

SIMULASI PENYEBARAN CO DI BANDUNG DENGAN MODEL TAQM

W. Eko Cahyono¹⁾, I DGA. Junnaedhi²⁾, Saipul Hamdi³⁾ dan Yoshida A.²⁾
^{1 & 3)} Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)

Jl. dr. Djunjunan 133 Bandung 40173

²⁾ Program Studi Meteorologi

Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, ITB

Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

Abstrak

Pencemaran udara di kota Bandung sekitar 80% berasal dari sektor transportasi. Untuk mengetahui pola penyebaran polusi udara khususnya CO di Bandung, digunakan data dari emisi kendaraan bermotor dari jalan utama di Bandung, kemudian dilakukan simulasi menggunakan Taiwan Air Quality Model (TAQM). Dari hasil simulasi tampak pada musim kering di daerah sebelah barat kota Bandung konsentrasi CO lebih tinggi dibandingkan sebelah timur kota Bandung. Akan tetapi pola penyebaran ini juga dipengaruhi oleh efek sirkulasi diurnal di daerah tersebut seperti angin gunung dan angin lembah.

Abstract

Air pollution in Bandung city about 80% is resulted from transportation sector. We have used data from motor vehicle emission from main road in Bandung to study dispersion pattern of air pollution especially CO in Bandung city. The study has been done by simulation to apply Taiwan Air Quality Model (TAQM). The simulation result showed higher concentration of CO in westside area than eastside area of Bandung city during dry season. However the dispersion pattern is also influenced by local diurnal circulation effect such as mountain wind and valley wind.

1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara terutama di kota-kota besar telah menyebabkan menurunnya kualitas udara sehingga mengganggu kenyamanan bahkan menyebabkan terjadinya gangguan kesehatan. Menurunnya kualitas udara tersebut terutama disebabkan penggunaan bahan bakar fosil untuk sarana transportasi dan industri yang umumnya terpusat di kota-kota besar, disamping kegiatan rumah tangga dan kebakaran hutan/lahan. Dampak negatif akibat menurunnya kualitas udara cukup berat terhadap lingkungan terutama kesehatan manusia yaitu: menurunnya fungsi paru, peningkatan penyakit pernapasan, dampak karsinogen dan beberapa penyakit lainnya. Selain itu pencemaran udara dapat menimbulkan bau, kerusakan materi, gangguan penglihatan, dan dapat menimbulkan hujan asam yang merusak lingkungan. Karbon monoksida yang meningkat di berbagai perkotaan dapat mengakibatkan turunnya berat janin dan meningkatkan jumlah kematian bayi serta kerusakan otak.

Asap kendaraan merupakan sumber utama polusi di berbagai perkotaan. Data mengungkapkan bahwa 60% pencemaran udara di Jakarta disebabkan karena benda bergerak atau transportasi umum yang berbahan bakar solar. Formasi CO merupakan fungsi dari rasio kebutuhan udara dan bahan bakar dalam proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin diesel. Karena itu strategi penurunan kadar karbon monoksida akan tergantung pada pengendalian emisi seperti penggunaan bahan katalis yang mengubah bahan karbon monoksida menjadi karbon dioksida dan penggunaan bahan bakar terbarukan yang rendah polusi bagi kendaraan bermotor.

Dari hasil penelitian di beberapa kota besar seperti misalnya Jakarta, Bandung, Semarang dan Surabaya menunjukkan bahwa kendaraan bermotor merupakan sumber

utama pencemaran udara. Khususnya di Bandung, kualitas udara akibat polusi udara semakin dipersulit dengan kondisi geografis yang seperti cawan di atas ketinggian sekitar 700 meter, dan tingkat kelembaban yang tinggi. Udara yang terpolusi tersebut seperti kumpulan udara kotor yang terperangkap, tidak dapat teralirkan ke wilayah lain. Sekitar 80 % pencemaran udara di Bandung saat ini bersumber dari sektor transportasi. Terlebih lagi, penambahan jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya 12 persen, sementara penambahan ruas jalan hanya 0,6 persen per tahun. Diperkirakan, saat ini ada 600.000 unit kendaraan yang beroperasi di Kota Bandung, belum termasuk jumlah yang hilir mudik dari luar kota.

Sebenarnya kondisi tersebut diatas juga telah dialami oleh beberapa kota besar di negara lain, namun telah ditangani secara serius sehingga tingkat pencemaran dapat dikurangi. Adapun upaya untuk penanganan tersebut adalah dengan pemantauan secara kontinyu serta dengan pemodelan kualitas udara untuk memprediksi kondisi dimasa mendatang.

Pemantauan dengan melihat arah angin sangat penting, untuk melihat arah penyebaran polutan seperti CO. Karbon Monoksida adalah satu diantara polutan yang paling umum dan tersebar luas, dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna pada bahan-bahan yang mengandung carbon. Sumber utama pada emisi CO dalam lingkungan perkotaan adalah energi tenaga minyak dan diesel. Proses industri yang meliputi pembakaran yang tidak sempurna pada bahan-bahan yang mengandung carbon seperti stasiun tenaga, penyulingan minyak, pengecoran besi (logam) dan pabrik baja, menghasilkan CO dalam jumlah besar. Pembakaran sampah, dimasukkan dalam incenerator dan keluarannya (hasilnya) juga memproduksi CO dalam kuantitas yang besar (WHO,1987). Konsentrasi Carbon Monoksida berubah menurut naik turunnya (laju) intensitas, cuaca, dan jarak dengan sumbernya.

