

Pola Penyebaran Emisi Gas dari Limbah Industri di Kota Medan dengan Menggunakan Model Estimasi Dispersi Atmosferis

Rita Juliani¹, Derlina¹, Faisal², Mara Bangun¹

¹Jurusan Fisika FMIPA Unimed Jl. Willem Iskandar Ps. V Medan Estate

²BTKLPPM Jl. Wahid Hasyim Medan

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pola penyebaran emisi gas dari limbah industri menggunakan model estimasi dispersi atmosferis. Sebaran dan konsentrasi gas yang dilepas ke udara terbuka dipengaruhi kondisi meteorologi. Faktor meteorologi yang mempengaruhi dispersi adalah suhu, stabilitas atmosfer, arah serta kecepatan angin.

Pemodelan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak mathematica. Perhitungan numerik terhadap model menghasilkan estimasi konsentrasi polutan untuk lokasi dan waktu spesifik. Hasil perhitungan numerik untuk model dispersi dapat diverifikasi dengan cara membandingkannya terhadap hasil pengukuran konsentrasi polutan atmosfer secara statistik. Parameter yang diperlukan dalam pemakaian model adalah arah angin, kelajuan angin, dan stabilitas atmosfer.

Hasil yang diperoleh dari pemodelan estimasi atmosferis diperoleh, semakin tinggi jarak pengukuran dari permukaan tanah maka konsentrasi polutan semakin tinggi; semakin tinggi stack maka konsentrasi polutan yang menyebar di lingkungan hingga sampai dipermukaan tanah semakin menurun dan terus berkurang dengan bertambahnya jarak dari sumber. Semakin besar kecepatan angin maka konsentrasi polutan semakin kecil. Penyebaran angin dominan Timur ke Barat konsentrasi gas yang keluar dari cerobong lebih rendah dibanding dengan konsentrasi gas yang keluar dengan arah dominan Timur Laut ke Barat Daya. Namun sebaliknya daerah sebaran konsentrasinya semakin luas untuk angin dominan Timur ke Barat. Semakin besar jumlah konsentrasi keluar dari stack maka konsentrasi polutan yang menyebar di lingkungan juga akan semakin meningkat. Stabilitas atmosfer mempengaruhi pola konsentrasi polutan yang menyebar kelingkungan

Kata kunci : estimasi, atmosferis, stabilitas

Pendahuluan

Perkembangan sektor industri dari tahun ke tahun semakin pesat hal ini terlihat dari data Badan pusat Statistik (BPS) di Sumatera Utara (Sumatera dalam Angka) terus meningkat mencapai 200 industri besar dengan luas Kota Madya Medan 265 km², Peningkatan ini menuju pengembangan kota Medan ke arah kota industri dan jasa.

Kawasan industri medan (KIM) yang memiliki luas total sekitar 514 hektar, berjarak sekitar 10 km dari pusat kota Medan dan saat ini terdapat 86 perusahaan swasta nasional dan 17 perusahaan asing yang menempati lokasi tersebut serta berdampingan dengan pemukiman penduduk (wikipedi.org/wiki/kawasan_industri_medan). Sejalan

dengan laju pertumbuhan industri, masalah pencemaran oleh industri juga semakin meningkat.

Kasus pencemaran dan konflik akibat kehadiran industri makin sering terjadi. Pada awalnya sebuah industri berdiri dengan beberapa kegiatan pendahuluan yang paling umum dan tidak ada pernyataan keberatan dari masyarakat lingkungan sekitarnya. Tapi setelah industri berdiri, masyarakat mulai mendekati dengan mendirikan pemukiman disekitarnya, akibatnya timbul konflik antara masyarakat dengan pihak industri. Keadaan ini sebenarnya tidak perlu terjadi bila penggunaan lahan dan tata ruang cukup jelas

Pencemaran udara ambien adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam udara dan atau berubahnya tatanan udara yang mengakibatkan kualitas udara menurun sehingga dapat mengganggu atau membahayakan kesehatan masyarakat/manusia. (Pedoman umum Pengawasan Pencemaran Limbah Industri, Depkes, Jakarta 1988).

Pencemaran udara dapat dilihat dari banyaknya keluhan masyarakat yang tinggal berdekatan dengan kawasan industri, berdasarkan pemantauan dan wawancara dengan masyarakat di sekitar kawasan industri medan, sering tercium bau yang tajam dan sangat menyengat di sekitar pemukiman mereka, khususnya pada sore dan malam hari, dan terkadang menimbulkan sesak pada pernafasan.

Dede Nurdin (2003) menyatakan Medan yang merupakan salah satu kota besar di Indonesia memiliki jumlah hari dengan kualitas udara baik 15 persen atau 55 hari dalam setahun dan 72 persen dengan kualitas udara sedang atau 266 hari selama setahun serta 6 persen dengan kualitas udara tidak sehat atau 22 hari selama setahun.

