

DISPERSI VERTIKAL DAN HORIZONTAL SO₂ DI PLTU SURALAYA BANTEN

Waluyo Eko Cahyono
Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Email: wecahyono@bdg.lapan.go.id

ABSTRAK

Pencemaran udara adalah pelepasan bahan-bahan kimia dan partikulat ke atmosfer. Secara umum sebagai contohnya termasuk di dalamnya karbon monoksida, sulfur dioksida, klorofluorokarbon, dan oksida nitrogen yang dihasilkan oleh industri dan kendaraan bermotor. Di banyak negara, konsentrasi SO₂ dan SPM yang meningkat sebagai suatu konsekuensi terhadap meningkatnya pembakaran bahan bakar fosil. Untuk mengetahui pola penyebaran polusi udara khususnya gas SO₂ di area PLTU Suralaya, digunakan data emisi dari PLTU Suralaya Banten, kemudian dilakukan simulasi menggunakan Taiwan Air Quality Model (TAQM). Dari hasil simulasi tampak pada siang hari konsentrasi SO₂ lebih tinggi dibandingkan malam hari, akan tetapi pola penyebaran ini juga dipengaruhi oleh efek sirkulasi diurnal di daerah tersebut seperti kecepatan angin dan arah angin. Selain itu juga dianalisis berdasarkan data meteorologi dengan simulasi trayektori polutan sebagai keluaran software TAPM V.3.0. Dari hasil terlihat bahwa pada bulan November penyebaran polutan bisa mencapai Pulau Sumatera disebabkan angin dominan pada bulan November adalah Angin Tenggara.

Kata kunci: polusi udara, sulfur dioksida, penyebaran dan TAQM.

ABSTRACT

Air pollution is release of chemical substances and particulates into the atmosphere. As examples it includes carbon monoxide, sulfur dioxide, chlorofluorocarbons, and nitrogen oxides which produced by industry and motor vehicles. In many countries, increased SO₂ (sulphur dioxide) and SPM concentrations are as a consequence of increasing combustion of fossil fuels. We have used emission data from PLTU Suralaya Banten to study dispersion pattern of air pollution especially SO₂ in PLTU Suralaya region. The study has been done by simulation by applying Taiwan Air Quality Model (TAQM). The simulation result showed higher concentration of

SO₂ in day time than night time, however the dispersion pattern is also influenced by local diurnal circulation effect such as speed and wind direction. Moreover based on meteorological data, simulation of pollutant trajectory by using software TAPM V.3.0 was also analyzed. From the results it showed that on November the dispersion of pollutant reached Sumatera Island, because the dominant winds in November was Southeasterly Winds.

Key words: air pollution, sulphure dioxide, dispersion dan TAQM

1 PENDAHULUAN

Pencemaran udara di Indonesia sudah menjadi salah satu masalah besar yang harus dihadapi dan ditangani secara intensif khususnya di kota-kota besar seperti Jakarta, Medan, Surabaya dan Bandung. Sektor transportasi mempunyai kontribusi terbesar pada pencemaran udara di daerah perkotaan (Cooper & Alley 1994 dan PCI report 1997). Untuk mengetahui tingkat pencemaran udara di suatu daerah maka harus dilakukan pemantauan atau monitoring secara intensif dan terpadu. Selanjutnya dari hasil pemantauan ini pemerintah dapat melakukan tindakan-tindakan lebih lanjut atau mengambil kebijakan dalam pengelolaan lingkungan di daerahnya.

Pencemaran udara adalah masuknya, atau tercampurnya unsur-unsur berbahaya ke dalam atmosfer yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan, gangguan pada kesehatan manusia secara umum serta menurunkan kualitas udara. Pencemaran udara dapat terjadi di mana-mana, misalnya di dalam rumah, sekolah, dan kantor. Pencemaran ini sering disebut pencemaran dalam ruangan (*indoor pollution*). Sementara itu pencemaran di luar ruangan (*outdoor pollution*) berasal dari emisi kendaraan bermotor, industri, perkapalan, dan proses alami oleh makhluk hidup.

