

Simulasi Model Dispersi Polutan Gas dan Partikulat Molekul Pada Pabrik Semen Dengan Menggunakan Software Matlab 7.12

Febriandi Hasibuan, Warsito, Sri Wahyu Suciwati

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung
Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung
E-mail: febriandhsb@gmail.com dan warsito@fmipa.unila.ac.id

Diterima (4 Maret 2015), direvisi (10 April 2015)

Abstract. Has been to design computer applications that aim to visualize the distribution pattern of gaseous pollutants and particulate molecules derived from fume stacks of cement factory. The location was chosen to implement this pollutant dispersion modeling is Steam Power Plant of Tarahan, South of Lampung with environmental data (ambient temperature, wind direction and wind speed) were obtained from field measurements. This application is available in the form of simulations with a wide range of input data parameters namely wind speed, atmospheric stability, emission rate-point source, stack exit temperature, ambient temperature, height and diameter of fumes stack and the simulation results are presented in the form of figures, graphs of two-dimensional and three-dimensional and the choice of the form of graphs. The mathematical model is used to model the spread of pollutants is a Gaussian-type dispersion model assuming a point source pollutant dispersion coming from fumes stack, the dispersion takes place in steady-state conditions and no chemical reactions that occur in the air. From the simulation results show that the smaller the value of the temperature change (ΔT) between the temperature in the chimney with air temperature around the chimney, the diameter of the center of the length distribution pattern and plume rise is getting smaller. Then the greater the wind speed, the more narrow dispersion pattern of pollutants and pollutant concentration value at distribution centers is increasing.

Keyword. *Simulation, air-polution dispersion, Gaussian Plume Model, matlab*

Abstrak. Telah dilakukan perancangan aplikasi komputer yang bertujuan untuk memvisualkan suatu pola sebaran polutan gas dan partikulat molekul yang berasal dari cerobong asap semen. Lokasi yang dipilih untuk menerapkan pemodelan dispersi polutan ini adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tarahan (PLTU), Lampung Selatan dengan data lingkungan (suhu lingkungan, arah angin dan kecepatan angin) yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan. Aplikasi ini berbentuk simulasi dengan disediakan berbagai macam parameter data masukan yaitu kecepatan angin, stabilitas atmosfer, kecepatan semburan emisi, suhu cerobong, suhu lingkungan, tinggi cerobong dan diameter cerobong dan hasil simulasi ini ditampilkan dalam bentuk angka-angka, grafik dua dimensi maupun tiga dimensi dan pilihan bentuk grafik. Model matematis yang digunakan untuk memodelkan penyebaran polutan adalah model dispersi Gaussian tipe *point sourced* dengan asumsi dispersi polutan berasal dari cerobong asap, dispersi berlangsung dalam kondisi *steady-state* dan tidak ada reaksi kimia yang terjadi di udara. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin kecil nilai perubahan suhu (ΔT) antara suhu dalam cerobong dengan suhu udara di sekitar cerobong asap, diameter pola sebaran pusat semakin panjang dan *plume rise* semakin kecil. Kemudian semakin besar kecepatan angin, pola penyebaran polutan semakin menyempit dan nilai konsentrasi polutan pada pusat sebaran semakin bertambah.

Kata Kunci. *Simulasi, dispersi polusi udara, Model Dispersi Gaussian, matlab*

PENDAHULUAN

Perkembangan Industri yang pesat di Indonesia tidak hanya memberikan dampak positif bagi pendapatan negara dan kesejahteraan rakyat, tetapi juga memberikan dampak negatif bagi kesehatan. Hal ini disebabkan oleh potensi pencemaran lingkungan yang ditimbulkan oleh aktivitas industri tersebut, misalnya pencemaran udara yang berasal dari asap dan debu dari industri (Suhariyono, 2002).

Data *WorldResourceInstitute* (2006) menyebutkan bahwa Indonesia berada pada peringkat ke-14 di dunia berdasarkan nilai *absolute emissions*, setelah Meksiko. Hal ini menunjukkan emisi polutan yang terjadi di Indonesia cukup tinggi (Niam, dkk, 2009).

