

EFEK STABILITAS ATMOSFER TERHADAP PENYEBARAN KARBON MONOKSIDA DI KOTA BANDUNG

W. Eko Cahyono¹ dan I D. G. A. Junnaedhi²

¹) Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer,
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)
Jl. Dr. Junjuran 133 Bandung 40173

²) Program Studi Meteorologi
Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, ITB
Jl. Ganesa 10 Bandung 40132
Email : waluyo@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

Atmospheric stability is very important in determining the air pollution dispersion. The difference value of atmospheric stability will result in differences in the pattern of spread of the equivalent potential temperature pattern seen (θ_e) vertical atmospheric layers; it can be seen that stable or unstable. To determine the effect of atmospheric stability on the spread of air pollution, has been used Taiwan Air Quality Model (TAQM). By using the simulation TAQM, shows that on the morning of equivalent potential temperature gradient greater than during the day, this means quite stable atmospheric layer in the morning so that the spread of pollutants in the vertical direction can not soar. In the daytime equivalent potential temperature gradient is very small, it indicates a very unstable atmospheric layer. On the afternoon of equivalent potential temperature gradient slightly increased so that the spread of pollutants in the vertical direction is reduced and only reaches a height of about 2,250 m for concentrations less than 300 ppb. At night, the early morning, till morning, equivalent potential temperature gradient is greater than in the afternoon so the layers of the atmosphere layer to be stable.

Key words: atmospheric stability, carbon monoxide, TAQM

ABSTRAK

stabilitas atmosfer sangat penting dalam menentukan penyebaran polusi udara. Perbedaan nilai stabilitas atmosfer akan menghasilkan perbedaan pola penyebaran. Dengan melihat pola temperatur potensial ekuivalen (θ_e) secara vertikal maka dapat terlihat lapisan atmosfer yang stabil atau tidak stabil. Untuk mengetahui pengaruh kestabilan atmosfer terhadap penyebaran polusi udara, telah digunakan Taiwan Air Quality Model (TAQM). Dengan simulasi menggunakan TAQM, menunjukkan bahwa

pada pagi hari gradien temperatur potensial ekuivalen lebih besar daripada siang hari, ini berarti lapisan atmosfer cukup stabil pada pagi hari sehingga penyebaran polutan ke arah vertikal tidak dapat membumbung tinggi. Pada siang hari gradien temperatur potensial ekuivalen sangat kecil, hal ini menunjukkan lapisan atmosfer sangat tidak stabil. Pada sore hari gradien temperatur potensial ekuivalen sedikit bertambah sehingga penyebaran polutan ke arah vertikal berkurang dan hanya mencapai ketinggian sekitar 2.250 m untuk konsentrasi yang kurang dari 300 ppb. Pada malam, lalu dini hari, sampai pagi, gradien temperatur potensial ekuivalen lebih besar dari pada sore hari sehingga lapisan atmosfer cenderung stabil.

Kata kunci : stabilitas atmosfer, karbon monoksida, TAQM

1. PENDAHULUAN

Tingkat pencemaran udara di kota-kota besar, khususnya Bandung, saat ini cukup memprihatinkan. Meskipun penggunaan bensin berkadar timbal kini sudah dilarang, kini masih banyak ditemukan kasus kadar timbal di ambang batas pada sebagian anak-anak sekolah dasar di Bandung dan pencemaran lainnya seperti karbon monoksida (CO). Karbon monoksida adalah gas yang tidak berbau, tidak berasa dan juga tidak berwana. Oleh karena itu lingkungan yang telah tercemar oleh gas CO tidak dapat dilihat oleh mata. Gas CO dapat berbentuk cairan pada suhu -192°C . Di udara gas CO terdapat dalam jumlah yang sangat sedikit, hanya sekitar 0,1 ppm. Di daerah perkotaan dengan lalu lintas yang padat konsentrasi gas CO berkisar antara 10 - 15 ppm. Sudah sejak lama diketahui bahwa gas CO dalam jumlah banyak (konsentrasi tinggi) dapat menyebabkan gangguan kesehatan, bahkan juga dapat menimbulkan kematian. Keracunan gas karbon monoksida dapat ditandai dari keadaan yang ringan, berupa pusing, sakit kepala dan mual. Keadaan yang lebih berat dapat berupa menurunnya kemampuan gerak tubuh. (Wardhana, 2004).