Sumber pencemar udara dapat diklasifikasikan menjadi sumber diam dan sumber bergerak. Sumber diam terdiri dari pembangkit listrik, industri dan rumah tangga. Sedangkan sumber bergerak adalah aktifitas lalu lintas darat, laut dan udara. Pada penelitian ini akan mengambil kasus PLTU Suralaya yang merupakan industri besar dengan cerobong dan emisi

polutan cukup tinggi. Di sekitar PLTU Suralaya juga terdapat banyak industri yang menghasilkan banyak polutan ke udara. Letak PLTU Suralaya dilihat bentuk topografinya sangat unik. Dilihat dari posisi dan besarnya polutan, maka PLTU Suralaya dan industri sekitarnya sangat menarik untuk dikaji bagaimana pola sebaran polutannya. Kajian penyebaran polusi menggunakan Taiwan Air Quality Model (TAQM) yang telah dikembangkan oleh Lapan Bandung sejak 2005. Polutan yang dikaji hanya satu jenis saja, yaitu SO₂ dengan asumsi bahwa polutan jenis lain mempunyai pola sebaran yang tidak jauh berbeda.

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. (Huang, 2004). Hal ini menjadikan model dapat dipakai secara luas (misalnya: resolusi grid horisontal yang lebih rapat), daripada dibatasinya kondisi keseimbangan hidrostatik pada data meteorologi. Konsentrasi polutan udara pada tiap lapisan atmosfer didasarkan pada model yang dibuat oleh sumber emisi, perpindahan, deposisi, kelarutan dalam awan dan perubahan kimia. Hubungan persamaan kekekalan massa yaitu:

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

dimana C adalah konsentrasi polutan; \bar{V} adalah vektor kecepatan tiga dimensi pada tiap titik grid dalam domain model; K_e adalah koefisien difusi eddy, P_{chem} dan L_{chem} merupakan penambahan dan pengurangan kecepatan reaksi kimia; E adalah kecepatan emisi; $\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_{cloud}$ adalah perubahan konsentrasi kimia akibat pengaruh keberadaan awan dan $\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_{dry}$ adalah perubahan konsentrasi kimia akibat pengaruh deposisi kering. (Chang et.al, 1997 dan Julius et.al, 1997)

2 DATA DAN METODOLOGI

Data meteorologi yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari data AVN/GFS. Namun data AVN/GFS ini memiliki resolusi grid $1^\circ \times 1^\circ$ atau sekitar $111 \text{ km} \times 111 \text{ km}$. Untuk memperoleh data meteorologi dengan ukuran grid skala lokal maka diperlukan adanya proses downscaling yang dilakukan oleh model MM5. (Dudhia, 2004). Hasil keluaran MM5 tersebut memiliki jumlah grid 112×112 dengan resolusi grid 1 km . Simulasi parameter meteorologi dilakukan untuk pada 30 November 2006 selama satu hari secara horizontal dan 6 Desember 2006 selama satu hari secara vertikal dengan interval 1 jam. Data laju emisi tiap-tiap cerobong diperoleh dari pihak PLTU Suralaya. Dengan mengetahui titik-titik koordinat tiap-tiap cerobong, maka dapat dibuat format masukkan data emisi untuk dapat dibaca oleh TAQM. Data laju emisi yang digunakan disini adalah untuk jenis spesies S_2 sulfur dioksida.

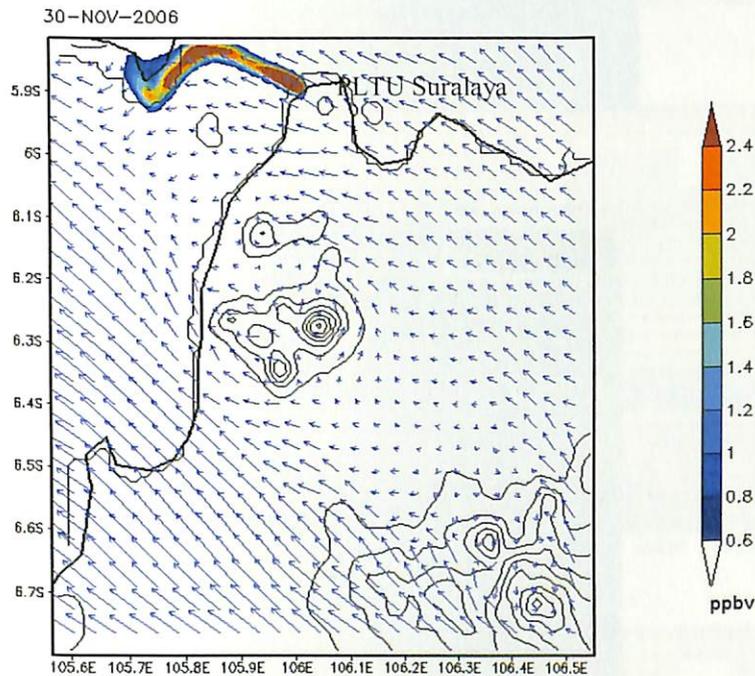
Dari kedua data tersebut telah dilakukan simulasi penyebaran polutannya dengan menggunakan model TAQM. Dimana perhitungan konsentrasi tiap-tiap spesies kimia di udara dipengaruhi oleh transpor atmosfer, sumber emisi, penghilangan deposisi, reaksi kimia dan pelarutan dalam awan.