Pabrik semen merupakan industri yang menimbulkan pencemaran udara. Emisi yang ditimbulkan oleh industri ini didominasi oleh debu yang mengandung silika yang teremisikan ke udara. Kemudian partikel debu ini akan mempengaruhi kualitas udara ambien atau lingkungan serta berpotensi menyebabkan penyakit silikosis (Hekasaki, 2004). Silikosis adalah penyakit dengan gejala sesak napas disertai batuk-batuk tanpa dahak. Pada stadium berat, sesak napas akan semakin parah yang kemudian diikuti dengan hipertropi jantung sebelah kanan yang berpotensi mengakibatkan kegagalan kerja jantung (Nugroho, 2012).

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan saat ini, pola penyebaran suatu polutan sudah mampu untuk disimulasikan oleh beberapa metode. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk menyimulasikan penyebaran polutan serta menghitung nilai konsentrasinya adalah Model Dispersi *Gaussian*.

Model Dispersi *Gaussian* merupakan bentuk persamaan matematika yang dapat

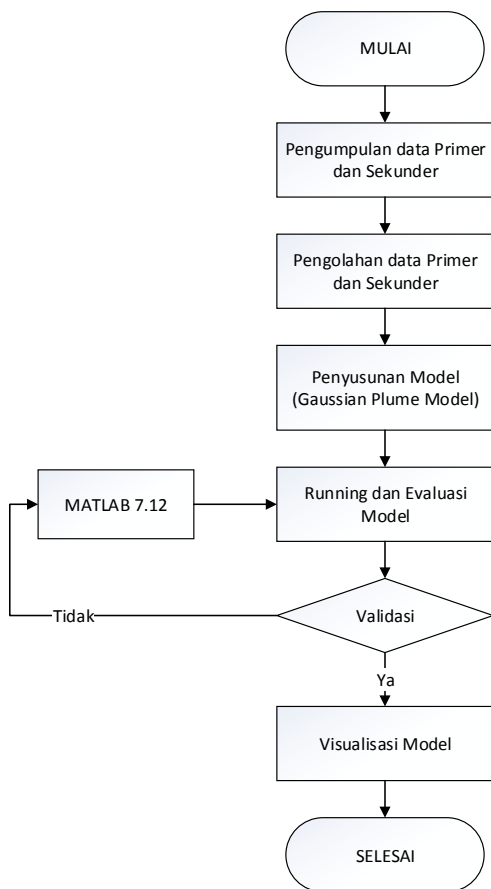
dimasukkan ke dalam perhitungan variabel yang bersifat fisis dan diberikan informasi yang lebih detail mengenai sumber polutan pada suatu daerah yang diteliti (Puspitasari, 2011; Bakar, 2006). Menurut Anita (2011), sampai saat ini, Model Dispersi *Gaussian* tetap dianggap paling tepat untuk melukiskan secara matematis pola 3 dimensi dari perjalanan semburan (*plume*) emisi. Dengan mengetahui konsentrasi dan pola penyebaran emisi, maka sebaran polutan dapat diprediksi guna memantau dan mengevaluasi polutan buangan yang berbahaya.

Pemodelan sebaran polutan dengan model *Gaussian* ini sudah pernah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya contohnya pada penelitian Sri Suryani, dkk (2010) yaitu membuat model sebaran polutan SO₂ pada cerobong asap PT. Semen Tonasa. Namun setelah diteliti dan dianalisis penelitian model sebaran polutan SO₂ ini tidak menggunakan faktor suhu lingkungan dan grafik model yang ditampilkan masih berbentuk 2 dimensi. Kekurangan ini membuat peneliti tertarik untuk membuat pemodelan polutan partikulat yang melibatkan suhu di dalamnya serta grafik model yang ditampilkan dalam bentuk dua dan tiga dimensi.

Untuk membantu menyelesaikan persamaan *Gaussian* dan untuk membuat model sebaran dalam bentuk grafik, peneliti menggunakan *software* Matlab 7.12 karena Matlab 7.12 merupakan perangkat lunak dengan kemampuan numerik yang andal dan menyediakan fasilitas grafik yang memadai. Selain itu, Matlab 7.12 ini sudah mendukung *GraphicUsingInterface* (GUI) yang membuat tampilan aplikasi yang akan dibuat kelak lebih menarik.