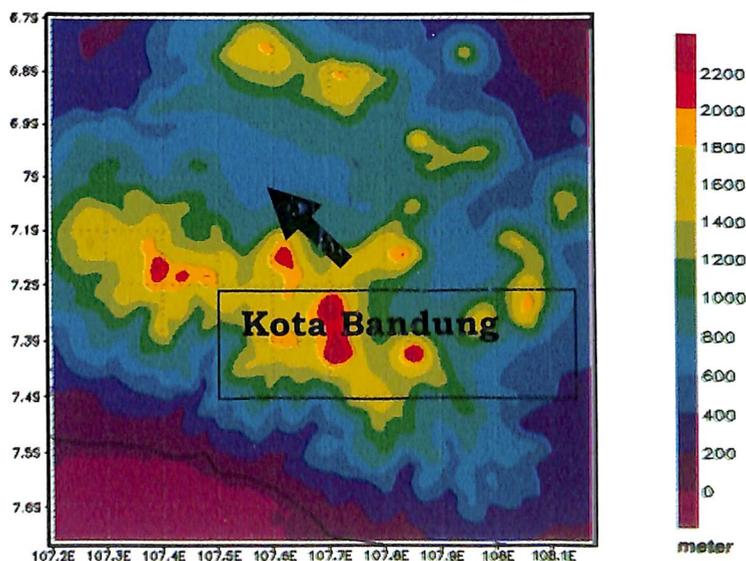
Untuk mengetahui seberapa jauh tingkat penyebaran polusi CO di darah Bandung, akan dibahas dengan mengaitkan pengaruh stabilitas atmosfer yang memakai model kualitas udara TAQM (*Taiwan Air Quality Modelling*). TAQM adalah model hasil pengembangan dari *SARMAP Air Quality Model* (SAQM) yang telah disempurnakan. TAQM membutuhkan masukan berupa data meteorologi dan data emisi. Secara sederhana, TAQM mengolah

data emisi dalam model dispersinya termasuk proses-proses kimia yang terjadi, seperti fotolisis dan sebagainya, sehingga keluaran yang diperoleh merupakan nilai konsentrasi pada daerah domain yang telah ditentukan sebelumnya. TAQM merupakan model kualitas udara untuk wilayah tiga dimensi dengan skala yang luas. Ini didasarkan pada kerangka model RADM dengan merubah dasarnya untuk memperhitungkan penggunaan data meteorologi non-hidrostatik. Hal ini menjadikan model dapat dipakai secara luas (misalnya: resolusi grid horisontal yang lebih rapat), daripada dibatasinya kondisi keseimbangan hidrostatik pada data meteorologi. Konsentrasi udara pada tiap lapisan atmosfer didasarkan pada model yang berdasar pada transportasi atmosfer, sumber emisi, perpindahan deposisi, dan perubahan kimia. (Chang, 1997)

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini mencakup:

