkan ke arah utara dan barat daya menuju laut Jawa.

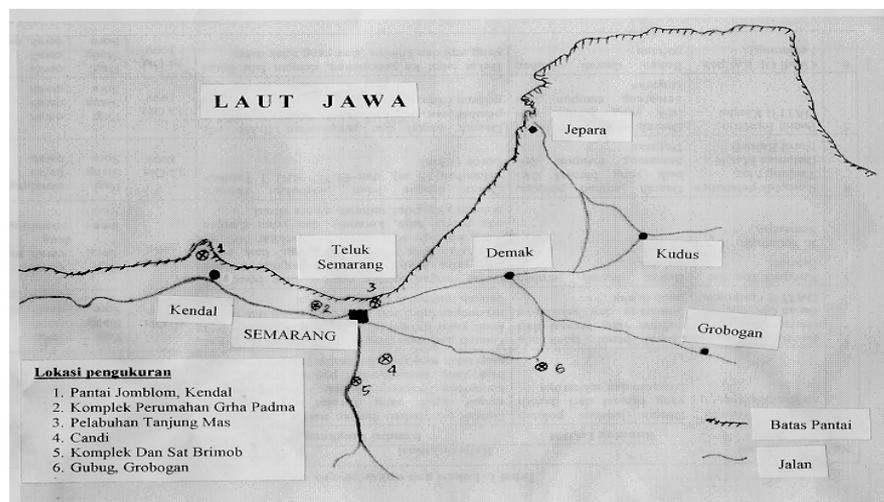
Kalau dilihat dari medan angin, sumber CO₂ yang berada di daerah sebelah barat Semarang pada malam hari karena pengaruh angin darat, terutama angin yang datang dari daerah pegunungan. Angin yang dengan kecepatan tinggi ini akan menyebarkan CO₂ tersebut ke laut Jawa. Sedangkan siang hari karena ada pertemuan angin laut dan angin lembah, maka CO₂ akan tersebar di daerah pantai utara Jawa.

3. Pengukuran CO₂ di Lapangan

Berdasar pola penyebaran polusi hasil LADM bulan September 1998 dan

mempertimbangkan kondisi lapangan yang meliputi topografi dan sumber emisi CO₂, dilakukan pengukuran CO₂ di enam lokasi. Pengukuran menggunakan peralatan environment dengan pengambilan data setiap 15 menit. Pengukuran dilakukan berurutan setiap lokasi mengambil waktu satu hari mulai sekitar jam 08.00 sampai 17.00 dari tanggal 9 sampai 14 Oktober 1999, jadi tidak simultan.

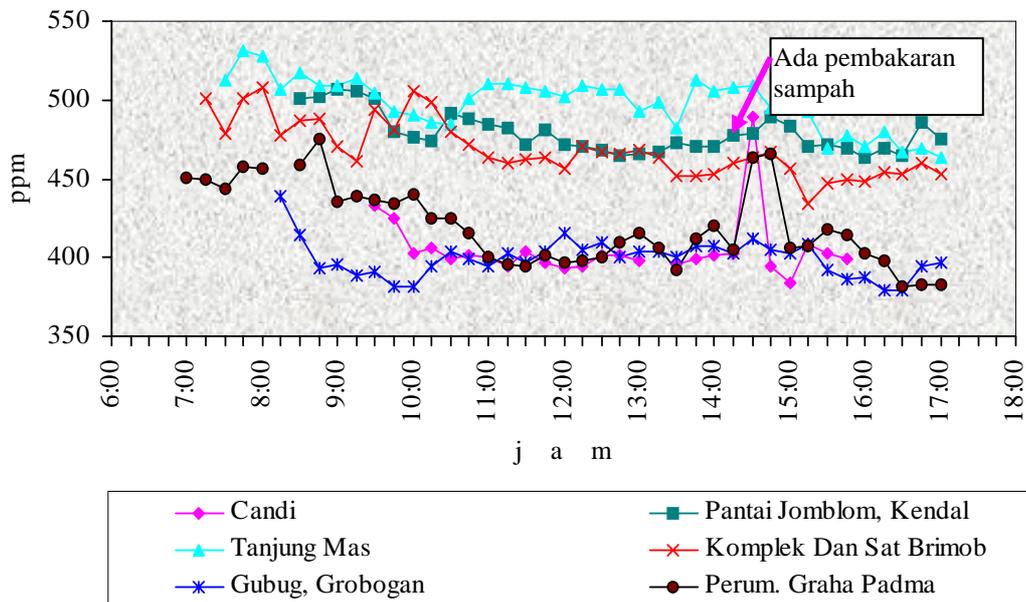
Keenam lokasi pengukuran meliputi: Pantai Jomblom (Kendal), pelabuhan Tanjung Mas, dan kompleks perumahan Graha Padma mewakili daerah sebaran CO₂ versi (daerah terpolusi versi LADM). Candi, Gubug (Grobogan), dan kompleks Dan Sat Brimob mewakili daerah bukan sebaran CO₂ (daerah bersih versi LADM). Komplek Dan Sat Brimob dan halaman masjid Nurul Bahari kompleks pelabuhan Tanjung Mas memiliki sumber emisi CO₂ yang tinggi (jalan dan industri). Lokasi lainnya tidak ada sumber emisi CO₂ yang penting sehingga dapat diabaikan. Kriteria keenam lokasi pengukuran tersebut dan petanya, serta hasil pengukurannya adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Peta Lokasi Pengukuran