METODE

Diagram alir dari metode penelitian ini dapat dilihat pada **gambar 1**.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pengumpulan data primer dan sekunder

Data primer dan sekunder berfungsi sebagai referensi yang akan digunakan pada persamaan *gaussianplumemodel*. Data ini bisa diperoleh data pengamatan langsung di lapangan (data primer) dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika untuk data sekunder

Penyelesaian Numerik Persamaan Gaussian pada Gas dan Partikulat Molekul

Langkah selanjutnya yaitu mendefinisikan kedua bentuk persamaan Gaussian yaitu persamaan untuk gas dan partikulat molekul. Persamaan yang digunakan adalah persamaan (1):

$$C_{x,y,z,H} = \frac{Q}{2\mu\sigma_y\sigma_zU_H} \exp\left[-\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] \times \left\{ \exp\left[\left(\frac{z-H}{2\sigma_z^2}\right)\right] + \exp\left[\left(\frac{z+H}{2\sigma_z^2}\right)\right] \right\} \quad (1)$$

dengan

$C_{(x,y,z,H)}$: konsentrasi polutan udara dalam massa per volume ($\mu g/m^3$)

Q : laju emisi polutan dalam massa per waktu ($\mu g/detik$)

U_H : kecepatan angin di tinggi efektif (m/detik)

σ_y : koefisien dispersi secara horizontal terhadap sumbu x (m)

σ_z : koefisien dispersi secara vertikal terhadap sumbu x (m)

π : konstanta matematika untuk phi (3,14)

H : Tinggi efektif *stack* (cerobong) dari pusat kepulan (m) ($H = h + \Delta h$)

x : Jarak pengamat terhadap cerobong yang searah dengan arah angin (m)

y : jarak pengamat sejajar dengan sumbu-y dari sumber emisi (m)

z : jarak pengamat dari tanah (m) (Mubarak, 2013)

Friksi pada permukaan tanah akan berpengaruh terhadap kecepatan angin sehingga kecepatan di atas lebih tinggi daripada kecepatan di bawah. Perubahan kecepatan angin terhadap ketinggian dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$U_z = U_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^p \quad (2)$$

dengan

$U(z)$: kecepatan angin pada ketinggian z (m/s)

U_0 : kecepatan angin yang diukur dengan anemometer (m/s)

z_0 : tinggi lokasi pengambilan data kecepatan angin dari permukaan tanah (m)
 z : tinggi lokasi z (m)
 p : eksponen yang nilainya bervariasi bergantung pada stabilitas atmosfer
 (Hoesodo, 2004).

Nilai P merupakan fungsi dari kelas stabilitas *Pasquill-Gifford* dan kondisi topografis. Nilai P pada kondisi urban dan rural dapat dilihat pada tabel 1.

Kesulitan untuk menentukan nilai koefisien dispersi σ yang akurat menyebabkan munculnya persamaan-persamaan empiris sebagai solusi dari penentuan nilai koefisien tersebut. Persamaan McMullen merupakan persamaan yang paling banyak digunakan untuk menentukan nilai koefisien Turner pada daerah rural (pedesaan), yaitu:

$$\sigma = \exp(I + J(\ln x) + K(\ln)^2) \quad (3)$$

dengan

σ : koefisien dispersi (m)
 x : jarak searah dengan angin (km)

Kemudian untuk nilai konstanta I , J dan K dapat dilihat pada **tabel 2**.

Untuk area perkotaan (urban), nilai koefisien dispersi dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\sigma = Ix + Jx^K \quad (4)$$

Tabel 1. Variasi nilai eksponensial kecepatan angin untuk daerah rural dan urban

Kelas Stabilitas	Eksponensial Kecepatan Angin (p)	
	Urban	Rural
A	0,15	0,07
B	0,15	0,07
C	0,20	0,10
D	0,25	0,15
E	0,40	0,35
F	0,60	0,55

(Reible,1999)