Selain itu telah dilakukan simulasi trayektori polutan PLTU Suralaya dengan hasil running dari *software* The Air Pollution Model (TAPM) V.3.0 secara horizontal pada 30 November 2006 dan 30 November 2011. Langkah pertama untuk proses running penyebaran polusi adalah menentukan waktu dan domain simulasi atau besarnya wilayah yang akan disimulasikan. Menentukan terlebih dahulu koordinat titik pusat simulasi, setelah itu domain simulasi (luas daerah yang disimulasikan) yang dibagi menjadi beberapa grid. Jumlah grid yang digunakan yaitu 60×60 . Ukuran tiap luas gridnya untuk domain terbesar diambil seluas $10000 \text{ m} \times 10000 \text{ m}$ sebagai nesting pertama. Dari domain terbesar ini dilakukan nesting kedua, yaitu dengan ukuran grid $3000 \text{ m} \times 3000 \text{ m}$. Kemudian, ukuran grid untuk nesting ketiga yaitu $1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$, sehingga luasan domainnya mencakup luasan $600 \text{ km} \times 600 \text{ km}$ untuk domain besar, dan $60 \text{ km} \times 60 \text{ km}$ untuk domain kecil. Metode yang dipilih untuk metode penyebarannya dipilih *Eulerian grid* (EGM). EGM terdiri dari grid nesting berdasarkan solusi persamaan

konsentrasi Eulerian yang mewakili adveksi, difusi, dan reaksi kimia, dan proses deposisi kering dan basah. Sebagai keluaran proses running untuk penentuan penyebaran polusi, titik pengamatan ditempatkan pada daerah pusat simulasi. Selanjutnya, untuk melihat penyebaran polutan dari suatu kawasan industri digunakan *Interactive Mode*, yaitu suatu fasilitas menu yang terdapat pada software GIS (Sofiati, 2008)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. HASIL



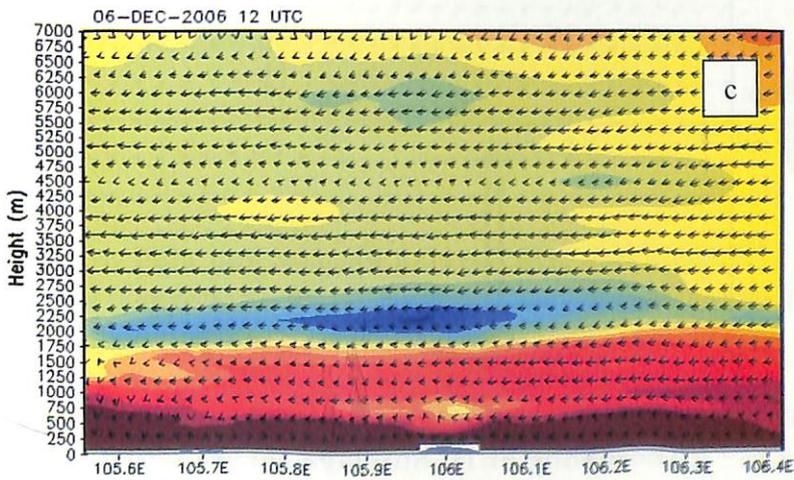
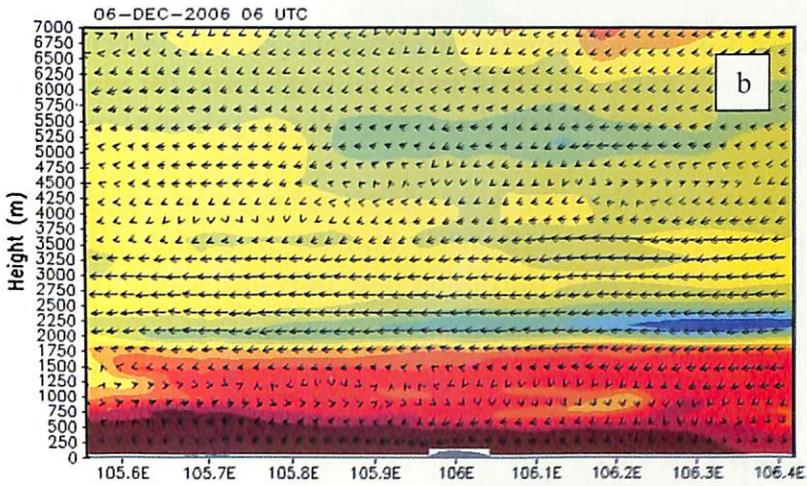
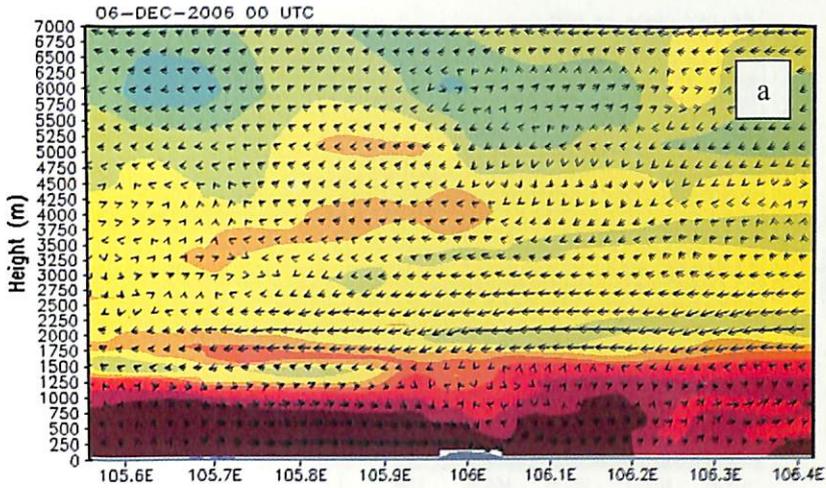
Gambar 3.1 Simulasi penyebaran polutan untuk SO_2 selama satu hari dengan dua dimensi dengan TAQM di PLTU Suralaya