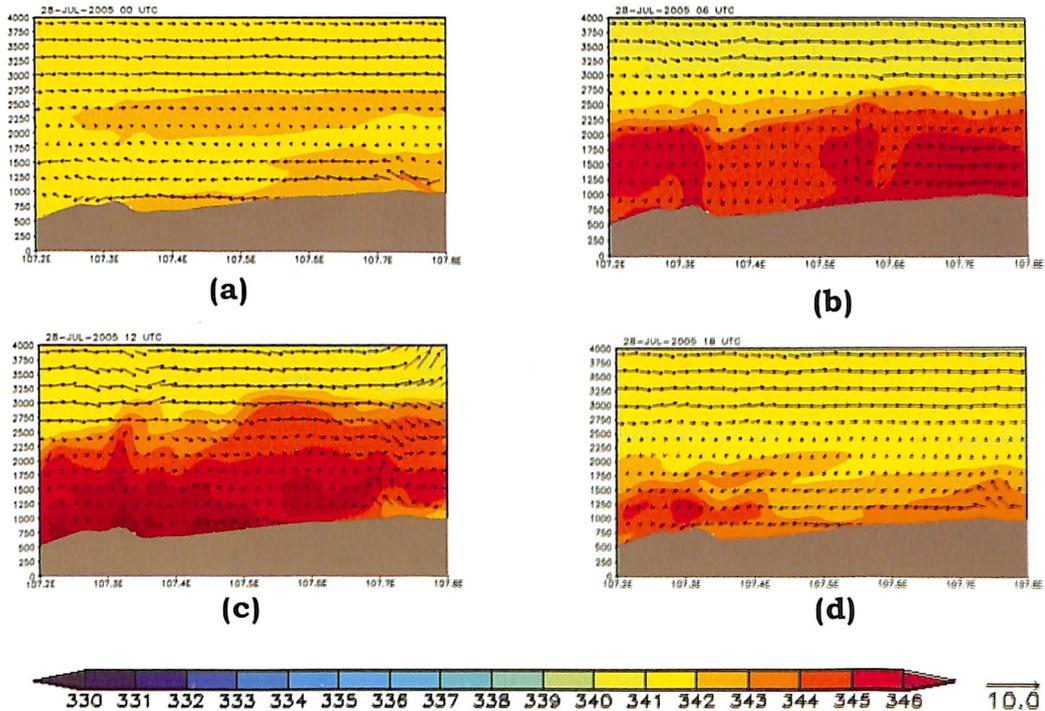
- a. Melakukan pengolahan data emisi kendaraan bermotor di kota Bandung untuk *input* ke dalam TAQM System.
- b. Menjalankan TAQM System untuk kasus sumber bergerak :
 - Data emisi kendaraan berupa sumber area (Bandung)
 - Domain model adalah daerah Bandung dan sekitarnya, dengan ukuran 109 x 109 grid dan resolusi 1 km.



- Sumber emisi berasal dari buangan kendaraan di kota Bandung.
- Data meteorologi menggunakan output MM5 untuk tanggal 22 Juli 2005 00 UTC – 23 Juli 2005 00 UTC yang diperoleh dari *MM5 Community Model Homepage* (MM5, 2005)
- Output MM5 yang digunakan adalah output Domain ke 4 dengan konfigurasi sbb (Comet Program, 1999):
 - Tidak menggunakan skema parameterisasi cumulus
 - Menggunakan skema mikrofisik Reissner2
 - Menggunakan skema radiasi *cloud*
 - Menggunakan skema *shallow convection*
- c. Menampilkan visualisasi dengan mengubah keluaran TAQM dan MetPP (*Meteorology Pre Process*) menjadi format yang dapat dibaca oleh GrADS. Hal ini dilakukan dengan TAQM2GRADS. Untuk visualisasi keluaran model MM5 dilakukan dengan menggunakan MM5toGRADS. Kedua *software* ini menghasilkan GrADS *descriptor file* sehingga hasilnya bisa langsung dibaca dengan GrADS. (COLA, 2005). Disini GrADS berfungsi agar hasil model dapat langsung *plot* dan langsung disimpan ke dalam *file gambar* (.gif) sehingga memudahkan untuk dianalisis selanjutnya.

3. HASIL DAN DISKUSI

Dalam proses difusi, peranan stabilitas atmosfer sangat penting. Perbedaan nilai stabilitas atmosfer akan menghasilkan perbedaan pola penyebaran atau dengan pernyataan lain menghasilkan bentuk kepulan (*plume*) yang berbeda. Dengan melihat pola temperatur potensial ekuivalen (θ_e) secara vertikal maka dapat terlihat lapisan atmosfer yang tidak stabil atau stabil. Temperatur potensial ekuivalen merupakan temperatur udara pada paras referensi (biasanya 1000 mb) yang bisa dianggap udara kering dengan memperhitungkan kalor dari proses uap air dalam udara tersebut. Makin tinggi θ_e makin banyak uap yang dikandung udara tersebut.