Umumnya industri mengeluarkan limbah sebagai akibat pembakaran bahan bakar, penggunaan bahan baku maupun akibat proses industrinya. Limbah industri yang dihasilkan dapat berbentuk cair maupun gas. Limbah industri berupa gas biasanya dilepas ke atmosfer melalui suatu cerobong asap (stack). Gas pencemar yang dibuang ke udara akan mengalami disperse terbawa angin ke segala arah mengenai lokasi disekitar kawasan industri dan bercampur dengan udara di atmosfer. Gas ini akan menetap dalam atmosfer untuk beberapa lama. Lama pencemar menetap dalam atmosfer tidak sama bergantung pada jenis gasnya. Gas pencemar belerang dioksida lama waktu tersebut diperkirakan beberapa hari, tetapi untuk karbon monoksida dapat sampai beberapa bulan.

Jika gas pencemar dikeluarkan secara merata di permukaan bumi dan bercampur diseluruh atmosfer, maka sekalipun pencemar dengan masa bertahan yang cukup panjang akan memiliki kadar yang rendah sehingga tidak ada artinya dibanding dengan tingkat pencemaran rata-rata saat ini. Tetapi karena pencemaran tersebut terjadi di daerah yang kecil, dan diperlukan waktu bagi pencemar tersebut untuk menyebar, maka terkumpul gas pencemar dengan konsentrasi yang tidak dapat diterima.

Sebaran dan konsentrasi gas yang dilepas ke udara terbuka juga dipengaruhi kondisi meteorologi daerah. Faktor meteorologi yang mempengaruhi dispersi adalah suhu, stabilitas atmosfer, arah serta kecepatan angin. Perbedaan faktor meteorologi di setiap lokasi mengakibatkan lokasi yang jaraknya sama dari sumber gas memiliki konsentrasi gas yang berbeda. Lokasi yang jauh dapat memiliki konsentrasi yang lebih besar daripada lokasi yang relatif dekat ke sumber gas. Hal ini seperti dilihat dalam penelitian Ginting (dalam Derlina, 2001) yang mendapatkan bahwa kadar sulfur dioksida/24 jam disekitar pabrik dalam arah angin dominan sebesar 0.022 ppm dan pada arah angin tidak dominan kadar sulfur dioksida 0.015 ppm. Sementara kadar sulfur oksida pada jarak 1000 m dari sumber gas lebih tinggi dari lokasi yang berjarak 300 m dari sumber.

Kecepatan angin menentukan seberapa banyak konsentrasi pencemar mula-mula tercampur dan dengan ketidak teraturan kecepatan angin serta arah angin maka laju penyebaran konsentrasi gas pencemar terbawa kesegala arah. Faktor ini menentukan suatu daerah akan tercemar dan seberapa cepat konsentrasi gas pencemar menipis akibat percampuran dengan udara lingkungan setelah gas pencemar meninggalkan sumbernya. Pada angin lemah laju pencampuran udara tercemar dengan udara sekelilingnya jauh lebih kecil dibandingkan dengan angin kuat.

Proses dispersi konsentrasi pencemar yang dilepas melalui sumber stack merupakan permasalahan yang penting untuk dikaji lebih jauh untuk membantu pemantauan dan pengendalian pencemaran udara yang diakibatkan oleh industri. Konsentrasi polutan tertentu pada lokasi dan waktu spesifik ditentukan secara numerik melalui simulasi komputer untuk model estimasi dispersi atmosferis.

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini data model numerik yang dianalisis adalah data yang berasal dari Stasiun Meteorologi Klas I Polonia Medan, data fisik pabrik, literatur yang parameternya saling mempengaruhi. Untuk melihat pengaruh hubungan parameter meteorologi terhadap perubahan konsentrasi gas polutan secara numerik atau hasil simulasi komputer digunakan persamaan dispersi atmosferis yang dibuat dengan perangkat lunak Mathematica.

Model Dispersi Atmosferis

Dalam penelitian ini konsentrasi polutan tertentu pada lokasi dan waktu spesifik ditentukan secara numerik melalui simulasi komputer untuk model estimasi dispersi atmosferis yang diajukan Turner (Davis, M.L., 1991). Turner mengajukan model persamaan estimasi konsentrasi polutan sebagai:

$$C_{(x,y,z)} = (Q / 2\pi\sigma_y\sigma_z u) \exp(-y^2/2\sigma_y^2) \{ \exp(-(z-h)^2/2\sigma_z^2) + \exp[-(z+h)^2/2\sigma_z^2] \}$$

dimana

C = Konsentrasi gas diatas permukaan bumi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Q = Laju emisi gas keluar stack ($\mu\text{g}/\text{s}$)

σ_y, σ_z = Konstanta deviasi standar dispersi vertikal dan horizontal (m)

u = Kecepatan angin (m/s)

x = Jarak pengamatan dalam arah angin (m)

y = Jarak transversal (melintang arah x) (m)

z = Jarak vertical (ketinggian) (m)

Plume rise berkaitan dengan tinggi efektif stack (H), dimana tinggi efektif stack merupakan jumlah tinggi stack (h) ditambah plume rise (Δh).

$$H = h + \Delta H$$

Rumus Holland (Davis, M.L., 1991) dapat digunakan untuk menghitung (Δh):

$$(\Delta h) = V_s d / u [1.5 + (2.68 \times 10^{-2} (P) [(T_s - T_a) / T_s] / d]$$

dimana:

V_s = kecepatan gas dalam stack (m/s)

d = diameter stack (m)

u = kecepatan angin (m/s)

P = tekanan (kPa)

T_s = temperatur stack (K)

T_a = temperatur udara (K)

Data klas stabilitas atmosfer yang digunakan dari literatur :

Kategori Stabilitas Pasquill-Gifford

Tabel.1. Kategori stabilitas Pasquill-Gifford

KELAS	DEFENISI
A	Sangat labil
B	Labil sedang
C	Sedikit labil
D	Netral
E	Sedikit stabil
F	Stabil

Panduan penentuan kelas stabilitas ditentukan dari kecepatan angin, permukaan awan dan waktu harian.