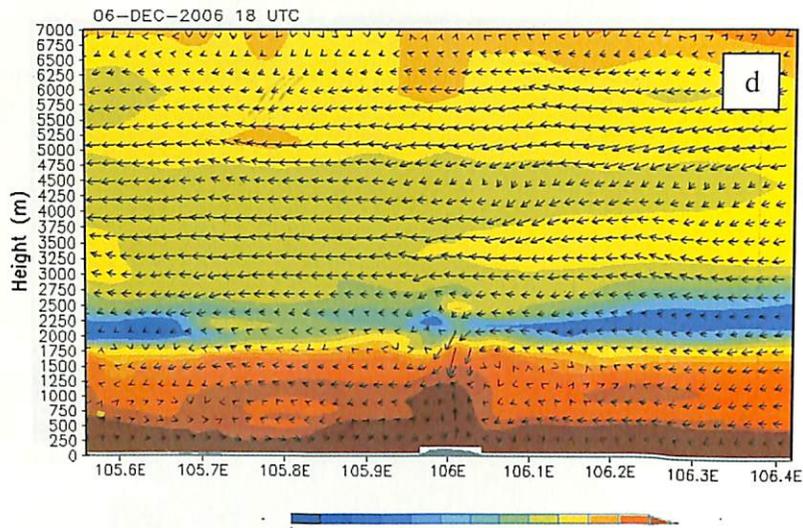
Pada gambar 3.1 merupakan hasil simulasi penyebaran polutan untuk SO_2 selama satu hari dengan dua dimensi pada 30 November 2006. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa penyebaran polutan cenderung bergerak ke arah barat laut



Gambar 3.2 Trayektori polutan hasil running TAPM pada 30 November 2006 (a) dan 30 November 2011(b)