Gambar 3.1 Penampang bujur dan ketinggian pada lintang 6.91 LS untuk temperatur potensial ekuivalen (θ_e) pada tanggal 28 - 29 Juli 2005 yang mewakili pagi hari (a), siang hari (b), sore hari (c), dan malam hari (d) disertai dengan pola angin vertikal. Untuk angin vertikal diberi faktor pengali 10 agar lebih terlihat jelas. Daerah yang berwarna abu-abu merupakan penampang topografi. θ_e dalam Kelvin

Gambar 3.1 (a) memperlihatkan lapisan atmosfer berdasarkan lapisan temperatur potensial ekuivalen (θ_e) pada pukul 07.00 BBWI yang mewakili keadaan pagi hari. Pada lapisan permukaan nilai temperatur potensial ekuivalen tidak terlalu besar dan tidak terdapat gradien vertikal yang berarti. Hal ini menandakan adanya lapisan yang cukup netral sampai pada ketinggian sekitar 1750 m. Untuk lapisan di atas 2000 m, terlihat lapisan udara dengan temperatur potensial ekuivalen yang semakin bertambah. Ini menandakan adanya lapisan stabil di ketinggian sekitar 2.000 m.

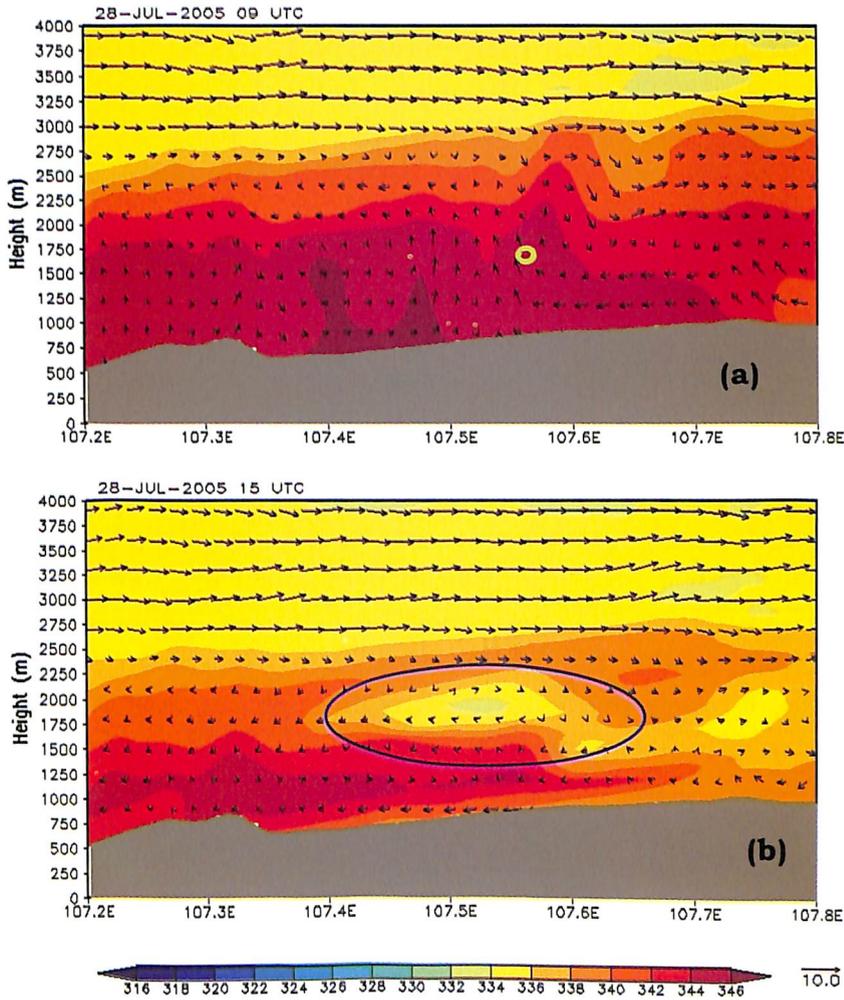
Pada siang hari pukul 13.00 BBWI [Gambar 3.1 (b)], terlihat terjadinya kenaikan temperatur potensial ekuivalen pada permukaan. Hal ini diakibatkan oleh adanya pemanasan pada permukaan. Nilai temperatur potensial ekuivalen tersebut terus

berkurang sampai pada ketinggian sekitar 4.000 m. Hal ini berarti terdapat lapisan tidak stabil sampai pada ketinggian sekitar 4.000 m. Tetapi pada siang hari penurunan temperatur potensial ekuivalen untuk lapisan tidak stabil mencapai > 6 Kelvin sehingga nilai $\partial\theta/\partial z$ lebih kecil dari pada pagi hari. Hal ini menunjukkan bahwa pada siang hari, lapisan di permukaan jauh lebih tidak stabil karena gradien temperatur potensial ekuivalen lebih kecil dari 0.