Untuk mensimulasikan penyebaran polutan selama ini digunakan model persamaan difusi Gauss untuk sumber titik dan garis. Salah satu model penyebaran polutan yang pernah digunakan di Indonesia prinsip persamaan difusi Gauss adalah model *Industrial Source Complex Short Term* (ISCST). Akan tetapi model persamaan Gauss tersebut sulit dilakukan apabila digunakan untuk analisis regional dengan parameter-parameter yang bersifat spasial tiga dimensi. Dengan menggunakan model numerik maka analisis tiga dimensi yang bergerak terhadap waktu dapat dilakukan baik untuk skala lokal maupun global. Salah satu model numerik penyebaran polutan salah satunya adalah *Taiwan Air Quality Model* (TAQM). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan simulasi penyebaran CO di daerah Bandung menggunakan model TAQM.

2. TAIWAN AIR QUALITY MODEL (TAQM)

Taiwan Air Quality Model (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 dibuat oleh pengangkutan atmosfer, sumber emisi, perpindahan deposisi, dan perubahan kimia. Hubungan persamaan kekekalan massa yaitu:

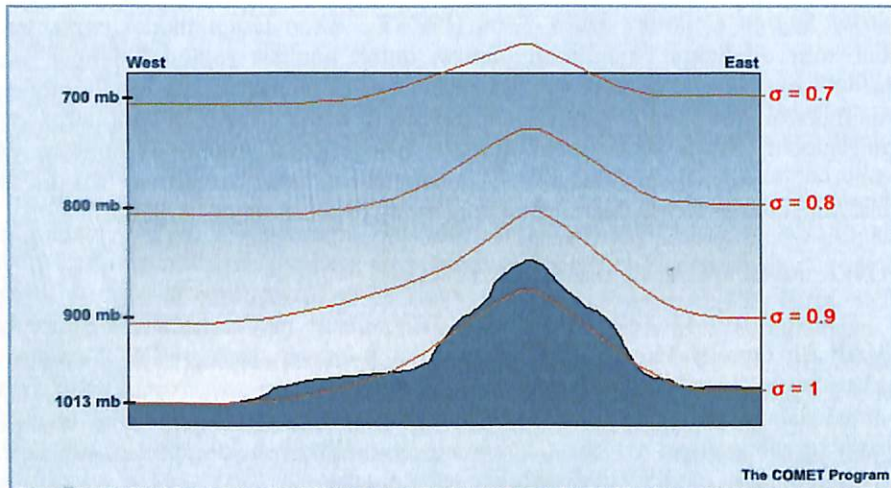
$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\nabla \cdot (\bar{V}C) + \nabla \cdot (K_e \nabla C) + P_{chem} - L_{chem} + E + \left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_{cloud} + \left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_{dry} \dots\dots(2-1)$$

dimana C adalah konsentrasi kimia; \bar{V} adalah vektor kecepatan tiga dimensi pada tiap titik grid dalam domain model; K_e adalah diffusivity eddy digunakan sebagai parameter fluks turbulen skala kecil; P_{chem} dan L_{chem} merupakan penambahan dan pengurangan kecepatan reaksi kimia; E adalah kecepatan sumber emisi; $\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_{cloud}$ adalah perubahan waktu reaksi kimia.

TAQM menggunakan sistem proyeksi Lambert conformal untuk sistem koordinat horizontal. Dan untuk sistem koordinat vertikal, TAQM menggunakan sistem koordinat sigma (σ). Koordinat sigma ini dihitung dari tekanan (p) dengan rumus sebagai berikut (Dudhia et al, 2005):

$$\sigma = \frac{P_0 - P_{T0}}{P_{S0} - P_{T0}} \dots\dots\dots(2-2)$$

dimana P_{S0} adalah tekanan referensi; P_{T0} adalah tekanan konstan puncak koordinat; dan P adalah tekanan referensi di dasar koordinat. Contoh dari sistem koordinat sigma dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 2.1 Sistem Koordinat Sigma (σ). (Comet Program, 1999)

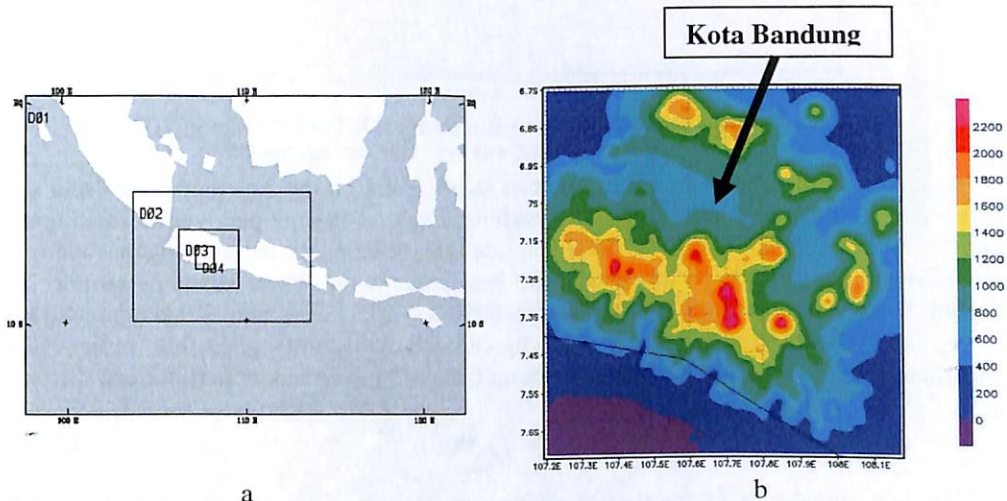
3. EKSPERIMEN NUMERIK

Simulasi penyebaran polutan di atas cekungan Bandung dilakukan dengan menggunakan model numerik kualitas udara TAQM. Model TAQM ini membutuhkan data laju emisi dan keluaran dari model MM5 sebagai masukkannya. Data laju emisi yang digunakan hanya berdasarkan laju emisi dari sumber kendaraan bermotor yang melewati jalan utama di kota Bandung.