Tabel 2. Keterangan lokasi pengukuran

Lokasi	Kriteria lokasi	
	Keluaran LADM	Kondisi Lingkungan
1. Pantai Jomblon, Kendal	Daerah jatuhan CO ₂ dari Semarang & dari Ungaran	Daerah pantai dan persawahan (tidak ada pembakaran sisa pertanian), tidak ada sumber CO ₂ lainnya
2. Komplek Perumahan-an Graha Padma	Daerah jatuhan CO ₂ dari daerah Ungaran dan sekitarnya	Daerah perumahan dekat jalan ke perumahan, dengan lalu lintas yang sepi. Sekitar 3 km ada pabrik baja yang mengeluarkan asap pembakaran tetapi tidak mengarah ke tempat pengukuran.
3. Komplek pelabuhan-an Tanjung Mas	Daerah jatuhan polutan, dari Semarang maupun dari Ungaran	Dekat dengan jalan menuju pelabuhan (5 m), dan PLTU BJU I Tambak Lorok (1 km).
4. Candi (Jl. Kasipah, Semarang)	Bukan daerah jatuhan polutan	Dekat jalan ke perumahan, dengan lalu lintas yang sepi dan kondisi jalan yang tidak datar.
5. Komplek Dan Sat Brimob, jl. Setiabudi	Bukan daerah jatuhan polutan	Dekat dengan sumber CO ₂ yang besar yaitu jalan raya antar propinsi dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi, baik pagi, siang maupun sore (15 m) dan ada pabrik baja (500 m), keramik, dan jamu.
6. Kec. Gubug (hal. Kawedanan Gubug), Grobogan	Daerah bersih, bukan daerah jatuhan polutan	Daerah pedesaan dengan sumber CO ₂ sangat kecil yaitu berupa jalan kabupaten (sekitar 100 m) dengan lalu lintas yang tidak padat dan masih banyak tumbuhan hijau.



Gambar 3. Grafik Hasil Pengukuran

Tabel 3. Konsentrasi minimum, maksimum, dan rata-rata selama pengukuran

L o k a s i	Konsentrasi CO ₂ (ppm)		
	Min	Rata-rata	Mak
Komplek perumahan Graha Padma	382	420	475
Kecamatan Gubug, Grobogan	379	400	439
Komplek Dan Sat Brimob	434	469	508
Pelabuhan Tanjung Mas	436	498	531
Candi	484	405	489
Pantai Jomblom, Kendal	463	479	507

4. Pembahasan

Simulasi serupa telah dilakukan di Jakarta⁶⁾. Sebagaimana Semarang, Jakarta juga merupakan kota di tepi pantai utara Jawa. Akan tetapi keduanya memiliki perbedaan topografi. Dataran di sebelah selatan Jakarta hanya berupa dataran rendah. Sedangkan Semarang memiliki topografi yang lebih unik. Sebelah selatan Semarang membentang dataran tinggi dari Wonosobo sampai Salatiga, sebelah timur dan barat berupa dataran rendah, dan sebelah timur lautnya masih ada dataran daerah Jepara dengan tiga gunung, yaitu gunung Muria (1602 m), gunung Rahtawu (1522 m) dan gunung Rowo (1410 m).

Hasil simulasi di Jakarta menunjukkan angin darat (malam) dan angin laut (siang) berpengaruh sangat kuat terhadap sebaran partikel. Topografi yang unik di sekitar Semarang membentuk pola penyebaran yang berbeda dengan di Jakarta. Pada siang hari angin laut dihadang oleh angin gunung yang berasal dari sekitar Semarang sehingga partikel CO₂ tidak menyebar jauh ke daratan, hanya di sekitar pantai utara Jawa. Sedangkan malam hari angin darat akan menyapu CO₂ ke arah utara menuju laut.

Untuk senyawa lain yang bersifat lembam dan ambang juga akan mengikuti pola penyebaran CO₂. Senyawa yang tidak ambang akan cepat terdeposisi jatuh ke bawah karena pengaruh grafitasi. Sedangkan gas yang tidak lembam seperti NO dan CO akan mudah bereaksi berubah menjadi gas lain di troposfer, sehingga tidak dapat menyebar jauh dari sumbernya.