Tabel 2. Konstanta I, J dan K pada persamaan McCullen

Kelas Stabilitas Pasquill	Untuk menentukan nilai σ_y			Untuk menentukan nilai σ_z		
	σ_y			σ_z		
	I	J	K	I	J	K
A	5,357	0,8828	-0,0076	6,035	2,1097	0,2770
B	5,058	0,9024	-0,0096	4,694	1,0629	0,0136
C	4,651	0,9181	-0,0076	4,110	0,9201	-0,0020
D	4,230	0,9222	-0,0087	3,414	0,7371	-0,0316
E	3,922	0,9222	-0,0064	3,057	0,6794	-0,0450
F	3,533	0,9191	-0,0070	2,621	0,6564	-0,0540

Tabel 3. Konstanta I, J dan K pada persamaan McCullen

Kelas Stabilitas Pasquill	Untuk menentukan nilai σ_y			Untuk menentukan nilai σ_z		
	σ_y			σ_z		
	I	J	K	I	J	K
A-B	320	0,40	-0,50	240	1,00	0,5
C	220	0,40	-0,50	200	0,00	0,00
D	160	0,40	-0,50	140	0,30	-0,50
E-F	110	0,40	-0,50	80	1,50	-0,50

Sementara nilai konstanta I , J dan K dapat dilihat pada **tabel 3**.

(Laskarzewska & Mehrvar, 2009)

Kemudian persamaan tersebut diubah ke dalam bentuk numerik. Setelah didapat bentuk numerik, persamaan tersebut diselesaikan dengan menggunakan bahasa pemrograman matlab.

Aplikasi dari penyelesaian Persamaan Gaussian

Setelah mendapat penyelesaian akhir dari persamaan Gaussian untuk gas dan partikulat molekul dalam bentuk numerik, langkah selanjutnya adalah mengaplikasikan penyelesaian persamaan Gaussian tersebut.

Adapun aplikasi dalam penelitian ini adalah membuat simulasi penyebaran polutan yang berasal dari cerobong asap berupa grafik dua dimensi, contour dan tiga dimensi dengan variasi nilai suhu cerobong,



Gambar 2. Tampilan aplikasi

kecepatan angin dan tinggi efektif cerobong guna mengetahui pengaruh ketiga parameter tersebut terhadap penyebaran konsentrasi polutan.

Pada grafik dua dimensi aplikasi ditampilkan dalam bentuk kurva konsentrasi polutan pada sumbu x yang searah dengan arah angin dan sumbu y yang melintang horizontal terhadap arah angin. Selain itu, simulasi juga akan ditampilkan dalam bentuk contour dengan komponen sumbu x, sumbu y dan konsentrasi polutan (C). Kemudian untuk grafik tiga dimensi, aplikasi ditampilkan dalam bentuk kurva tiga dimensi yang terdiri dari komponen sumbu x, sumbu y dan sumbu z yang dalam hal ini mewakili nilai konsentrasi polutan. Sebagai tambahan, simulasi ini juga akan ditampilkan dalam bentuk peta penyebaran asap. Peta tersebut diperoleh dari software Google Earth lalu di-mapping dengan contour penyebaran asap pabrik.

Untuk memudahkan pengguna (*user*), aplikasi ini dirancang dalam bentuk *Graphic Using Interface (GUI)* yaitu berbentuk *form* yang terdiri dari dua bagian peraga. Bagian masukan yang ditempatkan pada bagian kanan dan bagian keluaran yang ditempatkan pada bagian kiri. Selain itu aplikasi ini juga dilengkapi dengan menu pilihan grafik untuk menampilkan bentuk grafik yang diinginkan. Desain aplikasi ini dapat dilihat pada **gambar 2**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Percobaan

Data percobaan yang telah digunakan diambil dari data karakteristik cerobong asap

Tabel 4. Data percobaan yang akan disimulasikan ke dalam aplikasi

No	Parameter	Simbol	Hasil Pengukuran	Satuan
1.	Jarak lokasi pengamatan dari cerobong asap pada sumbu-x	-	500	m
2.	Sudut antara OP dan sumbu-x	α	30	derajat
3.	Sudut antara OP dan sumbu-y	β	60	derajat
4.	Tinggi cerobong	h	60	m
5.	Diameter cerobong	d	5	m
6.	Kecepatan angin	U	1,54	m/s
7.	Laju emisi polutan	Q	790	gr/s
8.	Suhu cerobong	T_{pc}	160	$^{\circ}C$
9.	Suhu udara sekitar	T_u	28	$^{\circ}C$
10.	Kecepatan polutan keluar dari cerobong	v_{pc}	2	m/s
11.	Stabilitas atmosfer	-	B	-
12.	Kondisi topografi	-	Rural (datar)	-

PT. Semen Tonasa, Makasar. Sementara itu, untuk data lingkungan diambil dari hasil pengukuran di lapangan. Secara keseluruhan data percobaan dapat dilihat pada **tabel 4**.