3.1 Pengolahan Data Meteorologi (MM5)

Dalam simulasi aliran udara di atas cekungan Bandung digunakan model skala meso MM5. Data utama yang dibutuhkan sebagai masukan dari model MM5 tersebut adalah data FNL (*Final Analyses*) dari NCEP (*National Center for Environmental Prediction*). Selain itu diperlukan juga data *terrain*, yaitu data elevasi permukaan, data vegetasi, distribusi darat-air, dan data kegunaan lahan. Namun data tersebut, sampai resolusi 5 menit, telah disediakan dalam MM5 dalam *repository server*-nya. Jadi bisa dikatakan data ini sudah menjadi satu paket dengan MM5 *Modelling System*.

Data meteorologi menggunakan data FNL untuk tanggal 27 Juli 2005 00 UTC – 29 Juli 2005 00 UTC. Dalam kasus ini digunakan 4 level domain *downscaling* data global FNL untuk memperoleh parameter meteorologi dengan resolusi grid 1 km. Untuk data topografi digunakan data USGS-GTOPO 30 yang sudah termasuk di dalam paket MM5 *Modelling System*. Simulasi Domain 1 dan 2 (dengan resolusi grid 27 km dan 9 km) dilakukan secara simultan, sedangkan perhitungan untuk Domain 3 dan 4 (dengan resolusi grid 3 km dan 1 km) dilakukan secara *off-line* (Gambar 3.1 a).



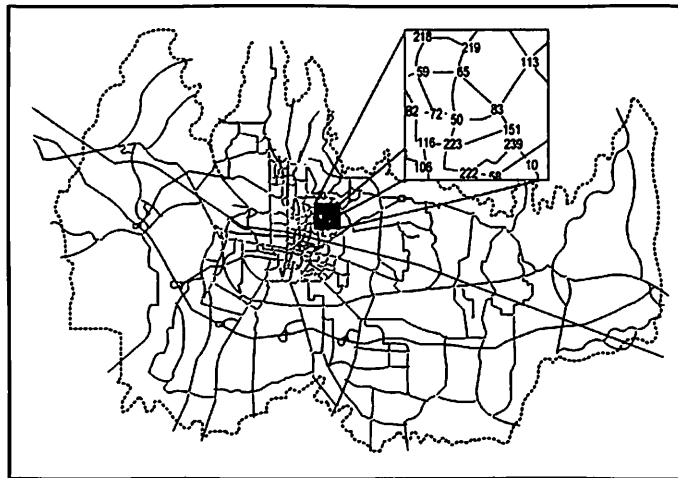
Gambar 3.1 (a) Konfigurasi *downscaling* 4 domain pada MM5 dan (b) kontur topografi daerah pengamatan (domain 4).

Dari hasil perhitungan MM5 diperoleh domain yang meliputi daerah cekungan Bandung dan sekitarnya (Gambar 3.1 b) dengan batasan koordinat $6^{\circ} 27' \text{ LS} - 7^{\circ} 30' \text{ LS}$ dan $107^{\circ} 0' \text{ BT} - 108^{\circ} 0' \text{ BT}$. Domain ke 4 MM5 ini menggunakan konfigurasi sbb :

- ✓ tidak menggunakan skema parameterisasi cumulus
- ✓ menggunakan skema mikrofisik Reissner2
- ✓ menggunakan skema radiasi *cloud*
- ✓ menggunakan skema *shallow convection*

3.2 Pengolahan Data Laju Emisi

Sumber emisi berasal dari buangan kendaraan di kota Bandung. DLLAJ Bandung menyediakan tabel data arus kendaraan perjam selama 1 tahun pada tahun 2001. Data tersebut dilengkapi data kecepatan rata-rata kendaraan, nama jalan dan link-link persimpangan jalan.



Gambar 3.2 Peta jalan utama kota Bandung. (DLLAJ Bandung, 2001)

Data arus kendaraan ini digunakan untuk menghitung laju emisi rata-rata dari sumber emisi kendaraan bermotor kota Bandung. Data ini berupa peta vektor jalan utama kota Bandung (Gambar 3.2) yang dilengkapi dengan nomor link persimpangan. Selain itu DLLAJ juga menyediakan informasi arus kendaraan yang lewat diantara nomor link tersebut. Misalnya untuk link 72-59 Jl.Banda memiliki arus kendaraan 740 kendaraan/jam.