Dari hasil simulasi ini ditemukan daerah sebaran CO₂ (daerah terpolusi) meliputi daerah Semarang barat daya dan utara membentang ke barat sampai pantai daerah tingkat II Kendal. Untuk daerah bersihnya (daerah yang tidak terlewati CO₂) adalah daerah selatan Semarang karena terhalangi oleh pegunungan dan sebelah timur Semarang. Sumber CO₂ yang berada di sekitar Kaligawe/ Terboyo cenderung menyebar, sehingga daerah ini cocok untuk daerah industri.

Pengukuran CO₂ di enam lokasi dengan kriteria daerah bersih dan daerah kotor hasil keluaran LADM, serta faktor kedekatan dengan sumber CO₂ lokal menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Konsentrasi terendah diperoleh di Gubug (Grobogan) sebesar 400 ppm, Konsentrasi tertinggi di kompleks pelabuhan Tanjung Mas sebesar 498 ppm.

Gubug dapat dijadikan sebagai daerah *back ground*-nya untuk analisa. Hal ini disebabkan Gubug bukan daerah sebaran CO₂ yang berasal dari daerah Semarang dan sekitarnya

dan tidak dijumpai sumber CO₂ setempat yang signifikan, serta masih banyak tumbuhan hijau yang menyerap CO₂.

Lokasi pengukuran di komplek Dan Sat Brimob, Jalan Setiabudhi dan Candi adalah daerah bukan sebaran CO₂ sebagaimana Gubug. Perbedaan konsentrasi CO₂ antara Candi dengan Gubug sangat kecil, yaitu sebesar 5 ppm (1,25 %). Perbedaan konsentrasi CO₂ antara komplek Dan Sat Brimob dengan Gubug sebesar 69 ppm (17 %). Hal ini disebabkan komplek Dan Sat Brimob lokasinya berdekatan dengan jalan raya antar propinsi dengan kepadatan lalu lintas sangat tinggi dan dekat pabrik baja Raja Besi, yang merupakan sumber CO₂.

Perbedaan konsentrasi CO₂ antara Gubug dengan daerah sebaran CO₂ di komplek perumahan Graha Padma, pantai Jomblom, dan pelabuhan Tanjung Mas masing-masing sebesar 20 ppm (5 %), 79 ppm (20 %), dan 98 ppm (27,5 %). Berdasarkan pola penyebaran CO₂ dari LADM, maka diduga kenaikan konsentrasi CO₂ ini kiriman dari industri dan jalan raya yang ada di Semarang. Sedangkan pertambahan konsentrasi CO₂ di pelabuhan Tanjung Mas selain berasal daerah Semarang kota juga ditambah dari sumber lokal yang sangat tinggi, yaitu jalan ke pelabuhan dan PLTU UJB I Tambak Lorok.

5. Kesimpulan

1. Perpaduan bentuk topografi, dengan angin darat dan angin laut sangat menentukan pola penyebaran CO₂.
2. Simulasi penyebaran CO₂ di Semarang dengan menggunakan LADM menunjukkan kesesuaian dengan pengukuran yang dilakukan pada musim yang sama meskipun tahunnya berbeda.
3. Dari analisa LADM dan pengukuran di lapangan diperoleh hasil bahwa daerah sebelah timur laut kota Semarang cocok untuk dikembangkan sebagai area industri, karena partikel polutan yang dihasilkan akan cenderung menyebar ke arah utara di atas laut Jawa

Daftar Pustaka

1. Crutzen, *The Role Methane in Atmospheric Chemistry and Climate*. Ruminant Physiology: Digestion, metabolism, growth and Reproduction, hal: 291 – 313, 1995.
2. Lelieveld, J. dan P.J. Crutzen, *Material Emission into the Atmosphere on Overview*. dalam Proceeding CH₄ and N₂O Methods in National Emission Inventories and Option, 1993.

3. Houghton, T., G.J. Jenkins, dan J.J. Euphramus. *The IPCC Scientific Assessment, Cambridge UK*. (1990).
4. Noonan, J., P. Hurley, dan B. Physick, *LADM User's Guide*, 1995.
5. Physick, W dan P. Hurley, *A Fast Lagrangian Particle Model for Use with Three-Dimensional Mesoscale Model*.
Dipresentasikan pada 20th International Technical Meeting on Air Pollution. Valenica-Spain, 1993.
6. Hamdi S., Nurlaini, dan Sumaryati, *Pengkajian Penyebaran Polusi Udara Menggunakan Model Dispersi Partikel Lagrange*, Proseding Seminar Sehari dalam Rangka HUT LAPAN ke 34, Jakarta, 1997.