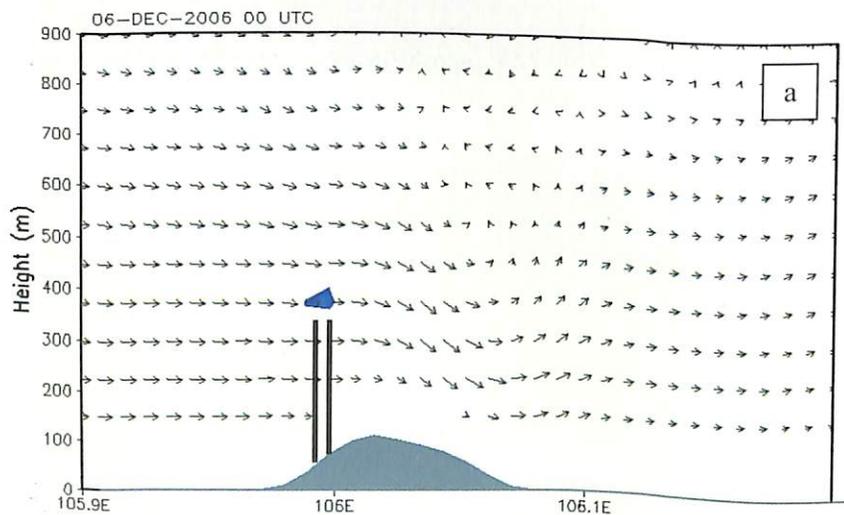
Pada gambar 3.2 merupakan hasil simulasi trayektori penyebaran polutan untuk SO₂ selama satu hari dengan dua dimensi pada 30 November 2006 . Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa trayektori penyebaran polutan cenderung bergerak ke arah barat laut



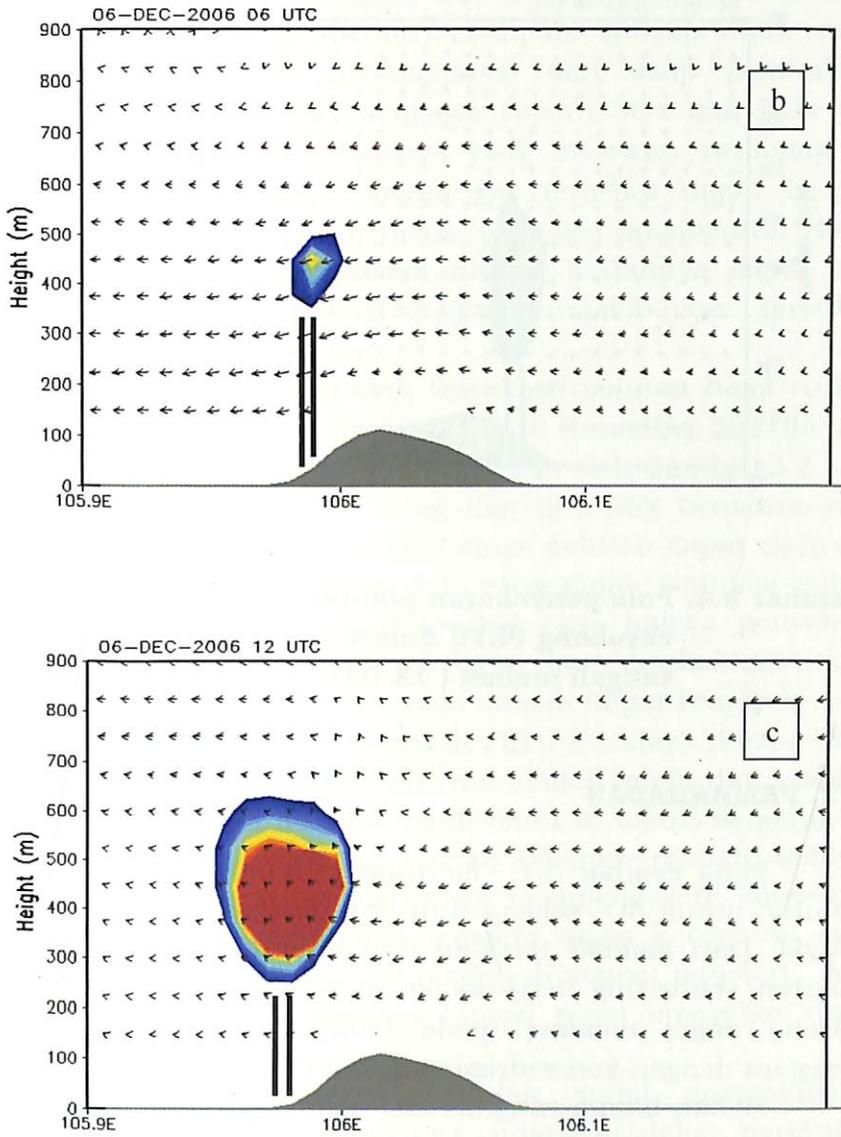


Gambar 3.3. Pola temperatur potensial secara vertikal dalam satuan Kelvin pada (a) pagi hari, (b) siang hari, (c) awal malam hari, dan (d) tengah malam hari.