Dari data tersebut dapat dihitung jumlah laju emisi rata-rata perjam dari kendaraan yang melewati utama kota Bandung dengan menggunakan perhitungan dibawah ini:

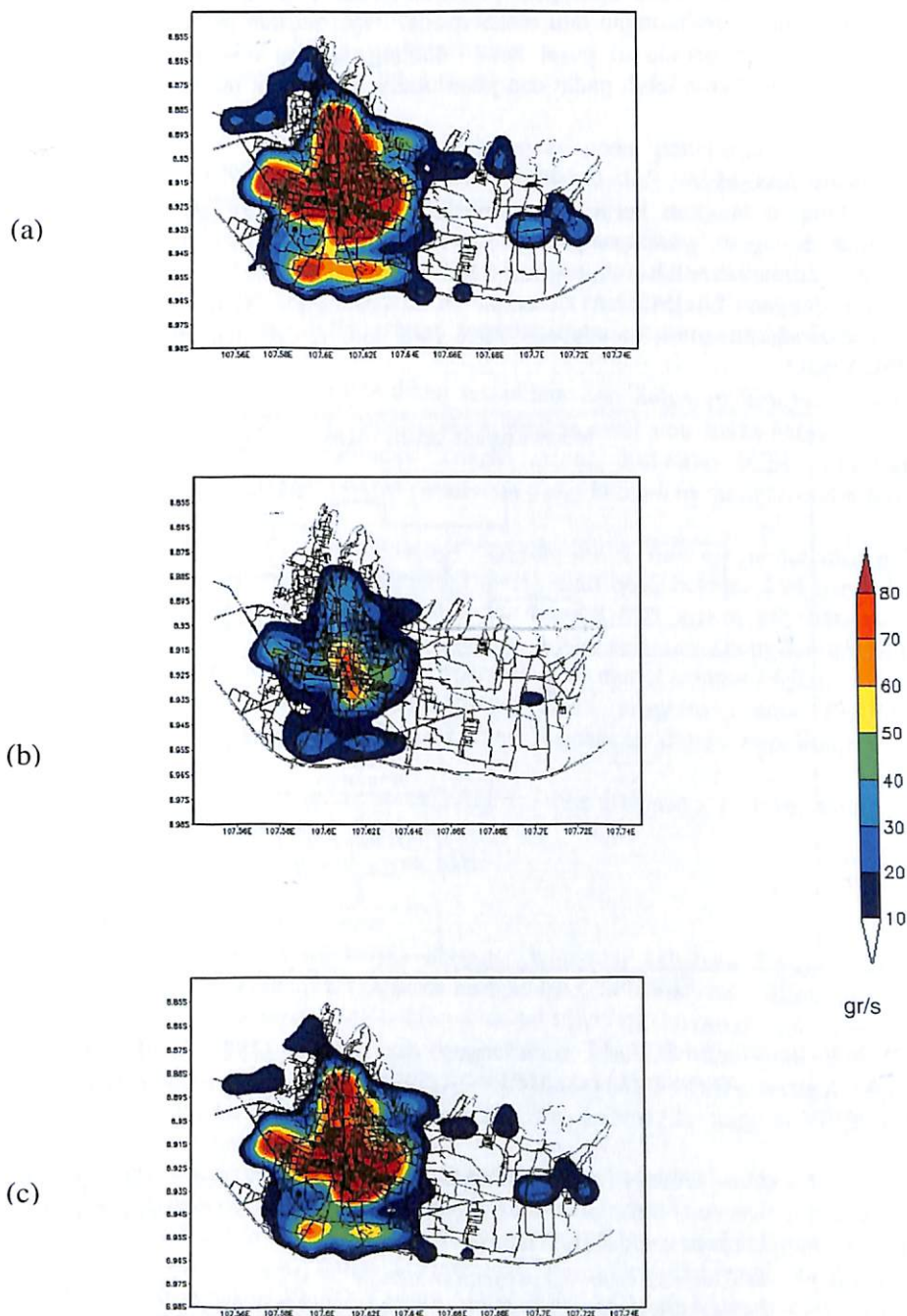
$$Q = n.Ef.Kf.L \quad (3.1)$$

Q adalah laju emisi total (gr/jam), n adalah arus kendaraan perjam (kendaraan/jam), Ef adalah faktor emisi untuk tiap spesies kimia (gr/km), Kf adalah konsumsi bahan bakar tiap kendaraan per km, L adalah panjang jalan (km)

3.3 Pola Laju Emisi

Model kualitas udara membutuhkan data laju emisi. Dalam penelitian ini data emisi diperoleh berdasarkan sumber dari rata-rata kendaraan bermotor yang melewati jalan utama di kota Bandung selama setahun pada tahun 2001. Data arus kendaraan perjam yang diperoleh dari DLLAJ dapat diolah menjadi data laju emisi pada tiap jalan utama di kota

Bandung secara spasial. Sebagai masukan laju emisi untuk TAQM maka dilakukan pendekatan laju emisi yang bersifat periodik diurnal. Konfigurasi perubahan nilai laju emisi untuk jenis polutan CO dapat dilihat pada Gambar 3.3 dibawah ini.



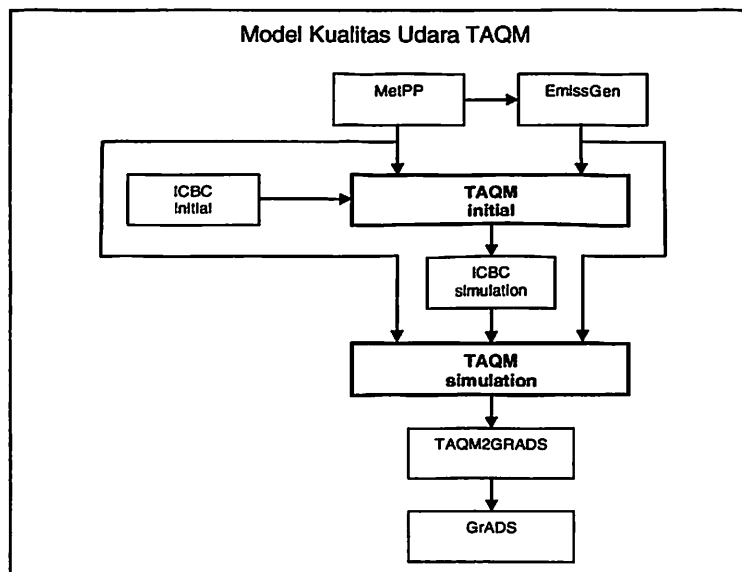
Gambar 3.3 Konfigurasi laju emisi CO secara spasial untuk (a) kondisi maksimum pukul 12.00 BBWI, (b) kondisi minimum pukul 00.00 BBWI, (c) kondisi menengah pukul 06.00 dan 18.00 BBWI