Tabel..2. Panduan penentuan kelas stabilitas Pasquill-Gifford

Kecepatan angin permukaan (m/det)	Siang		Malam		
	Kuat	Isolasi Sedang	Lemah	Mendung tipis atau rendah lebih dari 4/8	Awan kurang dari 3/8
2	A	A - B	B		
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
6	C	D	D	D	D

Variasi σ_y dan σ_z dengan x untuk keenam kelas stabilitas. Variasi ini didekatkan dengan

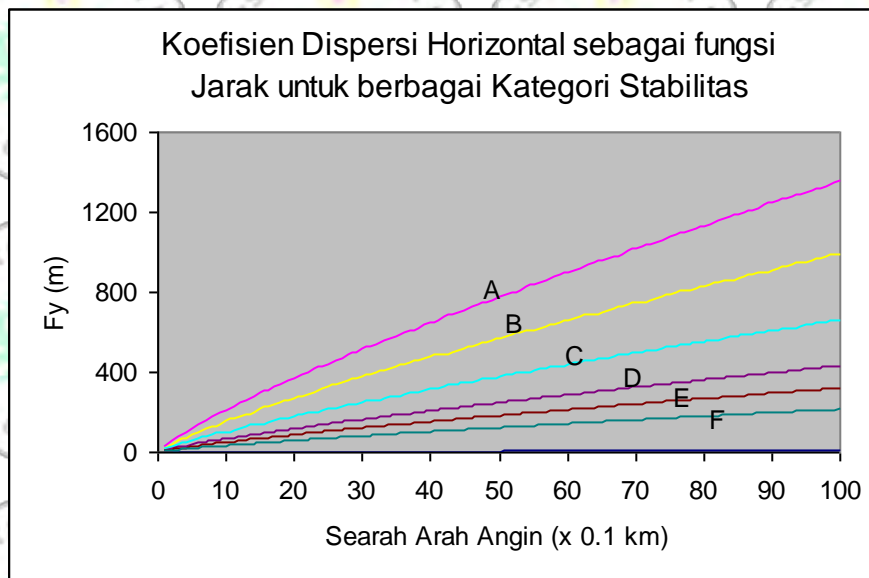
$$\sigma_y = ax^{0.894}$$

dan $\sigma_z = cx^d + f$

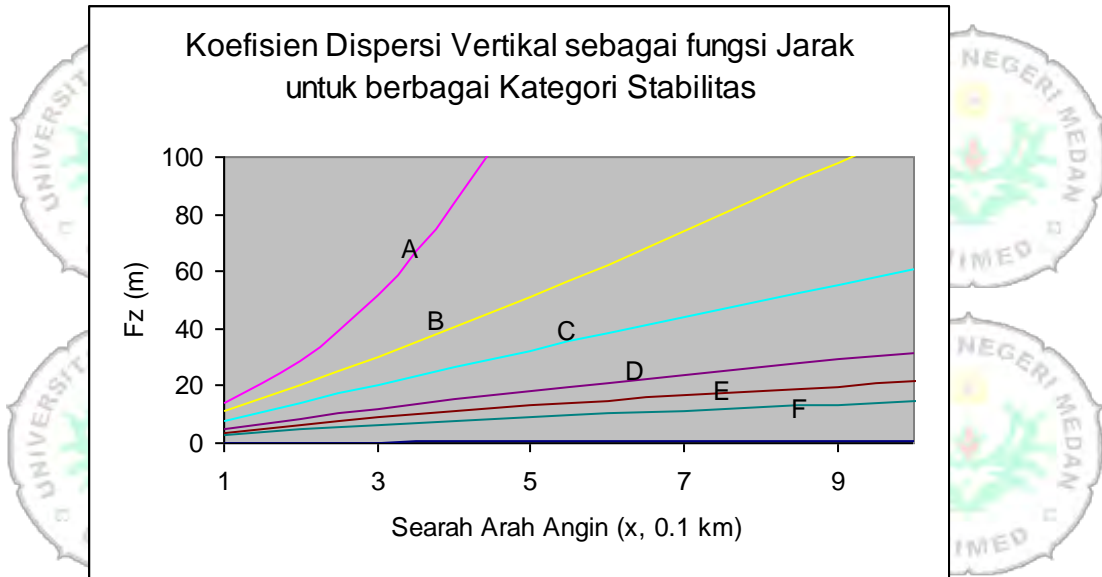
dengan konstanta a,c,d dan f bergantung kepada kelas stabilitas yang ditunjukkan pada table.3.

