

PERBEDAAN PERGERAKAN ANGIN PADA MUSIM HUJAN DAN MUSIM KEMARAU DAN PENGARUHNYA TERHADAP DISPERSI PENCEMAR UDARA DI KOTA SURABAYA

DIFFERENCE OF WIND MOVEMENT IN WET AND DRY SEASONS AND ITS EFFECT ON DISPERSION OF AIR POLLUTANT IN SURABAYA CITY

^{*1}Betha Januardi Budaya, ²Puji Lestari, dan ³Asep Sofyan

Program Studi Magister Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

e-mail : ¹bethajanuardi@yahoo.com, ²pujilest@indo.net.id, ³asepsofyan@yahoo.com

Abstrak: Dinamika atmosfer merupakan faktor utama yang harus dipertimbangkan dalam studi tentang pencemaran udara. Kondisi atmosfer dari suatu wilayah sangat berpengaruh terhadap distribusi pencemar udara di wilayah tersebut. Kota Surabaya memiliki topografi yang unik dimana di wilayah barat dan selatan merupakan daerah perbukitan landai sedangkan di wilayah utara dan timur merupakan daerah tepi laut. Kondisi geografis Kota Surabaya yang terletak di tepi pantai utara dari Provinsi Jawa Timur akan menyebabkan adanya pengaruh dari angin lokal seperti angin darat dan angin laut. Dengan melakukan studi terhadap pergerakan angin maka akan diketahui pola pergerakan udara di Kota Surabaya dan efeknya terhadap pencemar udara yang diemisikan dari berbagai sumber di Kota Surabaya. Salah satu cara untuk mempelajari pola pergerakan udara adalah dengan melakukan pemodelan meteorologi skala meso WRF. Output dari model WRF kemudian akan digunakan sebagai input data meteorologi dalam model Calpuff yang digunakan untuk melihat pola dispersi pencemar udara di Kota Surabaya pada musim hujan dan musim kemarau. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada musim kemarau angin bergerak dari arah timur pada siang hari hingga sore hari yang akan menyebabkan pencemar udara bergerak ke arah barat dari Kota Surabaya, sedangkan pada malam hari pencemar udara akan bergerak ke arah timur kemudian berbelok arah karena terbawa angin yang bergerak dari arah tenggara menuju ke arah utara dan barat laut dari Kota Surabaya. Pada musim hujan, angin bergerak dari arah barat laut pada siang hari hingga sore hari yang akan menyebabkan pencemar udara ke arah tenggara dari Kota Surabaya, sedangkan pada malam hari hingga pagi hari pencemar udara akan bergerak secara dominan ke arah timur dari Kota Surabaya.

Kata kunci: angin, Kota Surabaya, model WRF, model Calpuff

Abstract: Atmospheric dynamics is a major factor that must be considered in the studies of air pollution. Atmospheric conditions of a region will affect the distribution of air pollutants in that region. Surabaya City has a unique topography where in the western and southern regions are sloping hilly areas while in the north and east are waterfront areas. Geographical conditions of Surabaya City which is laid by the north sea shore of East Java Province will lead to the influence of local winds such as land and sea breeze. By conducting a study of the movement of the wind, then the patterns of air movement in the Surabaya City and its effect on air pollutants emitted from various sources in the Surabaya City will be know. To study the pattern of air movement, WRF meso-scale meteorological modeling was used. The output from WRF models will be used as meteorological input data in Calpuff model that used to examine the dispersion of air pollutant pattern in Surabaya City in wet and dry seasons. Simulation result using WRF models shows that in the dry season the wind moves from the east in the afternoon to evening which will cause air pollutants to move toward the west area of Surabaya City, while in the evening air pollutants will move eastward and then turn direction caused by the wind movement from the southeast toward the north and northwest of Surabaya City. In the wet season the wind moves from the northwest in the afternoon to evening which will cause air pollutants move to the southeast of Surabaya City, while at night until the morning air pollutants will move dominantly to the east of Surabaya City.

Keywords: wind, Surabaya City, WRF model, Calpuff model

PENDAHULUAN

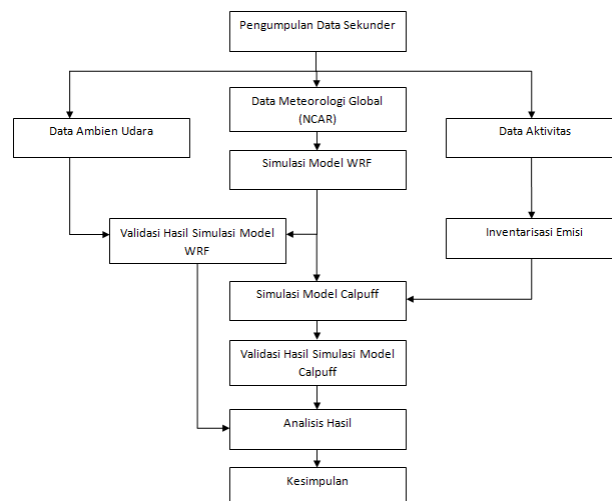
Kota Surabaya merupakan ibukota dari Propinsi Jawa Timur dan merupakan kota terbesar kedua di Indonesia setelah Kota Jakarta. Pencemaran udara di Kota Surabaya kondisinya semakin mengkhawatirkan karena pesatnya pertumbuhan kendaraan bermotor dari tahun ke tahun, disamping pencemaran udara yang ditimbulkan dari sektor industri. Tingginya laju industrialisasi ini juga terjadi pada kota besar di Benua Asia lainnya sehingga Asia dikenal sebagai salah satu benua yang mengemisikan gas pencemar udara dan gas rumah kaca tertinggi (Zhang et al., 2009).