Konfigurasi untuk laju emisi CO diatur agar berada pada nilai maksimum pada siang hari pukul 12.00 BBWI dengan asumsi jumlah kendaraan terpadat berada pada saat tersebut. Untuk laju emisi CO pada nilai minimum diatur pada pukul 00.00 BBWI dengan asumsi pada tengah malam jumlah kendaraan yang beroperasi paling sedikit. Untuk nilai laju emisi kondisi menengah diatur pada pukul 06.00 dan 18.00 BBWI.

Dari hasil perhitungan laju emisi spasial dapat terlihat pada Gambar 3.3 bahwa laju emisi terbesar berada di pusat kota Bandung, hal ini disebabkan karena jumlah kendaraan di pusat kota lebih padat dan jalan utama lebih rapat untuk di bagian Bandung tengah.

3.4 Running TAQM

Adapun langkah kerja dalam menjalankan seluruh *TAQM Modelling System* terdiri atas 3 bagian, yaitu *pre-processing*, *running TAQM*, dan *post-processing*. *Pre-processing* dilakukan oleh subprogram MetPP, EmissGen dan ICBC. *Post-processing* dilakukan dengan TAQM2GrADS untuk mendapat output yang bisa diolah dengan GrADS. Sedangkan untuk mendapat output yang bisa diolah dengan Vis5D digunakan TAQM2Vis5D.



Gambar 3.4 Diagram alir TAQM System.

Setelah diperoleh hasil perhitungan dari model MM5 maka data tersebut digunakan sebagai masukan untuk MetPP. Konfigurasi MetPP yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Dimensi matriks output MM5: 112 x 112 grid x 32 level ketinggian
- Dimensi matriks untuk TAQM: 109 x 109 grid x 15 level ketinggian
- Ukuran grid: 1000.0 meter
- *Latitude of Lambert projection center*: -7.0
- *Longitude of Lambert projection center*: 110.0
- *1st real latitude of Lambert projection*: -5.0
- *2nd real latitude of Lambert projection*: -10.0

EmissGen membutuhkan data masukan dari keluaran MetPP dan data laju emisi dengan format ASCII. Format ASCII untuk masukan EmissGen adalah sebagai berikut:

1. Jumlah data
2. Jenis sumber emisi (titik, garis, dan area) dan periode emisi (harian, diurnal dan semi-diurnal)
3. Laju emisi tiap-tiap spesies kimia
4. Koordinat lintang sumber emisi
5. Koordinat bujur sumber emisi

Konfigurasi EmissGen yang digunakan pada penelitian ini sama seperti konfigurasi pada MetPP karena kedua hasil keluaran dari *preprocessor* ini digunakan sebagai masukan dalam model utama TAQM.

ICBC merupakan program untuk menciptakan kondisi awal dan kondisi batas daerah model. ICBC ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu *initial* dan *simulation*. ICBC *initial* tidak memerlukan masukan apapun karena hanya menciptakan ruang kosong dengan batas-batas ruang model. ICBC *initial* menghasilkan output yang digunakan sebagai masukan TAQM *initial*.

ICBC *simulation* membutuhkan masukan dari keluaran TAQM *initial*. ICBC *simulation* ini berfungsi untuk menciptakan kondisi awal dan batas-batas ruang model yang sudah terisi hasil perhitungan TAQM *initial*. Keluaran ICBC *simulation* ini digunakan sebagai masukan TAQM *simulation* yang kemudian menghasilkan hasil akhir dari model TAQM.

Pembagian *initial* dan *simulation* berguna untuk *spin-up* model dimana model dapat dijalankan dari kondisi kosong tetapi seolah-olah tidak berasal dari kondisi kosong karena kondisi awal untuk waktu selanjutnya diambil dari waktu sebelumnya. Dalam penelitian ini setiap kasus dilakukan perhitungan model selama 48 jam dan untuk *spin-up* model diambil 24 jam pertama sehingga diperoleh hasil model selama 24 jam.

Setelah melewati tahap-tahap diatas maka program utama TAQM dapat dijalankan. Beberapa konfigurasi TAQM yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Dimensi matriks untuk TAQM: 109 x 109 grid x 15 level ketinggian
- Ukuran grid: 1000.0 meter
- Proses pengaruh awan: aktif

3.6 Visualisasi

Teknik visualisasi dilakukan dengan mengubah keluaran TAQM dan MetPP 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. Disini GrADS berfungsi agar hasil model dapat langsung di-*plot* dan langsung disimpan ke dalam *file* gambar (.gif) sehingga memudahkan untuk dianalisis selanjutnya.

Dalam visualisasi keluaran model, dilakukan *plotting* secara horizontal dan vertikal yang berderet waktu (*time series*) untuk berbagai macam variabel. Hal ini dilakukan karena hasil keluaran model MM5 dan TAQM merupakan matriks 3 dimensi untuk tiap-tiap variabelnya. Sebagai tambahan, untuk melihat pola 3 dimensi hasil keluaran model digunakan Vis5D. Output MM5 dan TAQM di-konvert ke format Vis5D menggunakan TOVIS5D dan TAQM2VIS5D.