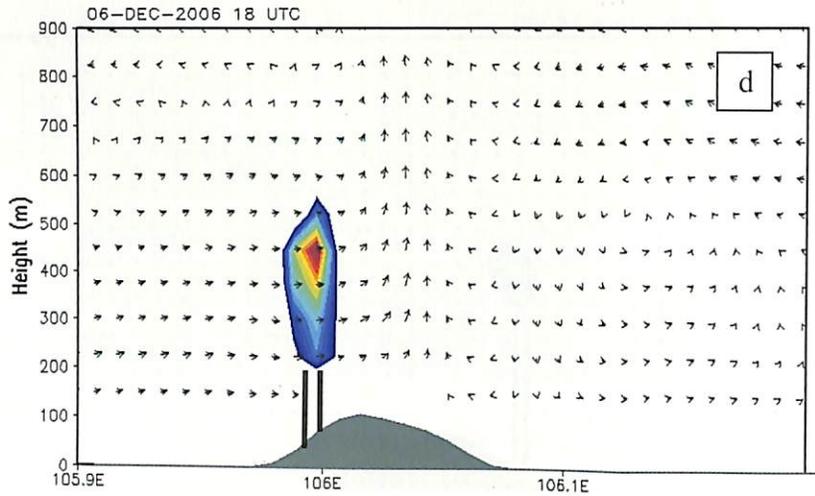
Pada Gambar 3.3 terlihat bahwa pada (c) awal malam hari (12 UTC + 7 = 19 WIB) lapisan atmosfer memiliki nilai $\partial\theta/\partial z$ yang lebih kecil dari pada pagi hari dan siang hari.



Gambar 3.4. Pola penyebaran polutan SO₂ dari sumber cerobong PLTU Suralaya secara vertikal pada (a) pagi hari, 00 UT + 7 = 07.00 WIB



Gambar 3.4. Pola penyebaran polutan SO₂ dari sumber cerobong PLTU Suralaya secara vertikal pada (b) siang hari, (c) awal malam hari



Gambar 3.4. Pola penyebaran polutan SO_2 dari sumber cerobong PLTU Suralaya secara vertikal pada (d) tengah malam (18 UTC +7 = 01.00 WIB)

3.2. PEMBAHASAN

Pada gambar 3.1. merupakan hasil simulasi penyebaran polutan untuk SO_2 selama satu hari dengan dua dimensi dengan TAQM. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa penyebaran polutan cenderung bergerak ke arah barat laut ini disebabkan karena angin dominan pada bulan Desember adalah angin tenggara dengan konsentrasi yang cukup tinggi sekitar 2.4 ppbv.

Bahan-bahan yang bersifat asam terutama dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, seperti batubara yang digunakan dalam PLTU tersebut perlu dilakukan mitigasi. Pembakaran bahan bakar tersebut dapat menghasilkan polutan-polutan asam yang apabila turun ke permukaan bumi menyebabkan deposisi asam, dengan demikian apabila kita dapat mengurangi pemakaian bahan bakar itu dalam menghasilkan energi untuk kendaraan industri, maka akan dapat mengurangi terjadinya deposisi asam salah satunya adalah sulfat

Sebagian besar tenaga listrik diproduksi dengan membakar minyak bumi dan atau batu bara. Selama ini reputasi bahan bakar fosil, terutama batubara, memang sangat buruk

apabila dikaitkan dengan masalah pencemaran lingkungan. Walaupun stasiun pembangkit listrik batubara saat ini telah menggunakan alat pembersih endapan (presipitator) untuk membersihkan partikel-partikel kecil dari asap pembakaran batubara, namun senyawa-senyawa seperti SO_x dan NO_x yang berbentuk gas dengan bebasnya naik melewati cerobong dan terlepas ke udara bebas. Kedua gas tersebut dapat bereaksi dengan uap air yang ada di udara sehingga membentuk H_2SO_4 (asam sulfat) dan HNO_3 (asam nitrat). Keduanya dapat jatuh bersama-sama air hujan sehingga mengakibatkan terjadinya hujan asam.

Pada Gambar 3.2 adalah trayektori polutan hasil running TAPM pada 30 November 2006 (a) dan 30 November 2011(b). Arah lintasan polutan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.2 a dan b berupa garis berwarna kuning dan titik-titik berwarna-warni yang menunjukkan pada jam ke berapa polutan dapat menyebar. Seperti terlihat pada Gambar 3.1. yang mana simulasi polutan SO_2 dilakukan dengan TAQM terlihat pula bahwa penyebaran polutan cenderung bergerak ke barat laut disebabkan karena angin dominan pada bulan tersebut adalah Angin Tenggara

Pada kondisi lokal seperti di PLTU Suralaya, faktor utama yang mempengaruhi dispersi polutan adalah angin dan stabilitas atmosfer. Perbedaan tekanan menyebabkan udara bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah tekanan rendah, sehingga ada angin. Kecepatan angin sangat mempengaruhi konsentrasi polutan di daerah setempat. Semakin tinggi kecepatan angin, konsentrasi polutan yang lebih rendah di tempat tersebut. Angin dapat mengencerkan polutan sehingga cepat menyebar daerah lainnya.