Studi pencemaran udara memerlukan koordinasi berbagai disiplin ilmu (Tjasyono, 2008), salah satunya adalah ilmu meteorologi yang mempelajari tentang kondisi atmosfer. Dinamika atmosfer merupakan faktor utama yang harus dipertimbangkan dalam studi tentang pencemaran udara (Soedomo, 1999) karena kondisi atmosfer dari suatu wilayah sangat berpengaruh terhadap distribusi pencemar udara di wilayah tersebut. Kota Surabaya memiliki topografi yang unik dimana di wilayah barat dan selatan merupakan daerah perbukitan landai sedangkan di wilayah utara dan timur merupakan daerah tepi laut. Kondisi geografis dari Kota Surabaya yang terletak di tepi pantai utara dari Provinsi Jawa Timur akan menyebabkan adanya pengaruh dari angin lokal seperti angin darat dan angin laut.

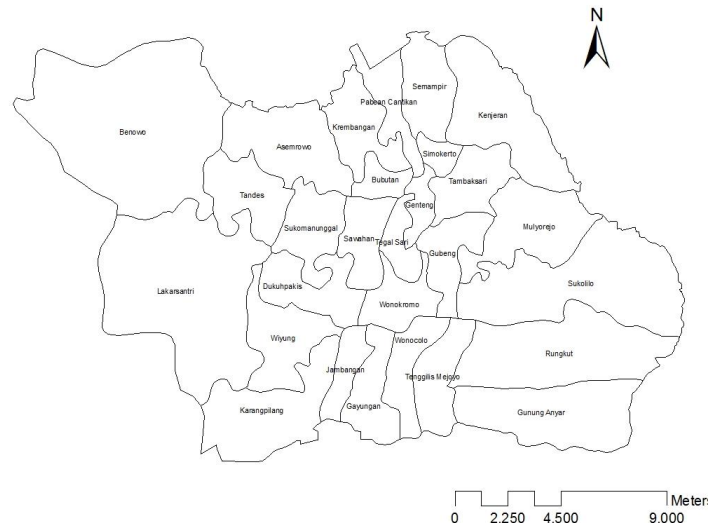
Salah satu cara untuk mempelajari pola pergerakan udara adalah dengan melakukan pemodelan meteorologi skala meso WRF (*Weather Research and Forecast*). Hasil dari model WRF kemudian digunakan sebagai input data meteorologi dalam model Calpuff. Inventarisasi emisi beberapa polutan diantaranya *Black Carbon* (BC) dan senyawa prekursor O_3 yaitu CO, NO_x , dan VOC dilakukan sebagai input emisi dalam model Calpuff. Konsentrasi BC dan O_3 di kota besar di Asia terbilang cukup tinggi sehingga dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan juga lingkungan (Nghiem & Kim Oanh, 2008; Hopke et al., 2008). Hasil dari simulasi model Calpuff diharapkan dapat merepresentasikan pola dispersi polutan di Kota Surabaya pada musim hujan dan musim kemarau.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan bagan alir metodologi yang diperlihatkan pada **Gambar 1**. Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data sekunder antara lain data temperatur, arah angin, kecepatan angin, dan data ambien pencemar udara yang diperoleh dari Stasiun Pemantau Kualitas Udara Kota Surabaya. Data udara ambien ini selanjutnya akan digunakan untuk validasi data hasil simulasi model WRF dan model Calpuff. Peta lokasi studi dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Bagan Alir Metode Penelitian



Gambar 2. Peta Lokasi Studi

Selain data udara ambien, dilakukan juga pengumpulan data sekunder untuk simulasi model berupa data meteorologi yang didapatkan dari *Global Data Assimilation System* (GDAS). GDAS secara kontinyu mencatat data observasi meteorologi aktual dari *Global Telecommunication System* (GTS). Data ini mencakup data analisis meteorologi di domain terpilih yang dideterminasi dari pengaturan *Weather Research and Forecast (WRF) Preprocessing System* (WPS) dan merupakan data hasil analisis global dari *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) Amerika berupa data grid dengan resolusi $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ dengan periode enam jam. Data ini kemudian akan digunakan sebagai *input* data meteorologi dalam model WRF. Pengumpulan data sekunder selanjutnya berupa data aktivitas pada sektor industri, transportasi, dan rumah tangga di Kota Surabaya untuk keperluan inventarisasi emisi yang akan digunakan sebagai input emisi dalam model Calpuff.

Metode perhitungan beban emisi menggunakan metode faktor emisi seperti yang ditunjukkan pada **Persamaan (1)**. Sumber emisi, data aktivitas, dan faktor emisi yang digunakan dalam inventarisasi dapat dilihat pada **Tabel 1**.

$$E_i = A_i \times EF_i \quad (1)$$

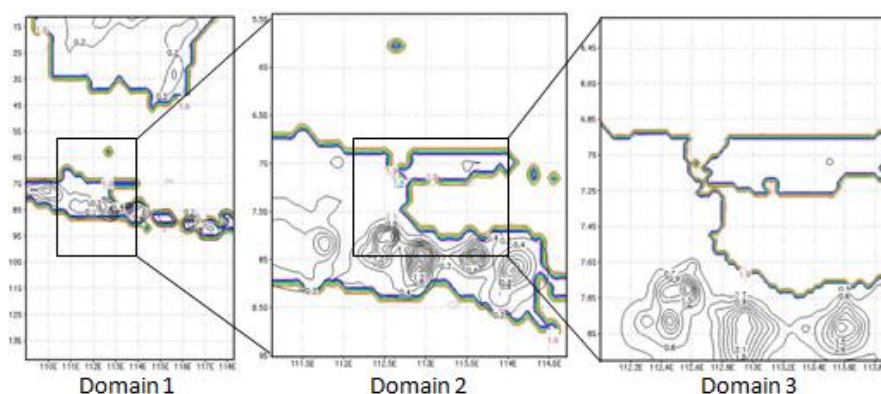
Dimana E_i adalah emisi dari sumber i , A_i adalah aktivitas dari sumber i , dan EF_i adalah faktor emisi sumber i .