4 HASIL DAN DISKUSI

4.1 Pola Angin

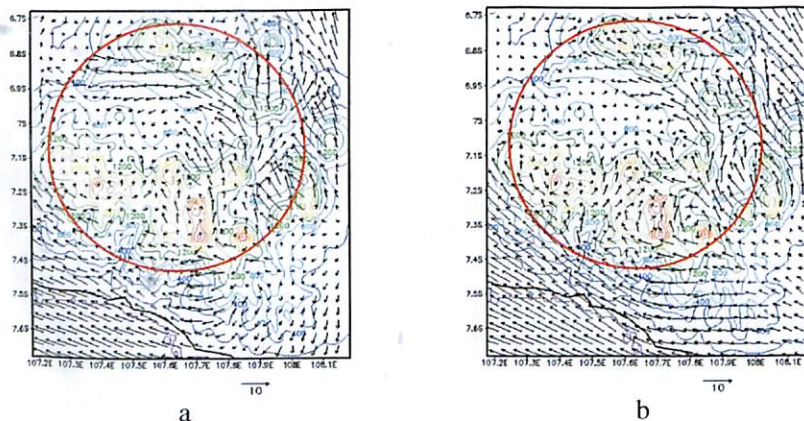
Pada ruang dan waktu kajian di bulan kering (Juli), angin dominan bertiup dari arah tenggara. Hal ini diakibatkan oleh adanya angin monsun tenggara dari arah Australia. Angin dominan ini sangat mempengaruhi karakteristik angin utama pada daerah kajian. Selain angin dominan, pengaruh topografi dan tutupan lahan juga memiliki pengaruh penting terhadap terjadinya pola sirkulasi angin lokal secara diurnal.

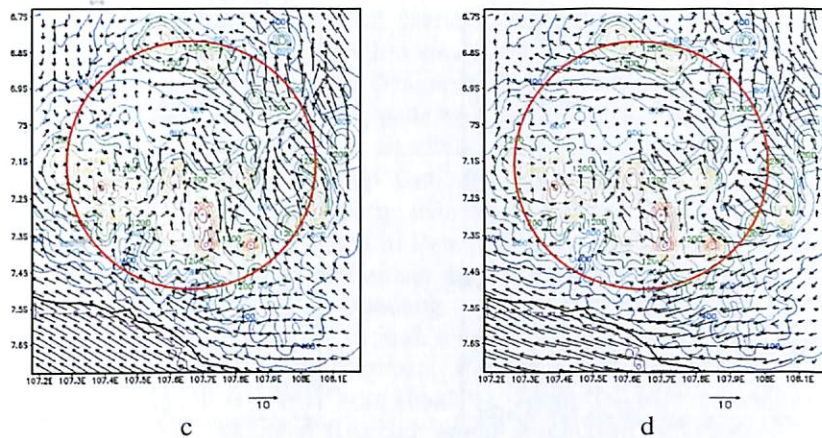
Dari Gambar 4.1 (c) terlihat bahwa pada siang hari terjadi angin lembah. Angin ini bertiup dari lembah di bagian tengah lingkaran merah yang merupakan daerah cekungan Bandung yang topografinya lebih rendah daripada sekitarnya. Angin ini bertiup menuju pegunungan yang mengelilingi cekungan Bandung. Angin ini terjadi karena bagian lereng dan puncak pegunungan lebih cepat panas pada siang hari dibandingkan daerah lembah. Akibatnya tekanan di daerah lembah lebih tinggi daripada bagian lereng dan puncak pegunungan.

Angin lokal ini tidak terlihat begitu kencang, sebab pengaruh angin monsun tenggara yang menjadi angin utama tampak lebih dominan. Namun angin ini cukup memberikan redaman bagi tiupan angin monsun tenggara di siang hari. Tampak pola angin permukaan di atas Bandung cenderung menyebar ke segala arah di siang hari. Angin ini tampak paling kuat ketika sore menjelang malam [Gambar 4.1 (d)]. Hal ini karena topografi pegunungan di sekitar Bandung yang lebih tinggi di bagian timur daripada di bagian barat. Topografi seperti ini menyebabkan puncak pemanasan matahari terhadap lereng gunung terjadi setelah matahari berada di barat.

Ketika malam hari, dari Gambar 4.1 (d), terlihat kecepatan angin lembah berkurang dan bahkan berbalik arah dari arah sebelumnya. Angin tampak bertiup dari gunung menuju lembah. Ini merupakan terjadinya peristiwa angin gunung. Angin ini terjadi karena puncak pegunungan lebih cepat menjadi dingin daripada bagian lembah, sehingga tekanan di puncak lebih tinggi dari area sekitarnya yang lebih rendah.

Angin gunung ini bertiup dari pegunungan di bagian utara, timur dan selatan menuju cekungan Bandung. Angin ini cenderung berkumpul di bagian lembah dan mengarah ke barat kota Bandung yang lebih rendah. Pada pagi hari [Gambar 4.1 (a)] angin ini masih tampak dominan sebab cahaya matahari masih terhalang punggung gunung di bagian timur. Tiupan angin gunung ini lebih kencang daripada angin lembah, sehingga kemungkinan bisa meniup polutan hingga cukup jauh.