Kondisi atmosfer yang tidak stabil mengakibatkan pencampuran vertikal. Biasanya, udara di dekat permukaan bumi lebih hangat di siang hari karena penyerapan energi matahari. Udara hangat dan lebih ringan dari permukaan kemudian naik dan bercampur dengan udara dingin dan lebih berat di bagian atas atmosfer menyebabkan kondisi tidak stabil di atmosfer. Kondisi atmosfer stabil biasanya terjadi ketika udara hangat di atas udara dingin. Kondisi ini disebut inversi suhu. Selama inversi suhu, suhu udara meningkat menurut ketinggian lapisan udara. Gradien tekanan pada kondisi tersebut menjadi lemah sehingga angin menjadi lambat yang menyebabkan

penurunan penyebaran zat pencemar udara secara horisontal. Sementara itu tidak terjadi perpindahan udara vertikal yang menyebabkan penurunan zat pencemar udara secara vertikal dan meningkatkan akumulasi secara lokal. Hal ini dapat berakibat buruk bagi kesehatan manusia. Namun inversi dapat menghilang setelah pagi hari ketika radiasi matahari menyinari permukaan bumi. Penyebaran polutan dari sumbernya juga dipengaruhi oleh turbulensi di atmosfer dekat sumber pencemar udara. Faktor-faktor meteorologi lain yang mempengaruhi konsentrasi polutan udara di udara ambien adalah: radiasi matahari, curah hujan, dan kelembaban.

Pada setiap aktifitas industri, baik produksi, konsumsi dan pemusnahan limbah akan timbul bahan-bahan yang bersifat asam, terutama yang berkaitan dengan pembentukan energi. Dengan mengurangi pemakaian bahan bakar minyak dan batubara, akan mengurangi polusi udara yang berperan dalam rangka mengurangi pemanasan global. Pencemaran udara tidak hanya bergerak secara horizontal, tetapi juga bergerak secara vertikal. Penyebaran vertikal ini sangat dipengaruhi oleh indeks stabilitas atmosfer. Secara diurnal, lapisan stabilitas atmosfer dapat berubah-ubah baik ketinggiannya, ketebalannya, maupun nilai suhu potensialnya.

Stabilitas atmosfer dipengaruhi oleh temperatur potensial (θ) pada tiap-tiap lapisan ketinggiannya (z). Jika perubahan temperatur potensial terhadap ketinggiannya ($\partial\theta/\partial z$) bernilai negatif maka lapisan tersebut tidak stabil dan jika sebaliknya berarti lapisan tersebut stabil. Pada lapisan atmosfer yang tidak stabil ini polutan dapat membumbung tinggi sampai menyentuh lapisan stabil. (Junnaedhi, 2006)

Pada umumnya lapisan tidak stabil dapat mencapai ketinggian maksimal ketika siang hari dan mencapai ketinggian minimum ketika malam hari. Hal ini dipengaruhi oleh karena adanya panas yang dilepaskan oleh permukaan bumi pada siang hari lebih besar daripada malam hari. Gambar dibawah menjelaskan adanya pola temperatur potensial dalam satu hari diurnal dilihat dari arah vertikal. Penampang vertikal tersebut diambil pada lintang 5.91° LS dimana terdapat sumber emisi dari cerobong PLTU Suralaya.

Pada Gambar 3.3 Pola penyebaran polutan SO₂ dari sumber cerobong PLTU Suralaya secara vertikal pada penampang

5.91° LS pada (a) pagi hari, (b) siang hari, (c) awal malam hari, dan (d) tengah malam hari tanggal 6 Desember 2006 dalam satuan konsentrasi ppbv disertai vektor angin zonal-vertikal dengan satuan m/s. Angin vertikal diberi faktor pengali 10 agar terlihat lebih jelas.