Tabel 1. Sumber Emisi, Data Aktivitas, dan Faktor Emisi yang Digunakan

Sektor/Sumber Emisi	Sumber Data Aktivitas	Sumber Faktor Emisi yang Digunakan
Industri	- Jumlah dan jenis industri tiap kecamatan bersumber dari BPS Kota Surabaya tahun 2012 - Kapasitas produksi tiap industri bersumber dari Disperindag Kota Surabaya tahun 2012	AIT ABC Emission Inventory Manual (2008), Huang dkk (2011), Zhao dkk (2012), Chow dkk (2011)
Transportasi	- Jumlah dan jenis kendaraan bersumber dari BPS Kota Surabaya tahun 2012 <i>Traffic count</i> di ruas – ruas jalan Kota Surabaya bersumber dari Dishub Kota Surabaya tahun 2012 - Jarak tempuh tiap jenis kendaraan bersumber dari Dishub Kota Surabaya tahun 2012	AIT ABC Emission Inventory Manual (2008), Permen LH No. 12/2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah

	Panjang jalan dan luas jalan bersumber dari Dinas PU Kota Surabaya tahun 2012	
Rumah tangga	- Jumlah penduduk dan keluarga tiap kecamatan bersumber dari BPS Kota Surabaya tahun 2012 - Konsumsi bahan bakar nasional rumah tangga bersumber dari Kementrian ESDM tahun 2012	AIT ABC <i>Emission Inventory Manual</i> (2008), USEPA AP-42, Zhang dkk (2000)

Simulasi model WRF dalam penelitian ini merupakan tiga domain bersarang (*three-domain nested run*) dengan satu domain inti dan dua domain *nest*. Setiap domain memiliki 27 grid vertikal dari ketinggian permukaan dasar tanah hingga 20 km di atas permukaan tanah. Peta tata guna lahan yang digunakan dalam simulasi ini terdiri dari 24 kategori dan resolusi horizontal 30 detik yang berasal dari *United States Geological Survey* (USGS) pada tahun 2000. Ilustrasi sistem domain yang digunakan dalam simulasi ini dapat dilihat pada **Gambar 3**. Hasil simulasi model WRF kemudian akan digunakan sebagai *input* data meteorologi dalam model Calpuff. Model Calpuff digunakan untuk melihat pola dispersi polutan yang berasal dari hasil inventarisasi emisi di Kota Surabaya.



Gambar 3. Sistem Domain WRF

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Inventarisasi Emisi

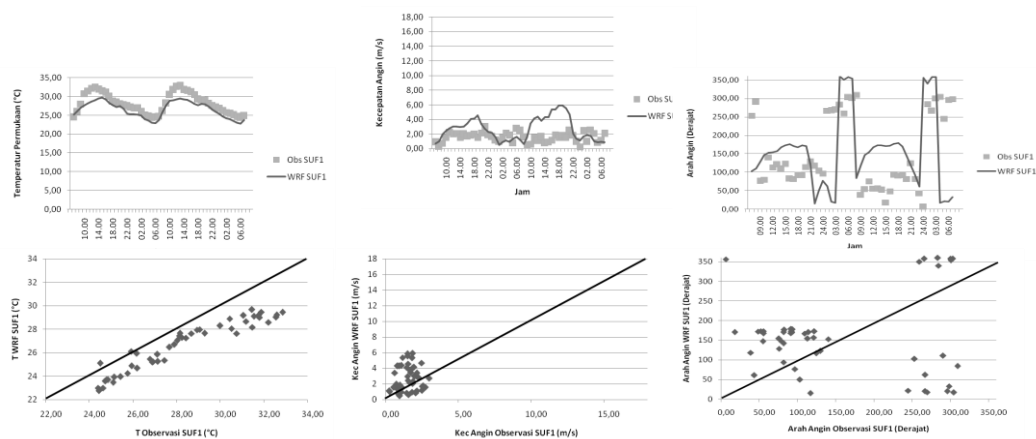
Hasil inventarisasi emisi di Kota Surabaya dapat dilihat pada **Tabel 2** dimana emisi BC paling tinggi dihasilkan dari sektor industri yaitu sebesar 72,06% kemudian dari sektor transportasi dan rumah tangga sebesar 22,18% dan 5,76%. Perhitungan total beban emisi untuk prekursor O_3 yaitu CO, NO_x dan VOC tertinggi dihasilkan dari sektor transportasi masing – masing sebesar 79,49%, 72,04% dan 62,65%. Tingginya jumlah sepeda motor di Kota Surabaya menjadi faktor utama tingginya emisi CO di Kota Surabaya, sedangkan emisi NO_x terutama dihasilkan oleh kendaraan truk dan bus. Sektor industri menghasilkan emisi CO, NO_x dan VOC sebesar 12,90%, 26,67% dan 11,64%, sedangkan dari sektor rumah tangga menghasilkan emisi sebesar 7,61%, 1,30% dan 25,70%.

Tabel 2. Hasil Inventarisasi Emisi di Kota Surabaya

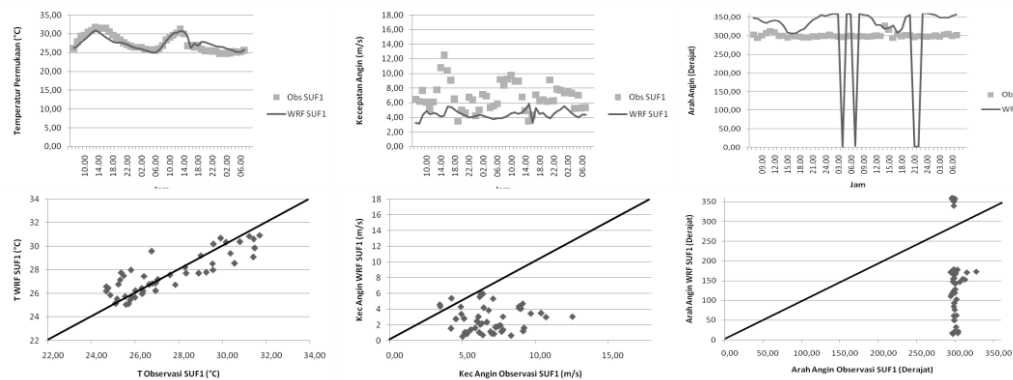
Sektor	BC	CO	NO_x	VOC
Industri	72,06%	12,90%	26,67%	11,64%
Transportasi	22,18%	79,49%	72,04%	62,65%
Rumah Tangga	5,76%	7,61%	1,30%	25,70%