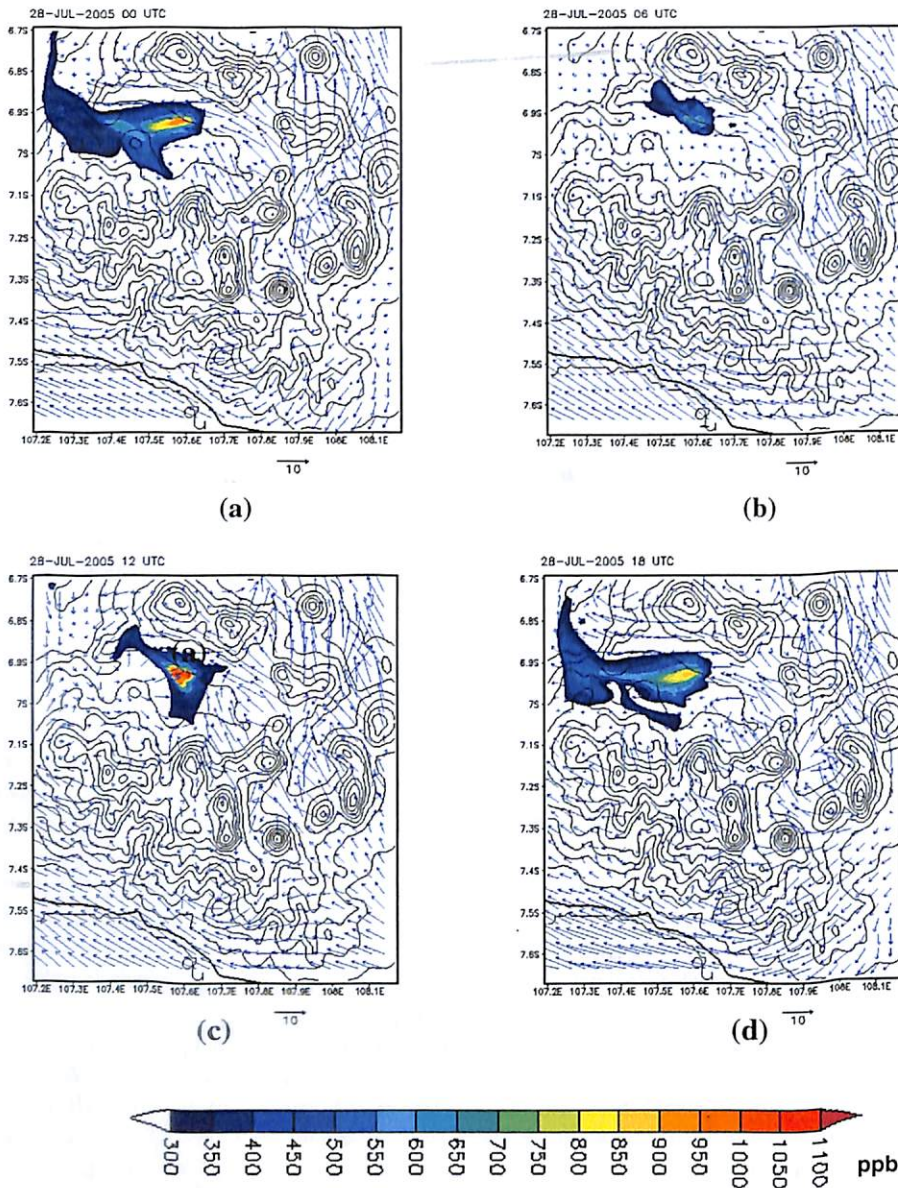
Gambar 4.1 Pola vektor angin lokal (m/s) di sekitar cekungan Bandung pada tanggal 28 Juli 2005 pukul 06.00 BBWI (a), 12.00 BBWI (b), pukul 18.00 BBWI (c) dan tanggal 29 Juli 2005 pukul 00.00 BBWI (d). Daerah lingkaran merah menunjukkan sirkulasi diurnal angin gunung dan angin lembah di wilayah Bandung. Garis kontur menunjukkan ketinggian (elevasi) dalam meter.

4.2. Pola Penyebaran Polutan CO

Dari pola angin pada musim kering, angin bertiup secara dominan dari arah tenggara. Sedangkan daerah topografi Bandung dari arah tenggara – barat laut, bentuk topografinya cenderung datar sehingga angin permukaan yang bertiup di atas Bandung menuju barat laut tidak terlalu terhalang.

Angin permukaan yang tidak terhalang ini mengakibatkan pola penyebaran polutan yang berasal dari kota Bandung cenderung bergerak ke arah barat laut karena faktor utama sebagai penggerak massa udara adalah angin. Dari beberapa hasil model TAQM dapat terlihat bahwa polutan CO yang diemisikan dari kota Bandung cenderung menyebar ke arah barat laut.

Di siang hari terdapat pengaruh angin lembah yang melemahkan angin utama. Akibatnya polutan cenderung bergerak vertikal. Ditambah lagi dengan ketidakstabilan yang tinggi pada siang hari makin membuat polutan membubung tinggi. Sedangkan pada malam hingga pagi hari, tiupan angin gunung memperkuat “sapuan” angin tenggara. Akibatnya polutan cenderung bergerak ke arah barat laut sampai mencapai jarak yang jauh. Namun kondisi atmosfer yang cenderung stabil pada saat tersebut membuat penyebaran polutan hanya berada di lapisan yang dekat permukaan. Gambar 4.4 memberikan gambaran pola penyebaran polutan pada pagi, siang, sore dan malam hari di atas kota Bandung. Pada gambar tersebut juga disertakan pola angin permukaan.