Tabel.3. Konstanta empiris hubungan untuk σ_y dan σ_z

Kelas	$x \leq 1 \text{ km}$			$x \geq 1 \text{ km}$		
	a	c	d	f	c	f
Stabilitas						
A	213	440.8	1.941	9.27	459.7	2.094
B	156	106.6	1.149	3.3	108.2	1.098
C	104	61	0.911	0	61	0.911
D	68	33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516
E	50.5	22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305
F	3	14.35	0.70	0.35	62.6	0.180



Gambar.1. Koefisien Dispersi Horizontal sebagai Fungsi Arah Angin untuk berbagai Kategori Stabilitas

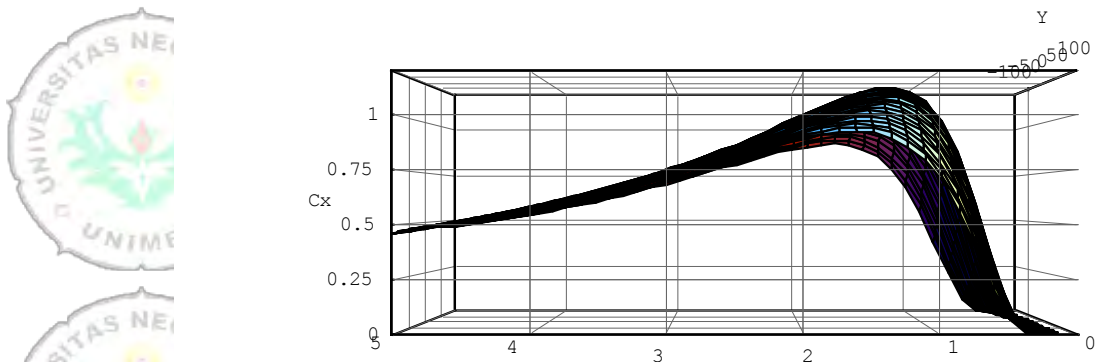


Gambar.2. Koefisien Dispersi Vertikal sebagai Fungsi Arah Angin untuk berbagai Kategori Stabilitas

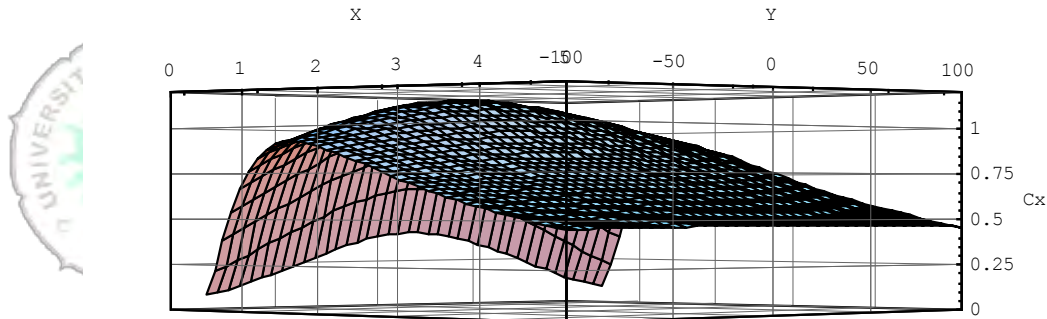
Hasil dan Pembahasan

Perubahan Konsentrasi terhadap Fungsi Jarak dari Permukaan Tanah

Hasil yang diamati untuk perubahan konsentrasi terhadap fungsi jarak pengukuran dari permukaan tanah dengan tampilan dari depan dan dari samping seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3. Perubahan Konsentrasi terhadap fungsi jarak pengukuran dari permukaan tanah dengan tampilan dari depan