Evaluasi Hasil Simulasi WRF dengan Data Ambien

Gambar 4(a) dan **4(b)** menunjukkan perbandingan antara nilai temperatur, kecepatan angin, dan arah angin hasil WRF dan observasi stasiun SUF 1 (Surabaya Pusat) pada tanggal 14-16 Juli 2011 dan 14-16 Januari 2011. Stasiun ini dipilih karena alasan kelengkapan data dibanding dengan data dari stasiun SUF 2, SUF 3, SUF 4, dan SUF 5.



(a) Musim kemarau: 14 - 16 Juli 2011



(b) Musim hujan: 14 - 16 Januari 2011

Gambar 4. Perbandingan Temperatur dan Angin Hasil Simulasi WRF dan Observasi SUF1

Dari perbandingan di **Gambar 4** tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai temperatur hasil simulasi pada bulan Juli merepresentasikan data observasi yang sama baiknya dengan nilai hasil simulasi bulan Januari. Dapat disimpulkan bahwa pada bulan Juli dan Januari, terjadi korelasi yang baik antara data hasil simulasi WRF dan observasi. Meskipun demikian, terjadi *under estimation* pada temperatur hasil simulasi pada bulan Juli (musim kemarau) terhadap data observasi dengan perbedaan yang terjadi sekitar 2 – 3 °C. Pada bulan Januari (musim hujan), hasil simulasi menunjukkan adanya *over estimation* terhadap data observasi pada malam hari dengan perbedaan yang terjadi sekitar 2 – 3 °C. Perbedaan yang terjadi ini dapat disebabkan oleh fluktuasi yang cepat terhadap tutupan awan, sinar matahari, dan hujan pada kondisi aktual / observasi. Korelasi yang terjadi antara nilai temperatur observasi dan simulasi WRF lebih baik pada saat bulan Januari (musim hujan) dibandingkan saat bulan Juli (musim kemarau).

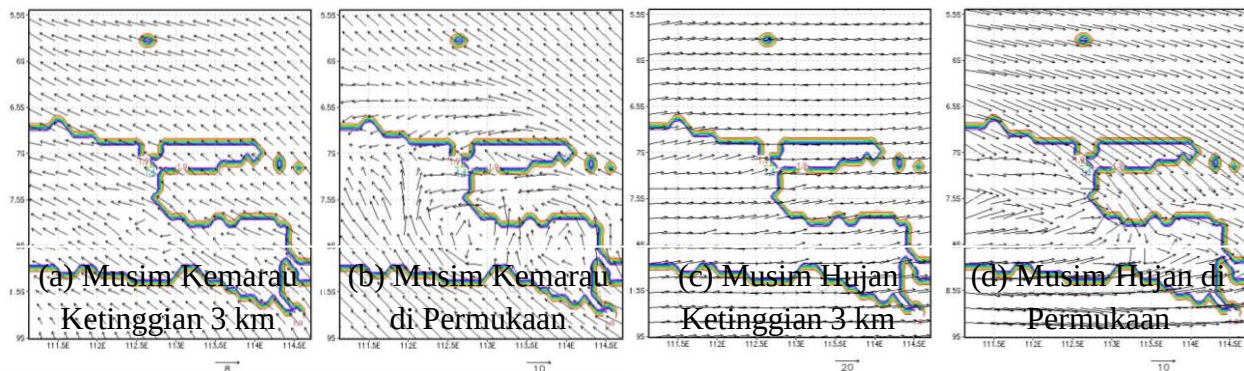
Perbandingan nilai kecepatan angin hasil simulasi WRF dengan observasi SUF 1 menunjukkan bahwa angin pada bulan Juli (musim kemarau) mengalami *over estimation* pada saat siang hingga malam hari (19.00). Simulasi WRF menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan observasi sekitar 2 - 3 m/s pada siang hingga malam hari di bulan Juli. Pada bulan Januari (musim hujan), hasil simulasi WRF menunjukkan adanya *under estimation* terhadap data observasi SUF 1. Korelasi yang terjadi antara nilai kecepatan angin observasi dan simulasi WRF lebih baik pada saat bulan Juli (musim kemarau) dibandingkan saat bulan Januari (musim hujan).

Perbandingan nilai arah angin observasi dan WRF menunjukkan korelasi yang cukup baik pada bulan Juli dan Januari. Pada bulan Juli, angin timur dan variasinya (60°-120°) berkorelasi cukup baik dengan hasil observasi. Angin barat dan variasinya (240°-300°) yang terjadi pada saat dini hari juga berkorelasi cukup baik dengan hasil observasi meskipun terjadi sedikit *over estimation*. Pada bulan Januari, angin barat dan variasinya (240°-300°) juga berkorelasi cukup baik dengan hasil observasi

meskipun terjadi sedikit *over estimation*. Dari hasil perbandingan dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi model WRF mampu mendeskripsikan keadaan meteorologi aktual dengan *reliable*.

Karakter Angin Sinoptik dan Angin Permukaan di Daerah Studi

Gambar 5(a) - (d), menunjukkan pola pergerakan angin sinoptik dan angin permukaan di Pulau Jawa bagian timur pada musim kemarau (15 Juli 2011, 15.00 WIB) dan musim hujan (15 Januari 2011, 15.00 WIB). Pergerakan angin sinoptik cenderung tetap pada waktu yang lama (musiman). Angin sinoptik berada di ketinggian 3 km dan berpengaruh terhadap pergerakan angin permukaan.