Gambar 4.4 Pola penyebaran polutan CO di permukaan pada musim kering tanggal 28 Juli 2005 yang di-overlay dengan plot vektor angin permukaan. (a) Plot pada pagi hari jam 06.00, (b) pada siang hari jam 12.00, (c) pada sore hari jam 18.00, dan (d) pada tengah malam jam 00.00 tanggal 29 Juli 2005. Konsentrasi CO dalam ppb.

Pada gambar 4.4 terlihat bahwa pola penyebaran polutan CO bergerak ke arah barat laut. Ini berarti pada musim kering di daerah sebelah barat kota Bandung konsentrasi CO lebih tinggi dibandingkan sebelah timur kota Bandung. Tetapi pola penyebaran ini

juga dipengaruhi oleh efek sirkulasi diurnal di daerah tersebut seperti angin gunung dan angin lembah dan juga ketebalan lapisan stabilitas atmosfer.

Gambar 4.4 memperlihatkan adanya pengaruh angin lembah pada siang hari (b) dan sore hari (c), serta pengaruh angin gunung pada malam (d) dan pagi hari (a). Pada pagi hari polutan menyebar ke daerah barat kota Bandung. Hal ini diakibatkan oleh adanya pengaruh angin gunung yang masih bertiup dan angin dominan dari arah tenggara. Penguatan angin tenggara oleh angin gunung menyebabkan penyebaran polutan bisa mencapai jauh ke arah barat. Ditambah topografi Bandung bagian barat yang lebih rendah dari bagian utara, timur, dan selatan menyebabkan daerah Bandung bagian barat seolah-olah menjadi hilir penyebaran CO dari kota Bandung.

Pada siang hari, angin dominan dari arah tenggara terhalang oleh adanya angin lembah yang mulai naik dari lembah cekungan Bandung dan mengakibatkan pola penyebaran polutan berkumpul di sekitar kota Bandung. Angin lembah meredam angin tenggara sehingga di wilayah cekungan Bandung angin permukaan cenderung menjadi tenang. Akibatnya pergerakan polutan cenderung vertikal ke atas dalam area horizontal yang sempit.

Di sore hari ketika angin lembah mencapai puncaknya, angin ini mampu mendorong angin timur dan tenggara lebih jauh. Di Gambar 4.4 (c) tampak angin lembah mendorong polutan ke arah utara, timur laut dan ke timur. Akibatnya penyebaran horizontal CO tampak dipersempit. Sebaran polutan CO seolah-olah ditekan dari dua arah yang berlawanan, sehingga terbentuk konsentrasi CO yang tinggi di bagian tengah kota Bandung. Ditambah masih tingginya ketidakstabilan udara pada jam 19.00, maka polutan CO akan cenderung bergerak ke atas dan menarik polutan dekat permukaan ke tengah-tengah sebagai konsekuensi kekekalan massa. Bisa dilihat dengan jelas bahwa pada jam inilah konsentrasi polutan CO paling tinggi di atas kota Bandung.

Kondisi di malam hari jauh berbeda dari siang dan sore hari. Tiupan angin gunung yang sejajar bahkan cenderung searah dengan tiupan angin utama (monsun tenggara) memperkuat dorongan angin terhadap polutan. Tampak penyebaran CO yang meluas dan mencapai jauh ke bagian barat Bandung [Gambar 4.4 (d)]. Karena luasnya area penyebaran horizontalnya maka konsentrasi CO cenderung kecil. Topografi Bandung barat yang lebih rendah memudahkan penetrasi polutan jauh ke arah barat dan barat laut. Kondisi ini terus bertahan hingga pagi hari sampai timbul angin lembah di siang hari menggantikan tiupan angin gunung.

5. KESIMPULAN

Dari simulasi yang dilakukan menunjukkan konsentrasi CO yang tinggi di pusat kota Bandung, sehingga perlu dilakukan upaya mereduksi pengeluaran gas berbahaya dari kendaraan, antara lain dengan menerapkan batas usia kendaraan yang laik jalan. Dari hasil simulasi tampak pada musim kering di daerah sebelah barat kota Bandung konsentrasi CO lebih tinggi dibandingkan sebelah timur kota Bandung. Akan tetapi pola penyebaran ini juga dipengaruhi oleh efek sirkulasi diurnal di daerah tersebut seperti angin gunung dan angin lembah.

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, *The SARMAP Air Quality Model*, Part 1 of SAQM Final Report to the California Air Resources Board, May, 85p., 1997.
- COLA, *Grid Analysis and Display System (GrADS)*, <http://www.iges.org/grads/>, 2005.

Comet Program, *Meteorology Education & Training (MetEd) : How Mesoscale Models Work*, University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), Colorado, 1999.

Comet Program, *Meteorology Education & Training (MetEd) : Impact of Model Structure & Dynamics*, University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), Colorado, 1999.

Comet Program, *Meteorology Education & Training (MetEd) : Model Fundamentals* . University Corporation for Atmospheric Research (UCAR),1999.

Comet Program, *Meteorology Education & Training (MetEd) : Thermal Circulation II – Mountain and Valley Breeze*. University Corporation for Atmospheric Research (UCAR),1999.

Dudhia, Jimmy and Co-authors, *PSU/NCAR Mesoscale Modelling System Tutorial Class Notes and User's Guide : MM5 Modelling System Version 3*. Mesoscale and Microscale Meteorology Division NCAR, 2005.

Kalnay, Eugenia, *Atmospheric Modelling, Data Assimilation and Predictability*, Cambridge UK, Cambridge University Press, 2003.

MMM, *MM5 Community Model Homepage*, <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>, 2005.