Nilai gradien temperatur potensial ekuivalen bertambah pada sore menjelang malam hari [Gambar 3.1.(c)] karena pemanasan matahari sudah tidak ada dan panas dari permukaan di lepaskan ke atmosfer. Gradien temperatur potensial ekuivalen makin besar maka atmosfer akan tidak stabil.

Pada Gambar 3.1.d terlihat lapisan temperatur potensial ekuivalen untuk malam hari. Pada gambar terlihat adanya temperatur potensial ekuivalen yang berkurang di lapisan permukaan daripada waktu siang dan sore. Hal ini diakibatkan karena panas dari permukaan bumi semakin berkurang. Lapisan atmosfer tidak stabil ditemui dari permukaan sampai pada ketinggian sekitar 2.500 m.

Puncak ketidakstabilan atmosfer di atas Bandung sebenarnya terjadi pada sekitar pukul 4 sore. Hal ini diperlihatkan oleh Gambar 3.2 (a). Tampak terjadi *updraft* yang kuat di atas kota Bandung. Terdapat konsentrasi uap yang tinggi di antara 107.4 – 107.5 BT. Area dengan penguapan besar ini makin lama makin bergerak ke barat menuju Cimahi. Sampai jam 19.00 [Gambar 3.1 (c)] area θ_e besar sudah berada di atas Bandung Barat dan Cimahi. Hal ini berarti udara di atas Bandung barat dan Cimahi lebih tidak stabil daripada pusat kota Bandung. Makin malam terbentuk area stabil di bagian timur [perhatikan lingkaran biru pada Gambar 3.2 (b)]. Area stabil ini terus bergerak ke barat sampai dini hari [Gambar 3.1 (d)]. Pada pagi hari, kondisi atmosfer cenderung menjadi netral seperti gambar 3.1 (a).



Gambar 3.2 Plot vertikal temperatur potensial ekuivalen (θ_e) dan angin tanggal 28 Juli 2005 pada (a) jam 16.00 BBWI dan (b) jam 21.00 BBWI. θ_e dalam Kelvin