Gambar 5. Profil Angin Sinoptik

Angin sinoptik yang mempunyai pengaruh di wilayah Indonesia adalah angin monsun barat / monsun dingin asia pada musim hujan dan angin monsun timur / monsun dingin australia pada musim kemarau. Monsun atau angin monsun adalah angin atau sistem sirkulasi udara yang berbalik arah secara musiman yang disebabkan oleh perbedaan sifat termal antara benua dan lautan (Prawirowardoyo, 1996).

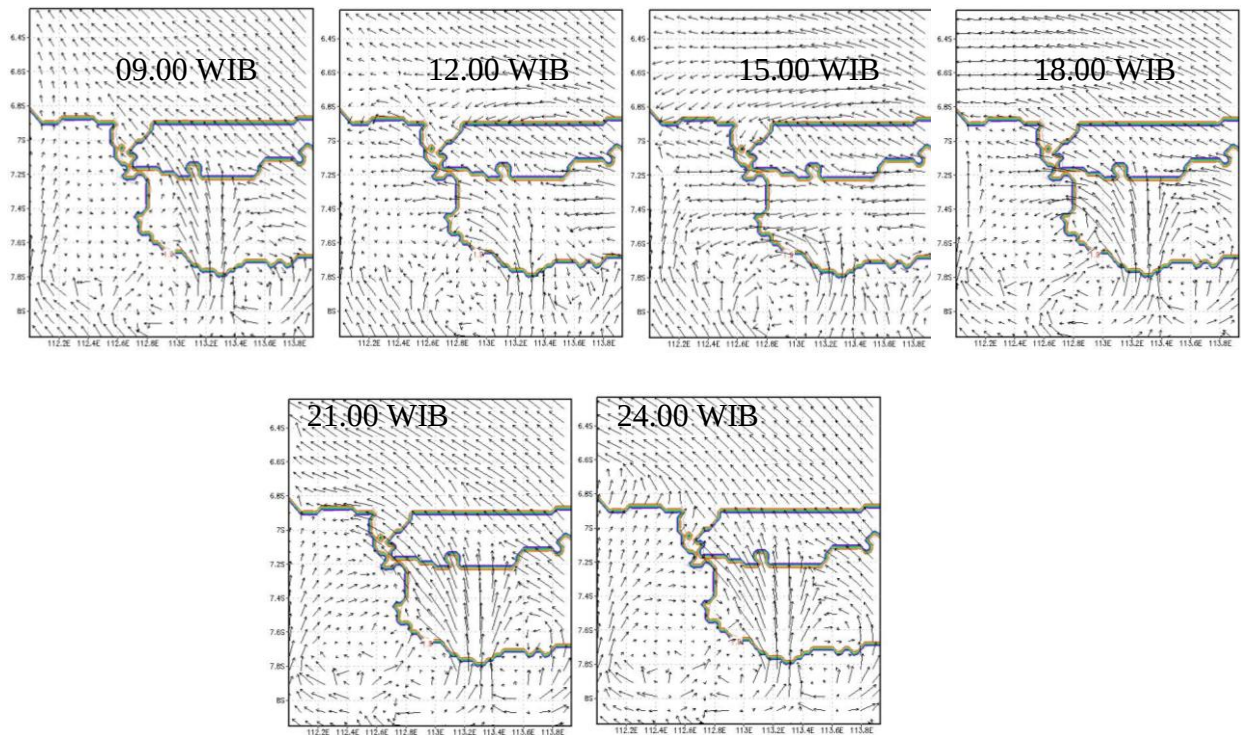
Angin sinoptik bulan Juli dan Januari pada ketinggian 3 km mengalami perbedaan dengan angin permukaannya seperti yang ditunjukkan **Gambar 5**. Hal ini disebabkan adanya angin dari arah tenggara (musim kemarau) yang terhalang oleh daerah pegunungan di wilayah selatan dari Kota Surabaya yang menyebabkan angin dibelokkan ke arah utara dan berbelok ke arah barat melewati Kota Surabaya karena pengaruh angin laut. Angin dari arah barat (musim hujan) relatif tidak memiliki penghalang sehingga cukup mendominasi angin permukaan namun adanya daerah pegunungan di wilayah selatan dari Kota Surabaya yang menyebabkan angin berbelok ke arah tenggara menuju daerah pegunungan akibat adanya angin lembah.