Pengaruh Perubahan Parameter Suhu, dan Kecepatan Angin terhadap Konsentrasi Polutan

Untuk memperoleh gambaran tentang perilaku polutan setelah meninggalkan cerobong asap, perlu dilakukan perubahan variasi nilai pada parameter masukan. Perubahan variasi nilai parameter ini dilakukan dengan melakukan penambahan nilai dengan interval yang ditentukan. Parameter yang divariasikan nilainya adalah suhu, kecepatan angin dan tinggi efektif.

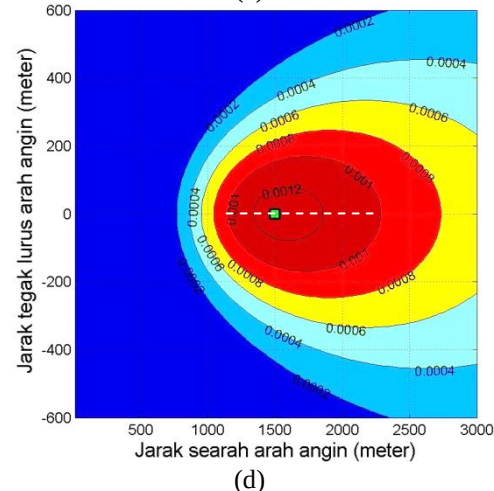
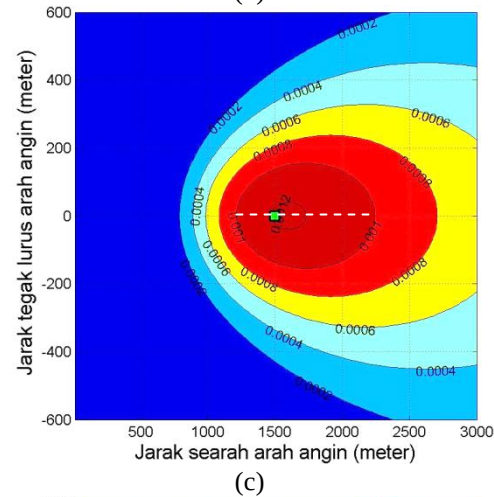
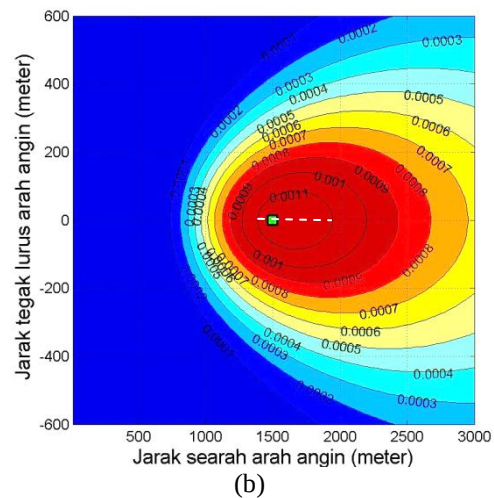
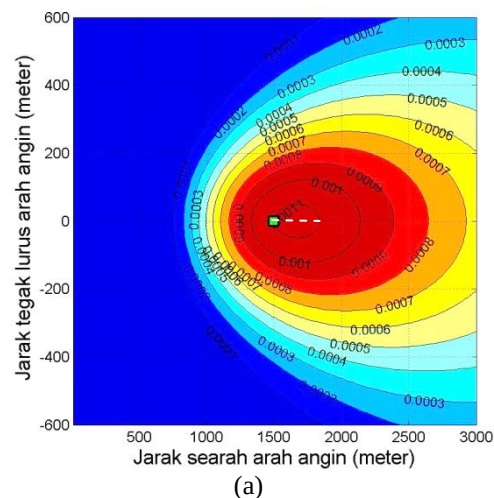
1. Pengaruh perubahan suhu terhadap konsentrasi polutan