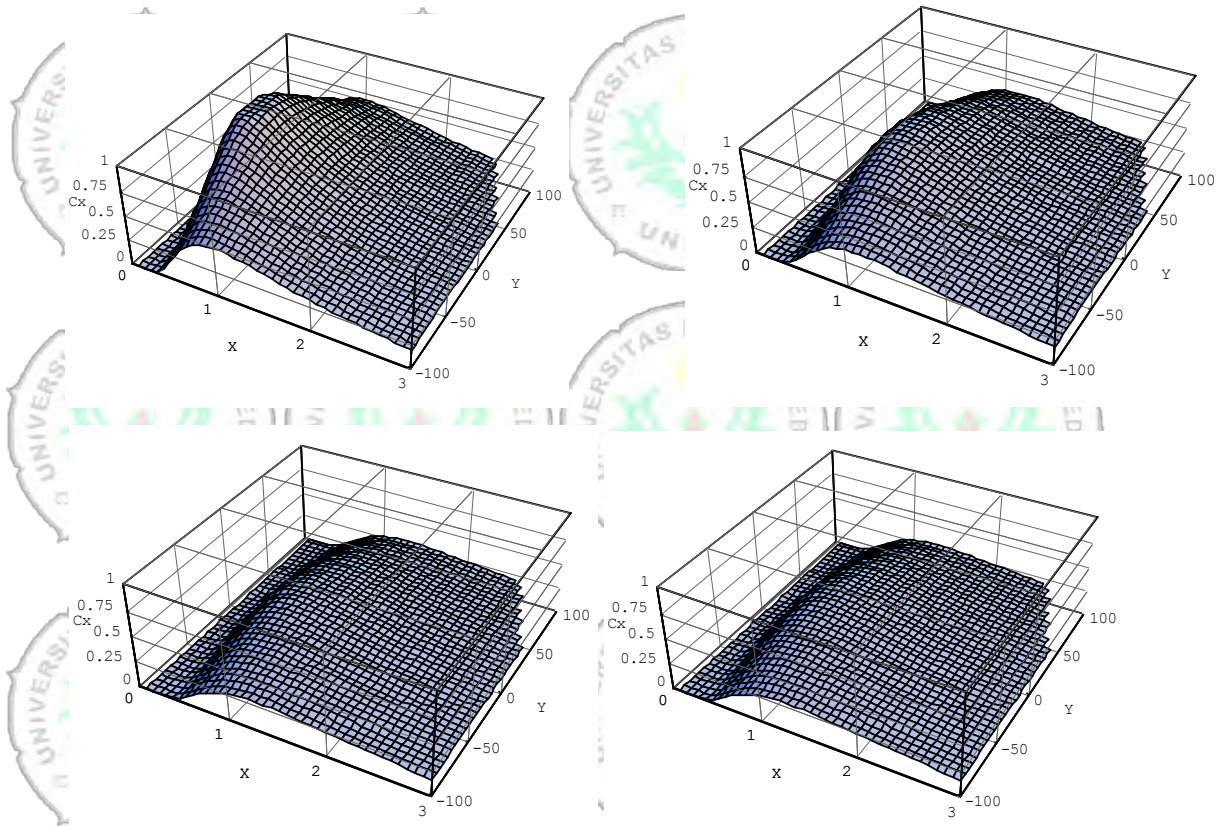
Gambar 4. Perubahan Konsentrasi terhadap fungsi jarak pengukuran dari permukaan tanah dengan tampilan dari samping

Gambar 3. dan gambar 4 memperlihatkan konsentrasi gas yang keluar dari cerobong akan semakin berkurang dengan berkurangnya ketinggian dari permukaan tanah. Hal ini disebabkan gaya apung termal menentukan ketebalan lapisan konvektif yang disebut “ketebalan campuran maksimum”. Jika paket udara dipanasi oleh radiasi matahari pada permukaan bumi, maka suhunya lebih panas daripada udara lingkungan. Beda suhu antara paket udara dan udara lingkungan menyebabkan gaya apung.

Perubahan konsentrasi sebagai fungsi ketinggian stack

Dalam keadaan meteorologi yang sama konsentrasi gas bisa saja tidak sama, karena konsentrasi gas di udara dipengaruhi oleh bentuk fisik sumbernya, seperti tinggi dan diameter stack, serta luas tersebarannya gas tersebut. Untuk melihat perubahan konsentrasi sebagai fungsi ketinggian stack pada arah x dapat dilihat pada gambar 5. di bawah ini.