Variasi Diurnal Angin Permukaan

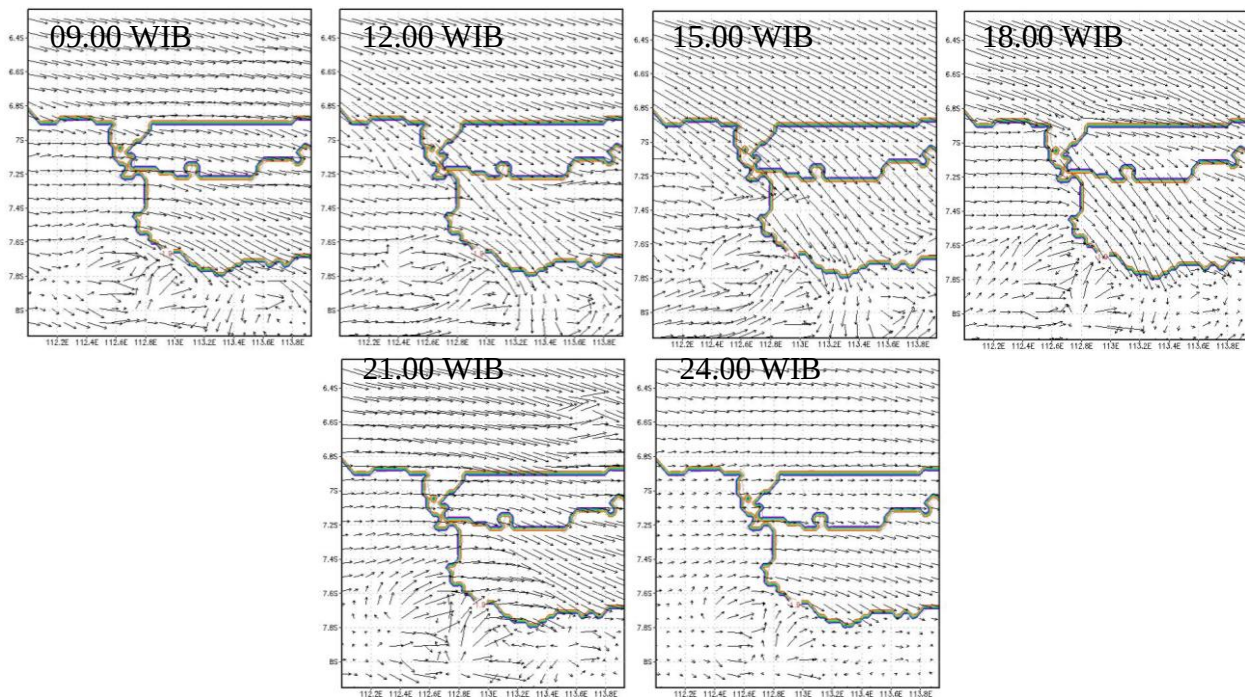
Gambar 6(a) menunjukkan pola angin harian pada musim kemarau, tanggal 15 Juli 2011 pukul 09.00-24.00 WIB. Pola angin pada musim kemarau menunjukkan karakteristik angin musim kemarau di Kota Surabaya dimana angin laut lebih mendominasi pola angin permukaan pada siang hari hingga sore hari (12.00-18.00 WIB). Pada saat terjadi angin laut, pergerakan angin bergerak dari arah timur Kota Surabaya ke arah barat. Pada malam hari hingga pagi hari (21.00-09.00 WIB) angin darat terjadi namun tidak terlalu mendominasi dikarenakan angin sinoptik lebih mendominasi angin permukaan. Hal ini menyebabkan pergerakan angin dari arah barat Kota Surabaya kurang dominan daripada angin sinoptik yang bergerak dari arah tenggara Kota Surabaya ke arah barat laut.

Gambar 6(b) menunjukkan pola angin harian pada musim hujan, tanggal 15 Januari 2011 pukul 09.00-24.00 WIB. Pola angin pada musim hujan menunjukkan karakteristik angin musim hujan di Kota Surabaya dimana angin sinoptik lebih mendominasi pola angin permukaan pada siang hari hingga sore hari (12.00-18.00 WIB). Pada saat angin sinoptik mendominasi angin permukaan, pergerakan angin bergerak dari arah barat laut Kota Surabaya ke arah tenggara. Pada malam hari hingga pagi hari (21.00-09.00 WIB) angin darat terjadi diikuti juga dengan pergerakan angin sinoptik. Hal ini menyebabkan pergerakan angin dari arah barat Kota Surabaya sangat dominan dan bergerak ke arah timur dari Kota Surabaya.

(a) Pergerakan angin musim kemarau

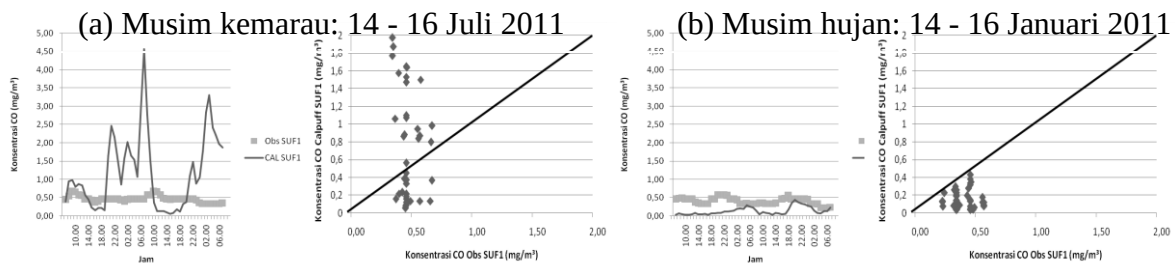


(a) Pergerakan angin musim hujan



Gambar 6. Pola Angin Harian

Evaluasi Hasil Simulasi Model Calpuff dengan Data Ambien



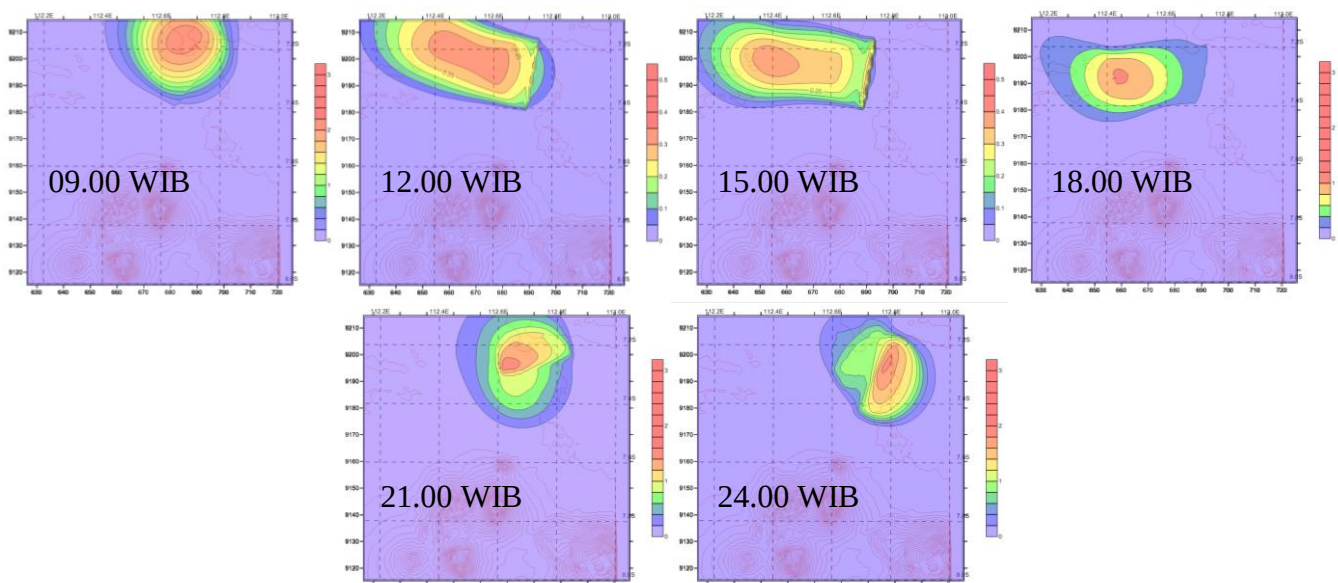
Gambar 7. Perbandingan Konsentrasi CO Hasil Simulasi Calpuff dan Observasi SUF1