Suhu yang nilainya bervariasi adalah suhu lingkungan karena suhu lingkungan senantiasa berubah

sedangkan suhu cerobong asap dianggap konstan. Suhu udara pada pagi, siang dan sore memiliki nilai yang berbeda. Selain itu juga perubahan suhu udara bisa disebabkan oleh hujan. Variasi nilai suhu lingkungan yang digunakan adalah 20 °C, 25°C, 30 °C dan 35 °C . Sementara nilai parameter lainnya tetap seperti pada tabel 4.

Tampak pada **gambar 3** perubahan yang signifikan terjadi pada pusat pola sebaran yang berbentuk lingkaran dengan konsentrasi $1,1 \times 10^{-3} \text{ gr/m}^3$. Diameter lingkaran pusat polutan yang ditandai dengan garis putus-putus semakin bertambah panjang seiring dengan berkurangnya nilai selisih antara suhu lingkungan dan cerobong asap ΔT . Pada suhu lingkungan 20 °C atau $\Delta T = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$, pusat sebaran memiliki diameter (garis putus-putus) 340 m. Kemudian pada suhu 25 °C atau $\Delta T = 135 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pusat sebaran memiliki diameter 560 m, pada suhu 30 °C atau $\Delta T = 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pusat sebaran memiliki diameter 1040 m dan pada suhu 35 °C atau $\Delta T = 125 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pusat sebaran memiliki diameter 1120 m.

Perubahan pola penyebaran ini merupakan akibat dari perubahan *plume rise* yang merupakan representasi dari perubahan nilai ΔT .



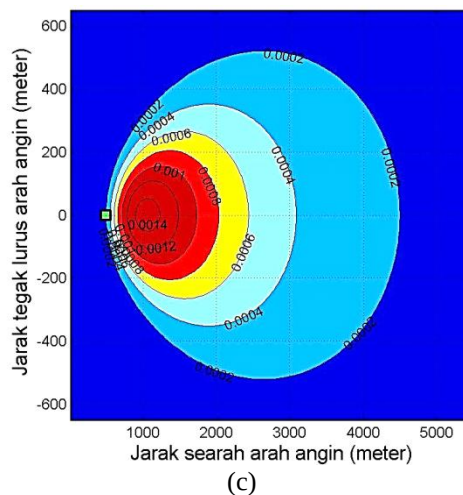
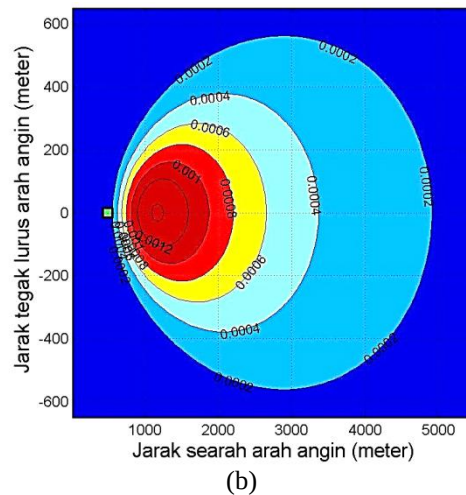
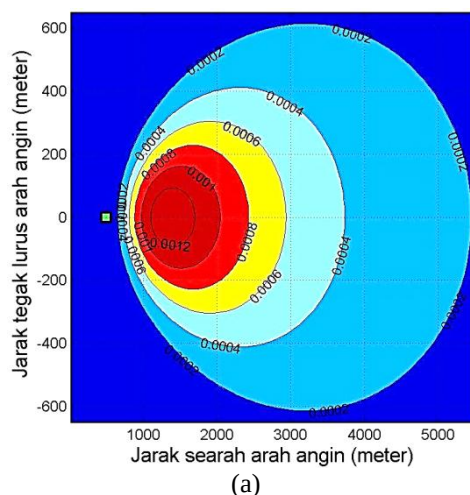
Gambar 3. Perubahan pola sebaran terhadap perubahan suhu lingkungan (a) suhu lingkungan 20 °C (b) suhu lingkungan 25 °C (c) suhu lingkungan 30 °C (d) suhu lingkungan 35 °C

2. Pengaruh kecepatan angin terhadap konsentrasi polutan

Nilai kecepatan angin yang divariasikan adalah 2 m/s; 2,5 m/s dan 3 m/s. Pengaruh perubahan kecepatan angin terhadap konsentrasi polutan dapat dilihat pada **gambar 4**.