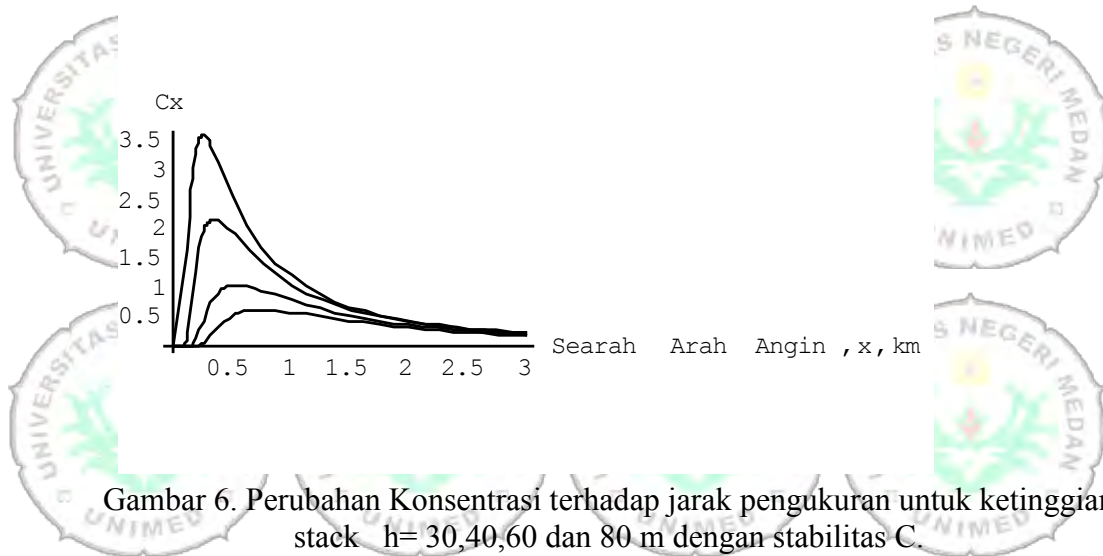




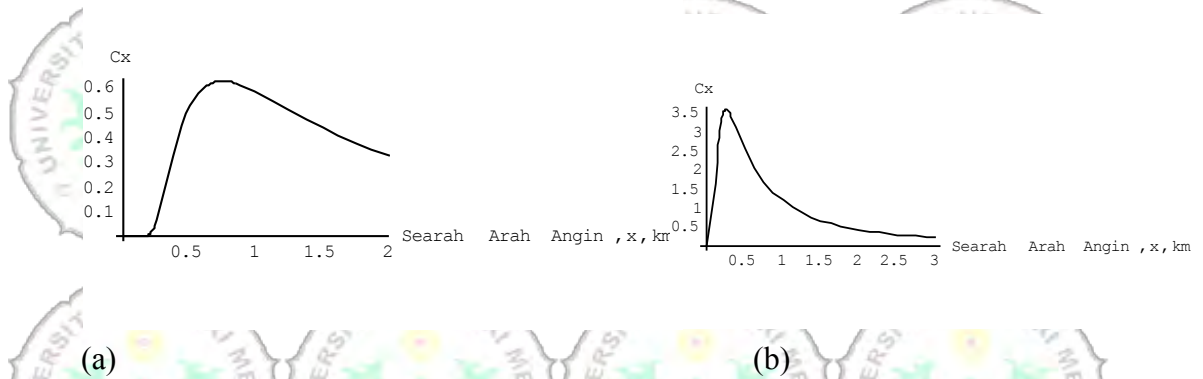
Gambar 5. Perubahan konsentrasi sebagai fungsi ketinggian stack untuk tinggi stack 60 sampai 120 meter dengan interval 20 m

Pada gambar 5 terlihat bahwa semakin tinggi stack maka konsentrasi polutan yang menyebar di lingkungan hingga sampai dipermukaan tanah akan semakin menurun dan terus berkurang dengan bertambahnya jarak dari sumber.

Setelah gas pencemar keluar dari stack, gas akan menyebar dan bercampur dengan udara ambient. Gerakan udara horizontal akan membelokkan plume dalam arah angin. Jika plume naik, membelok dan bergerak dalam arah angin maka plume akan larut dengan volume ambient yang mengitarinya dan selanjutnya akan menyebar ke permukaan tanah. Secara grafik dapat diperlihatkan Perubahan Konsentrasi terhadap jarak pengukuran untuk ketinggian stack $h = 30, 40, 60$ dan 80 m pada stabilitas C.



Gambar 6. Perubahan Konsentrasi terhadap jarak pengukuran untuk ketinggian stack $h=30,40,60$ dan 80 m dengan stabilitas C.

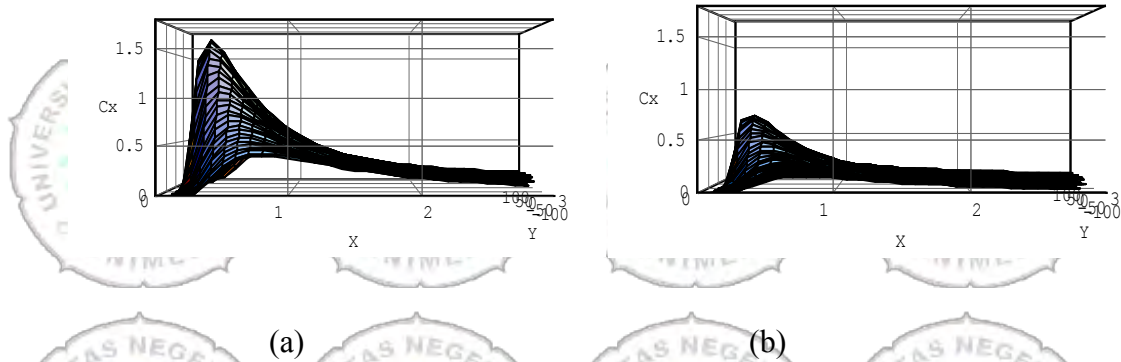


Gambar 7. Perubahan Konsentrasi terhadap jarak pengukuran untuk ketinggian stack $h=80$ m (a) dan 30 m (b) dengan stabilitas C.

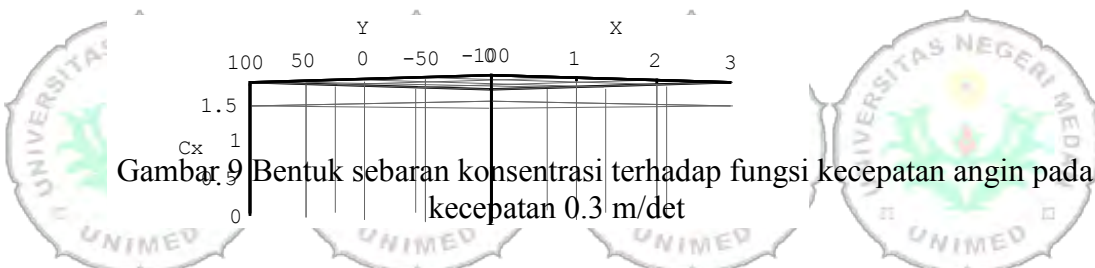
Pada gambar 7 memperlihatkan bahwa konsentrasi pada ketinggian stack 80 m (a) memiliki konsentrasi yang lebih rendah dibanding dengan ketinggian stack 30 m (b) untuk jarak pengukuran searah dengan arah angin ini berarti semakin tinggi stack maka konsentrasi yang sampai kepermukaan tanah akan semakin kecil.