Gambar 7(a) dan **7(b)** menunjukkan perbandingan antara nilai konsentrasi CO hasil Calpuff dan observasi stasiun SUF 1 (Surabaya Pusat) pada tanggal 14-16 Juli 2011 dan 14-16 Januari 2011. Dari perbandingan di **Gambar 7** tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai konsentrasi CO model mengalami *over estimation* pada musim kemarau tepatnya pada malam hari. Hal ini dikarenakan laju emisi dalam model dianggap konstan sehingga nilai konsentrasi CO hasil model lebih tinggi dibandingkan dengan nilai konsentrasi CO hasil observasi. Pada musim hujan, konsentrasi CO hasil model mengalami *under estimation* dimana pada malam hari terjadi peningkatan seperti yang terjadi pada musim kemarau.

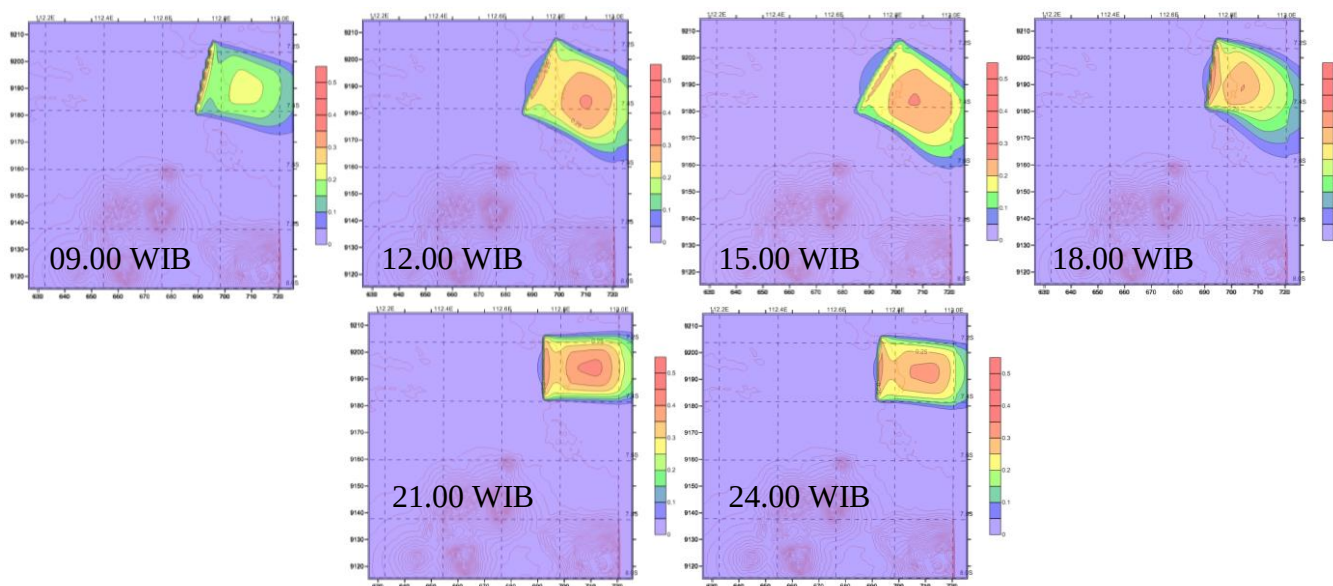
Simulasi Dispersi Polutan

Dari hasil analisis pergerakan angin dapat disimpulkan bahwa pada musim kemarau angin bergerak dari arah timur pada siang hari hingga sore hari yang akan menyebabkan pencemar udara yang diemisikan dari berbagai sumber di Kota Surabaya akan bergerak ke arah barat dari Kota Surabaya. Pada malam hari hingga pagi hari diketahui bahwa pergerakan angin dari arah barat Kota Surabaya kurang dominan daripada angin sinoptik yang bergerak dari arah tenggara. Hal ini akan menyebabkan pencemar udara yang diemisikan dari berbagai sumber di Kota Surabaya akan bergerak ke arah timur dari Kota Surabaya kemudian berbelok arah terbawa angin yang bergerak dari arah tenggara menuju ke arah utara dan barat laut dari Kota Surabaya. **Gambar 8(a)** menunjukkan simulasi dispersi polutan CO pada musim kemarau. Pada musim hujan angin bergerak dari arah barat laut pada siang hari hingga sore hari yang akan menyebabkan pencemar udara yang diemisikan dari berbagai sumber di Kota Surabaya akan bergerak ke arah tenggara dari Kota Surabaya. Pada malam hari hingga pagi hari diketahui bahwa terjadi pergerakan angin darat dan diikuti juga dengan pergerakan angin sinoptik ke arah timur. Hal ini akan menyebabkan pencemar udara yang diemisikan dari berbagai sumber di Kota Surabaya akan bergerak secara dominan ke arah timur dari Kota Surabaya. **Gambar 8(b)** menunjukkan simulasi dispersi polutan CO pada musim hujan.