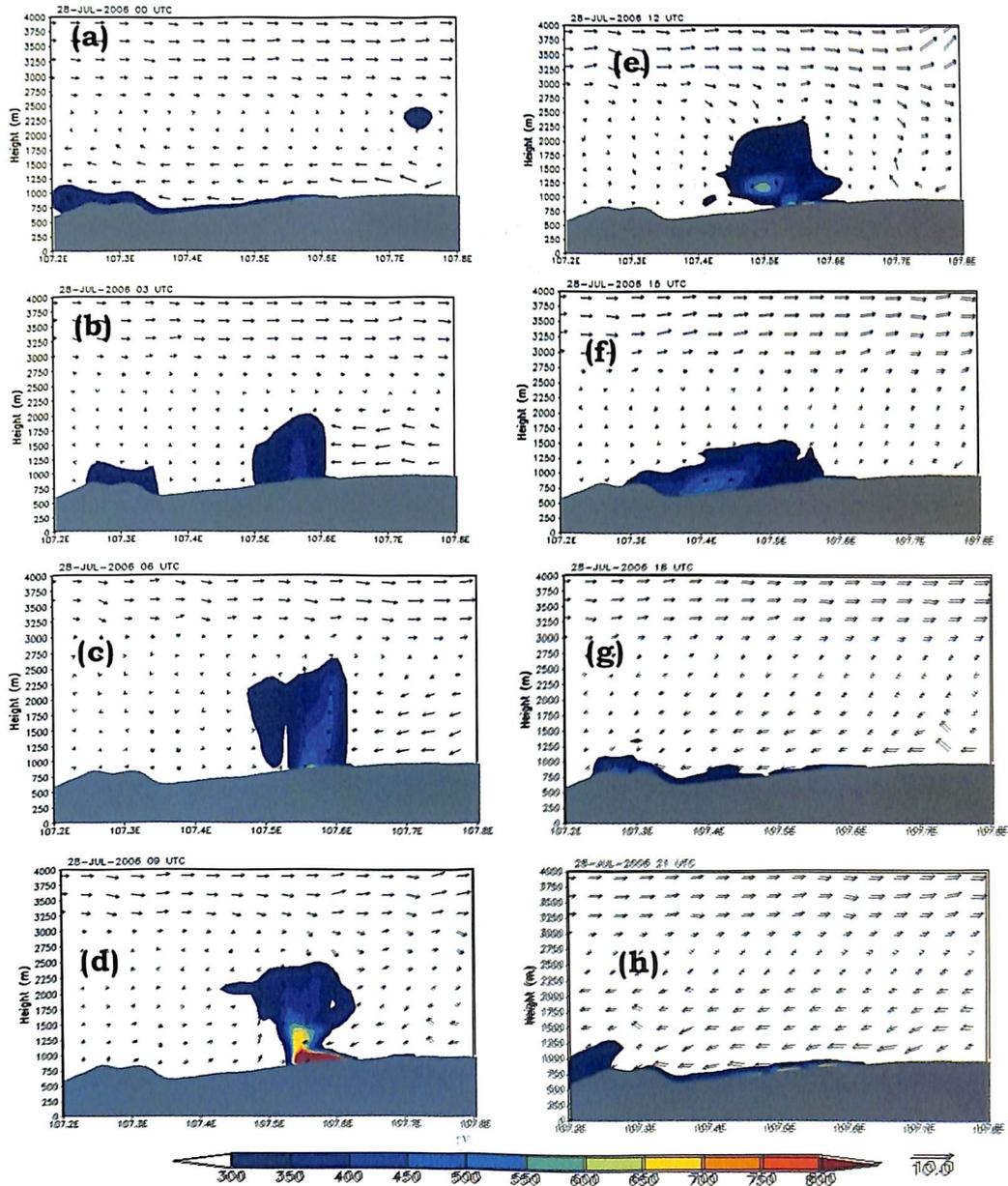
Dalam penyebarannya ke arah vertikal, polutan sangat dipengaruhi oleh stabilitas atmosfer. Polutan akan membung tinggi ketika berada di lapisan tidak stabil. Ketika polutan tersebut menyentuh lapisan atmosfer yang stabil maka polutan tersebut tertahan dan tidak akan membung lebih tinggi lagi karena lapisan stabil sulit ditembus oleh parcel udara. Pola lapisan stabilitas atmosfer ini sangat mempengaruhi karakteristik bentuk penyebaran polutan ke arah vertikal. Selain lapisan stabilitas atmosfer, gaya angin vertikal juga mempengaruhi karakteristik bentuk penyebaran polutan ke arah vertikal. Hal ini

ditunjukkan oleh Gambar 3.3. Gambar ini memperlihatkan adanya hubungan antara penyebaran polutan CO ke arah vertikal dan lapisan kestabilan atmosfer. Dimana lapisan kestabilan atmosfer ini dilihat dari gradien temperatur potensial ekuivalen ke arah vertikal seperti yang telah diperlihatkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 di atas.

Pada pagi hari [gambar 3.3 (a)] gradien temperatur potensial ekuivalen lebih besar daripada siang hari. Ini berarti lapisan atmosfer cukup stabil pada pagi hari sehingga penyebaran polutan ke arah vertikal tidak dapat membumbung tinggi. Pada gambar 3.3 (a) terlihat bahwa polutan yang lebih dari 300 ppb hanya membumbung sampai lapisan kurang dari 1.250 m. Selain itu ada faktor lainnya, yaitu laju emisi yang dikonfigurasi tidak maksimal pada pagi hari.