Perubahan konsentrasi terhadap fungsi kecepatan angin

Angin adalah udara yang bergerak. Akibat pergerakan udara maka akan terjadi suatu proses penyebaran yang dapat mengakibatkan pengenceran dari bahan pencemar udara, sehingga pencemar pada jarak tertentu dari sumber akan mempunyai konsentrasi berbeda. Untuk memperlihatkan perubahan konsentrasi terhadap kecepatan angin diperlihatkan pada gambar dibawah ini



Gambar 8 Perubahan konsentrasi terhadap fungsi kecepatan angin pada kecepatan 0.1 dan 0.3 m/det



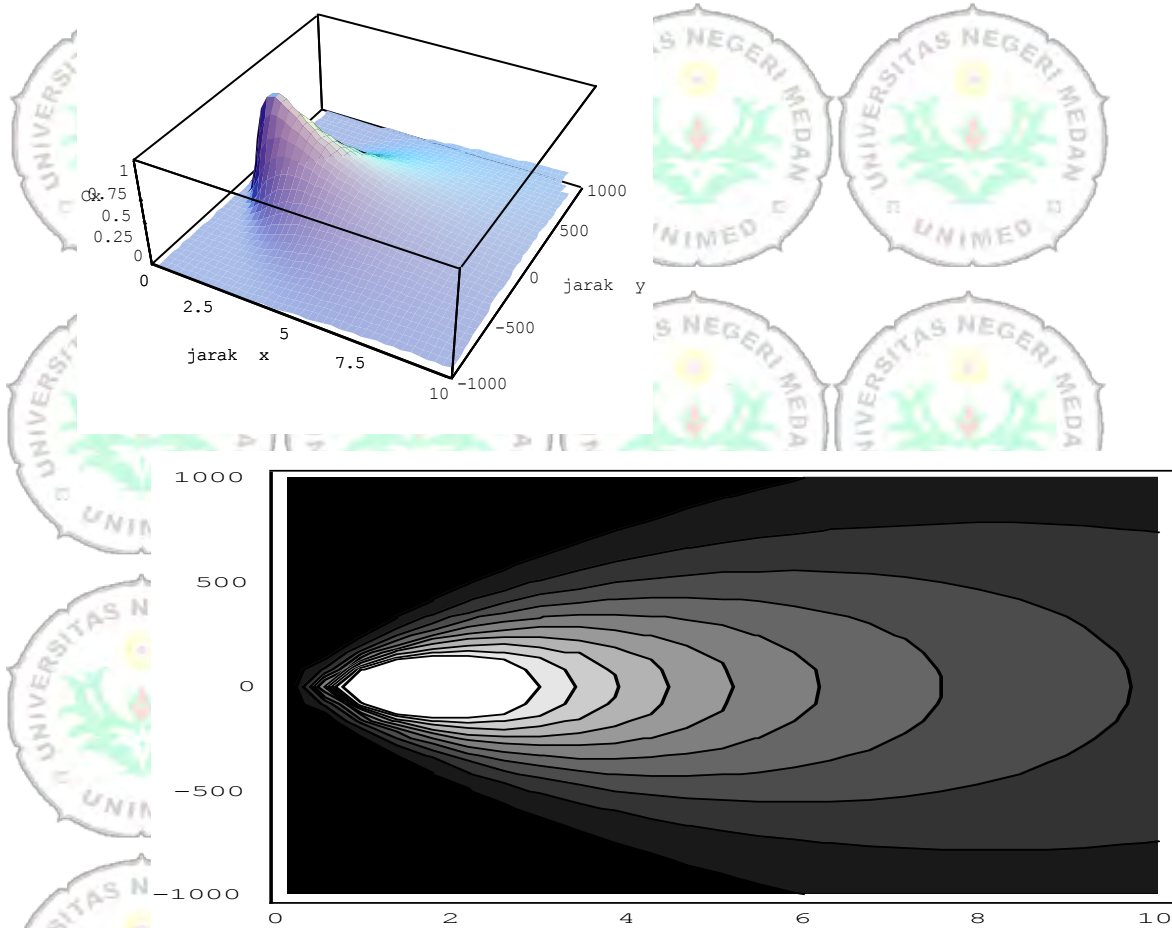
Gambar 9 Bentuk sebaran konsentrasi terhadap fungsi kecepatan angin pada kecepatan 0.3 m/det

Pada gambar 9 terlihat bahwa konsentrasi meningkat pada kecepatan angin 0.1 m/det (a) yang kemudian dengan bertambahnya kecepatan angin 0.3 m/det (b) tingkat konsentrasinya semakin menurun hal ini disebabkan angin kencang bergolaknya kuat sehingga konsentrasi pencemar menjadi encer, sedangkan angin reda bergolaknya lemah sehingga konsentrasi pencemar menjadi pekat.