(a) Dispersi polutan CO musim kemarau



(b) Dispersi polutan CO musim hujan



Gambar 8. Pola Dispersi Polutan CO

KESIMPULAN

Perhitungan total beban emisi untuk prekursor O_3 yaitu CO, NO_x dan VOC tertinggi dihasilkan dari sektor transportasi masing – masing sebesar 79,49%, 72,04% dan 62,65%. Sektor industri menghasilkan emisi CO, NO_x dan VOC sebesar 12,90%, 26,67% dan 11,64%, sedangkan dari sektor rumah tangga menghasilkan emisi sebesar 7,61%, 1,30% dan 25,70%. Beban emisi BC paling tinggi dihasilkan dari sektor industri yaitu sebesar 72,06% kemudian dari sektor transportasi dan rumah tangga sebesar 22,18% dan 5,76%.

Perbandingan hasil simulasi model WRF dengan observasi menunjukkan hasil yang dapat diterima, dilihat dari nilai temperatur hasil simulasi pada bulan Juli merepresentasikan data observasi yang sama baiknya dengan nilai hasil simulasi bulan Januari. Perbandingan nilai kecepatan angin dan arah angin hasil simulasi dengan observasi juga menunjukkan hasil yang dapat diterima.

Angin sinoptik bulan Juli dan Januari pada ketinggian 3 km mengalami perbedaan dengan angin permukaan karena adanya pengaruh topografi. Pada ketinggian permukaan, angin permukaan lebih didominasi oleh angin lokal seperti angin laut dan angin lembah yang terjadi pada musim kemarau dan musim hujan.

Perbandingan hasil simulasi model Calpuff dengan observasi menunjukkan bahwa pada musim kemarau, nilai konsentrasi CO model mengalami *over estimation* tepatnya pada malam hari karena laju emisi dalam model dianggap konstan sehingga nilai konsentrasi CO hasil model lebih tinggi dibandingkan dengan nilai konsentrasi CO hasil observasi. Pada musim hujan, konsentrasi CO hasil model mengalami *under estimation* dimana pada malam hari terjadi peningkatan seperti yang terjadi pada musim kemarau.

Pada musim kemarau angin bergerak dari arah timur pada siang hari hingga sore hari yang akan menyebabkan pencemar udara akan bergerak ke arah barat dari Kota Surabaya, sedangkan pada malam hari pencemar udara akan bergerak ke arah timur kemudian berbelok arah terbawa angin yang bergerak dari arah tenggara menuju ke arah utara dan barat laut dari Kota Surabaya. Pada musim hujan angin bergerak dari arah barat laut pada siang hari hingga sore hari yang akan menyebabkan pencemar udara ke arah tenggara dari Kota Surabaya, sedangkan pada malam hari hingga pagi hari pencemar udara akan bergerak secara dominan ke arah timur dari Kota Surabaya.

Daftar Pustaka

Asian Institute of Technology. (2008). *Atmospheric Brown Cloud (ABC) Emission Inventory Manual*.

- Chow, J., Watson, G. J., dan Lowenthal, H.D. (2011): PM_{2,5} Source Profile for Black and Organic Carbon Emission Inventories, *Atmospheric Environment*.
- Emission Factor and AP 42 (USEPA AP 42) Emission Factor Data Base. (2009). (<http://www.epa.gov/ttniche1/ap42/>). (Diakses tanggal 14 April 2013).
- Hopke P., Cohen D., Begum B., Biswas S., Ni B., Pandit G., Santoso M., Chung Y., Davy P., Markwitz A., Waheed S., Siddique N., Santos F., Pabroa P., Seneviratne M., Wimolwattanapun W., Bunprapob S., Vuong T., Duy Hien P., dan Markowicz A. (2008): Urban air quality in the Asian region, *Science of the Total Environment*, 404: 1103-1112.
- Huang, C., Chen, C. H., dan Li, L., (2011): Emission Inventory of Antropogenic Air Pollutant and VOC Species in The Yangtze River Delta Region, China. *Atmos. Chem. Phys.* 11. 4105 – 4120.
- Nghiem, L. H., dan Kim Oanh, N.T., (2008) Evaluation of the Mesoscale Meteorological Model (MM5) - Community Multi-Scale Air Quality Model (CMAQ) Performance in Hindcast and Forecast of Ground-Level Ozone, *J. Air & Waste Manage. Assoc.* **58**. 1341 – 1350.
- Peraturan Pemerintah Kementrian Lingkungan Hidup Indonesia No. 12 Tahun 2010 Tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara.
- Prawirowardoyo, S. (1996). *Meteorologi*. Penerbit ITB, Bandung.
- Soedomo, M. (1999). *Pencemaran Udara*. Penerbit ITB, Bandung.
- Tjasyono, B. (2008). *Meteorologi Lapisan Batas*, Penerbit ITB, Bandung.
- Zhang, J., Smith, R.K., dan Ma, Y. (2000). Greenhouse gases and other airborne pollutants from household stoves in China: a database for emission factors. *Atmospheric Environment* **34**. 4537-4549.
- Zhang, Q., Streets, D.G., Carmichael, G.R., He, K.B., Huo, H., Kannari, A., Klimont, Z., Park, S., Reddy, S., Fu, J.S., Chen, D., Duan, L., Lei, Y., Wang, L.T., dan Yao, Z.L., (2009): Asian Emissions in 2006 for the NASA INTEX-B Emission, *Atmos. Chem. Phys.* **9**. 5131–5153.
- Zhao, B., Wang, P. dan Ma, Z.J. (2012): A High Resolution Emission Inventory of Primary Pollutants for the Huabei region, China. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 481-501.