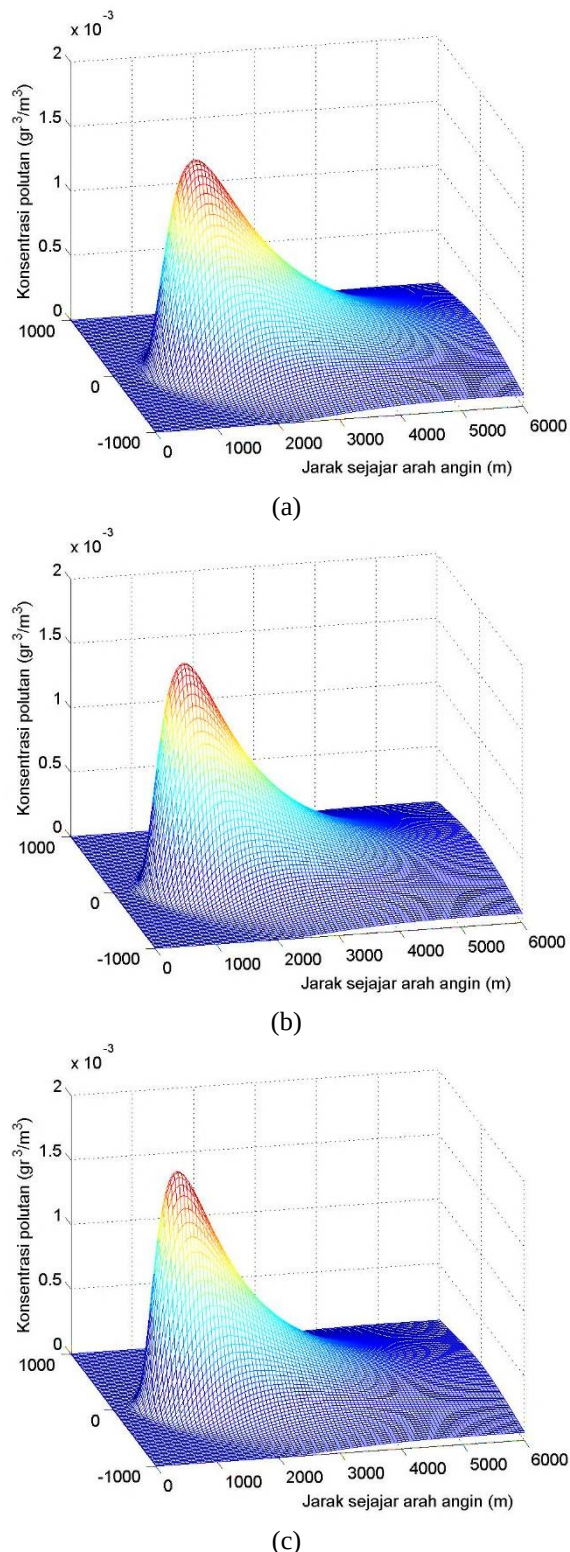
Perubahan pola penyebaran polutan terhadap kecepatan angin sangat signifikan (gambar 4). Perubahan ini terjadi secara merata baik terhadap sumbu x ataupun sumbu y.

Pada saat kecepatan angin 2 m/s jarak terjauyang dapat dijangkau oleh polutan dengan konsentrasi $2 \times 10^{-4} \text{ gr/m}^3$ terhadap sumbu x adalah 5,5 km dan untuk jangkauan pada sumbu y adalah 1,2km. Sementara itu, saat kecepatan angin 2,5 m/s jarak terjauh yang berimpit dengan sumbu x adalah 4,9 km dan sumbu y adalah 1,1 km dengan konsentrasi polutan $2 \times 10^{-4} \text{ gr/m}^3$ Selain itu, nilai konsentrasi pada pusat polutan bertambah tinggi yang semula bernilai $1,2 \times 10^{-3} \text{ gr/m}^3$ bertambah menjadi $1,4 \times 10^{-3} \text{ gr/m}^3$.