Pada Gambar 3.3 terlihat bahwa pada awal malam hari lapisan atmosfer memiliki nilai $\partial\theta/\partial z$ yang lebih kecil dari pada pagi hari dan sore hari. Hal ini menandakan bahwa pada siang hari lapisan atmosfer di atas PLTU suralaya (sekitar 105.99 BT) lebih tidak stabil dan berarti pencemaran udara yang dilepaskan dari cerobong tersebut dapat membumbung tinggi pada siang hari.

Gambar 3.4 memperlihatkan penampang penyebaran polutan secara vertikal pada lintang 5.91° LS. Tinggi cerobong pada PLTU Suralaya adalah 200 m dan 250 m sehingga polutan menyebar pada ketinggian sekitar 400 m akibat adanya kecepatan awal pembuangan cerobong. Pada gambar 3.4.a terlihat bahwa pada pagi hari polutan mulai terlihat pada ketinggian kurang dari 400 m dan sedikit jumlahnya. Hal ini diakibatkan oleh adanya angin laut dari arah barat yang sangat kencang di seluruh ketinggian sehingga polutan mengalami proses adveksi dengan cepat. Pada siang hari polutan mulai terlihat pada ketinggian di atas 400 m. Hal ini diakibatkan oleh lapisan tidak stabil yang lebih tinggi dibandingkan pagi hari. Pada sore hari (awal malam) angin cenderung lemah sehingga polutan cenderung tetap berada di atas sumbernya maka pada gambar 3.4.c terlihat konsentrasi polutan sangat tinggi. Selain itu lapisan atmosfer yang tidak stabil mulai turun sehingga polutan mulai tampak pada ketinggian di atas 200 m dengan konsentrasi lebih tinggi dibandingkan siang hari. Pada malam hari adanya lapisan stabil sampai ketinggian 1000 m mengakibatkan polutan cenderung turun sampai pada ketinggian dibawah 200 m.

4 KESIMPULAN

Dari simulasi selama 24 jam dengan TAQM dan TAPM terlihat adanya pola penyebaran yang mengikuti faktor meteorologi secara diurnal. Faktor meteorologi yang utama adalah kecepatan dan arah angin serta lapisan stabilitas atmosfer.

Penyebaran polutan cenderung bergerak ke barat laut ini disebabkan karena angin dominan pada bulan Desember adalah Angin Tenggara dengan konsentrasi yang cukup tinggi sekitar 2.4 ppbv.

Untuk sumber emisi yang berada di dekat pantai seperti PLTU Suralaya, angin laut dan angin lembah sangat mempengaruhi pola penyebaran polutan secara horizontal. Selain itu angin dominan pada tiap-tiap musim juga mempengaruhi pola penyebaran polutan secara horizontal. Lapisan stabilitas atmosfer sangat mempengaruhi pola penyebaran polutan secara vertikal. Pada siang hari polutan terlihat lebih tinggi dibandingkan malam hari mengikuti tinggi lapisan stabil, ketebalan lapisan tidak stabil, dan nilai gradien dari temperatur potensial di atmosfer secara vertikal.

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.
- 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," SAQM User's Guide Report to the California Air Resources Board.
- Cooper, C.D and Alley, F.G. 1994. Air Pollution Control A Design Approach, Waveland Press Inc, 2nd edition, illinois.
- Dudhia, Jimmy and Co-authors, 2004, PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System Version 3. Mesoscale and Microscale Meteorology Division - National Center for Atmospheric Research
- Huang, Ho-Chun., Julius S. Chang. 2004. SARMAP Air Quality Model (SAQM) User's Guide. Atmospheric Sciences Research Center - University at Albany, State University of New York. Albany, New York.
- Julius S. C. Shengxin Jin, Yonghong Li, et al, 1997, SARMAP Air Quality Model (SAQM) Final Report. Atmospheric Sciences

Research Center - University at Albany, State University of
New York. Albany, New York.

Junnaedhi, I.D.G.A., 2006, *Tugas Akhir – Kajian Model Regional
Untuk Prediksi Cuaca di Indonesia*. Program Studi
Meteorologi, FIKTM-ITB.

PCI Report, 1997. Study of Fine Atmospheric Particles And Gases
in The Jakarta Region

Sofiati, I, 2008. Trayektori Polutan Dari Kebakaran Hutan Dengan
The Air Pollution Model (Tapm- V.3.1) Di Prov. Riau-
Sumateraprosiding Seminar Nasional Polusi Udara dan
Ozon, Bandung, LAPAN.

Acknowledgement

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Yosida dan
Junnaedhi perihal TAQM serta Sumaryati dan Iis Sofiati atas
diskusi yang diberikan mengenai TAPM.