Pada siang hari [gambar 3.3 (b) – (d)] gradien temperatur potensial ekuivalen sangat kecil. Ini berarti lapisan atmosfer sangat tidak stabil. Selain itu terlihat juga lapisan tidak stabil yang sangat tinggi mencapai ketinggian sekitar 3.000 m. Hal ini mengakibatkan penyebaran polutan ke arah vertikal dapat membumbung tinggi. Faktor laju emisi pun berada pada kondisi maksimal di siang hari sehingga penyebaran polutan dapat membumbung sampai pada ketinggian lebih dari 2.500 m.

Pada sore hari [gambar 3.3 (e)] gradien temperatur potensial ekuivalen sedikit bertambah sehingga penyebaran polutan ke arah vertikal berkurang dan hanya mencapai ketinggian sekitar 2.250 m untuk konsentrasi yang kurang dari 300 ppb.



Gambar 3.3 Pola penyebaran vertikal polutan CO₂ di sepanjang lintang 6.91° LS pada tanggal 28 Juli 2005 jam (a) 07.00, (b) 10.00, (c) 13.00, (d) 16.00, (e) 19.00, dan (f) 22.00 BBWI, serta pada tanggal 29 Juli 2005 jam (g) 01.00, dan (h) 04.00 BBWI. Gambar anak panah merupakan vektor angin zonal-vertikal dalam satuan m/s. Vektor angin vertikal diberi faktor pengali 10 agar terlihat jelas. Konsentrasi CO₂ dalam ppb

Pada malam, lalu dini hari, sampai pagi [gambar 3.3 (f) – (h)] gradien temperatur potensial ekuivalen lebih besar dari pada sore hari sehingga lapisan atmosfer cenderung stabil. Lapisan tidak stabil hanya dijumpai pada ketinggian kurang dari 1.500 m di area tertentu. Hal ini mengakibatkan penyebaran polutan ke arah vertikal hampir tidak dapat terjadi. Selain itu hal ini juga disebabkan oleh konfigurasi laju emisi yang sangat minimal pada malam hari.

Dari hasil ini terlihat jelas bahwa penyebaran polutan di wilayah Bandung dan sekitarnya pada musim kering sangat dipengaruhi oleh 3 faktor, yaitu angin utama, sirkulasi lokal (diurnal) dan kestabilan lapisan udara. Dengan kecenderungan arah polutan di Bandung bagian barat, khususnya pada malam hari, perlu dilakukan penyelidikan lebih lanjut terhadap dampak yang ditimbulkan, terutama bagi masyarakat Bandung bagian barat.

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dengan TAQM terlihat bahwa penyebaran polutan di wilayah Bandung dan sekitarnya sangat dipengaruhi kestabilan atmosfer. Adapun secara rinci pengaruhnya sebagai berikut :

1. Pada pagi hari lapisan atmosfer cukup stabil sehingga penyebaran polutan ke arah vertikal tidak dapat membumbung tinggi.
2. Pada siang hari gradien temperatur potensial ekuivalen sangat kecil, hal ini menunjukkan lapisan atmosfer sangat tidak stabil.
3. Pada sore hari gradien temperatur potensial ekuivalen sedikit bertambah sehingga penyebaran polutan ke arah vertikal berkurang dan hanya mencapai ketinggian sekitar 2.250 m untuk konsentrasi yang kurang dari 300 ppb.
4. Pada malam, lalu dini hari, sampai pagi, gradien temperatur potensial ekuivalen lebih besar dari pada sore hari sehingga lapisan atmosfer cenderung stabil.

DAFTAR RUJUKAN

- Chang, J. S., S. Jin, Y. Li, M. Beauharnois, K.-H. Chang, C.-H. Lu, H.-C. Huang, S. Tanrikulu and J. DaMassa, (1997) *The SARMAP Air Quality Model*," Part 1 of SAQM Final Report to the California Air Resources Board, May, 85p.
- COLA, (2005). *Grid Analysis and Display System (GrADS)*, <http://www.iges.org/grads/>.
- Comet Program, (1999). *Meteorology Education & Training (MetEd) : How Mesoscale Models Work*, University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), Colorado.
- MMM, (2005). *MM5 Community Model Homepage*, <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>.
- Wardhana, W.A., (2004), *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Andi Offset, Yogyakarta