Gambar 4. Perubahan konsentrasi terhadap perubahan kecepatan angin (a) kecepatan angin 2 m/s (b) kecepatan angin 2,5 m/s (c) kecepatan angin 3 m/s

Kemudian pada saat kecepatan angin sebesar 3 m/s, jangkauan terjauh pada sumbu x adalah 4,5 km dan jangkauan pada sumbu y adalah 1 km dengan konsentrasi polutan $2 \times 10^{-4} \text{ gr/m}^3$. Nilai konsentrasi pada pusat sebaran tetap seperti sebelumnya, namun pola penyebarannya bertambah luas. Agar peningkatan konsentrasi di pusat polutan lebih terlihat jelas, grafik ditampilkan dalam bentuk tiga dimensi (gambar 5).



Gambar 5. Grafik Perubahan konsentrasi terhadap perubahan kecepatan angin dalam bentuk tiga dimensi (a) kecepatan angin 2 m/s (b) kecepatan angin 2,5 m/s (c) kecepatan angin 3 m/s

Tampak jelas pada **gambar 5** seiring dengan meningkatnya kecepatan angin maka pola distribusi polutan semakin menyempit dan konsentrasi polutan di pusat sebaran semakin meningkat.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

1. Semakin kecil nilai perubahan suhu ΔT antara suhu dalam cerobong dengan suhu udara di sekitar cerobong asap, semakin bertambah panjang diameter pola sebaran pusat .
2. Semakin besar nilai ΔT maka nilai *plume rise* semakin kecil.
3. Semakin besar kecepatan angin pola penyebaran polutan semakin menyempit dan nilai konsentrasi polutan pada pusat sebaran semakin bertambah.

Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah jumlah data primer atau sekunder dengan berbagai kondisi lingkungan sehingga diperoleh pola penyebaran polutan yang lebih bervariasi.
2. Menambahkan fitur database pada aplikasi untuk menyimpan data hasil simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Hoesodo, D. (2004). Permodelan Pencemaran Udara Akibat Lalu Lintas di Jalan Arteri. *Thesis*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Laskarzewska, B., & Mehrab, M. (2009). Atmospheric Chemistry In Existing Air Atmospheric Dispersion Models and

- Their Applications: Trend, Advances, and Future in Urban Area in Ontario, Canada and in Other Areas of The World. *International Journal Of Engineering (IJE)*, Vol 3(1), Page 21-57.
- Mabarak, F. (2013). Estimation of Ground-level Airborne Concentration in an Urban Area. *International Journal of Advanced Research*, Vol 1(7), Page 697-707.
- Niam, A. G., Kudang, B. S., & Arief, S. Y. (2009). Simulasi Dispersi Gas Polutan dari Cerobong ke Lingkungan Computational Fluid Dynamics (CFD). *Prosiding Seminar Nasional Himpunan Informatika Pertanian Indonesia* (pp. 1-10). Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Nugroho, A. S. (2012). Hubungan Konsentrasi Debu Total dengan Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja di PT. KS Tahun 2012. *Thesis*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Puspitasari, A. D. (2011). Pola Spasial Pencemaran Udara dari Sumber Pencemar PLTU dan PLTGU Muara Karang. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Reible, D. D. (1999). *Fundamentals Of Environmental Engineering*. United State of America: Lewis Publishers.
- Suryani, S., Gunawan, & Upe, A. (2010). Model Sebaran Polutan SO₂ pada Cerobong Asap PT. Semen Tonasa. *Konggres dan Seminar Nasional Badan Koordinasi Pusat Studi Lingkungan Hidup se-Indonesia*. Pekanbaru: Universitas Hasanuddin.
- Suhariyono, G. (2002). Korelasi Karakterisasi Partikel Debu PM₁₀/PM_{2,5} dan Resiko Kesehatan Masyarakat di Rumah-Rumah Sekitar Industri Semen. *M.Sc. Thesis*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.