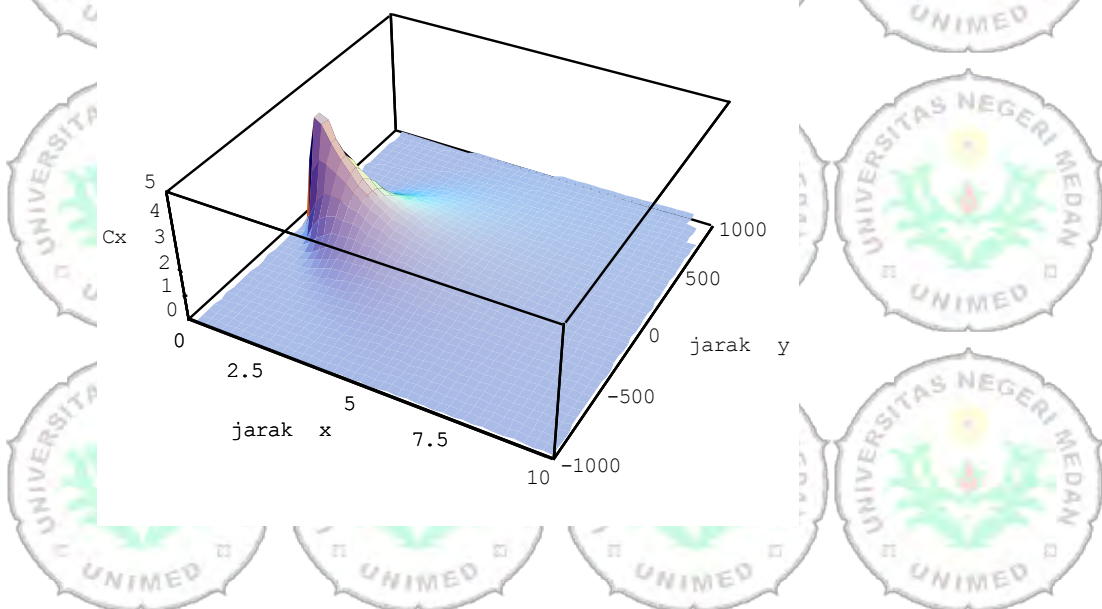
Angin yang lebih kuat lebih bersifat galikan sehingga udara yang tercemar lebih cepat tercampur dengan udara sekelilingnya dan menjadi lebih tipis. Pada angin lemah, galikan lebih kecil dan kadar cemarnya tetap tinggi. Galikan terwujud baik dalam bentuk fluktuasi arah angin maupun kecepatan angin. Keragaman menghasilkan percampuran sepanjang arah angin rata-rata dan keragaman arah menyebabkan percampuran menyamping dan percampuran atas dan bawah.

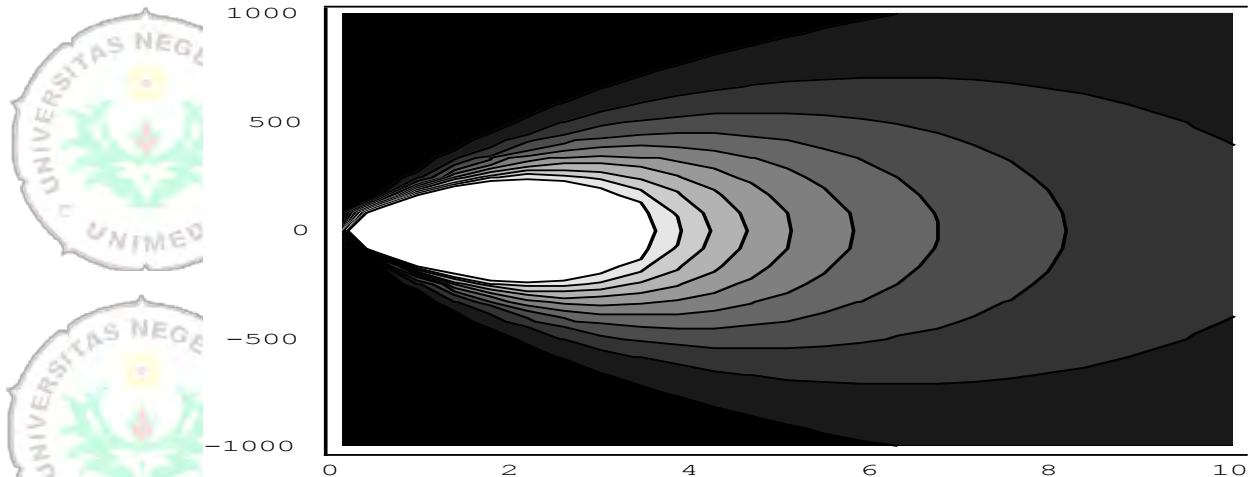
Perubahan konsentrasi sebagai fungsi Arah Angin

Sebaran konsentrasi gas dekat sumber lebih tinggi tetapi daerah sebarannya makin sempit. Sebaliknya konsentrasi gas pada tempat jauh dari sumber lebih kecil tetapi daerah sebaran konsentrasinya makin luas terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 10. Penyebaran gas dalam arah angin dominan Timur ke Barat dengan laju emisi 15.82 g/det





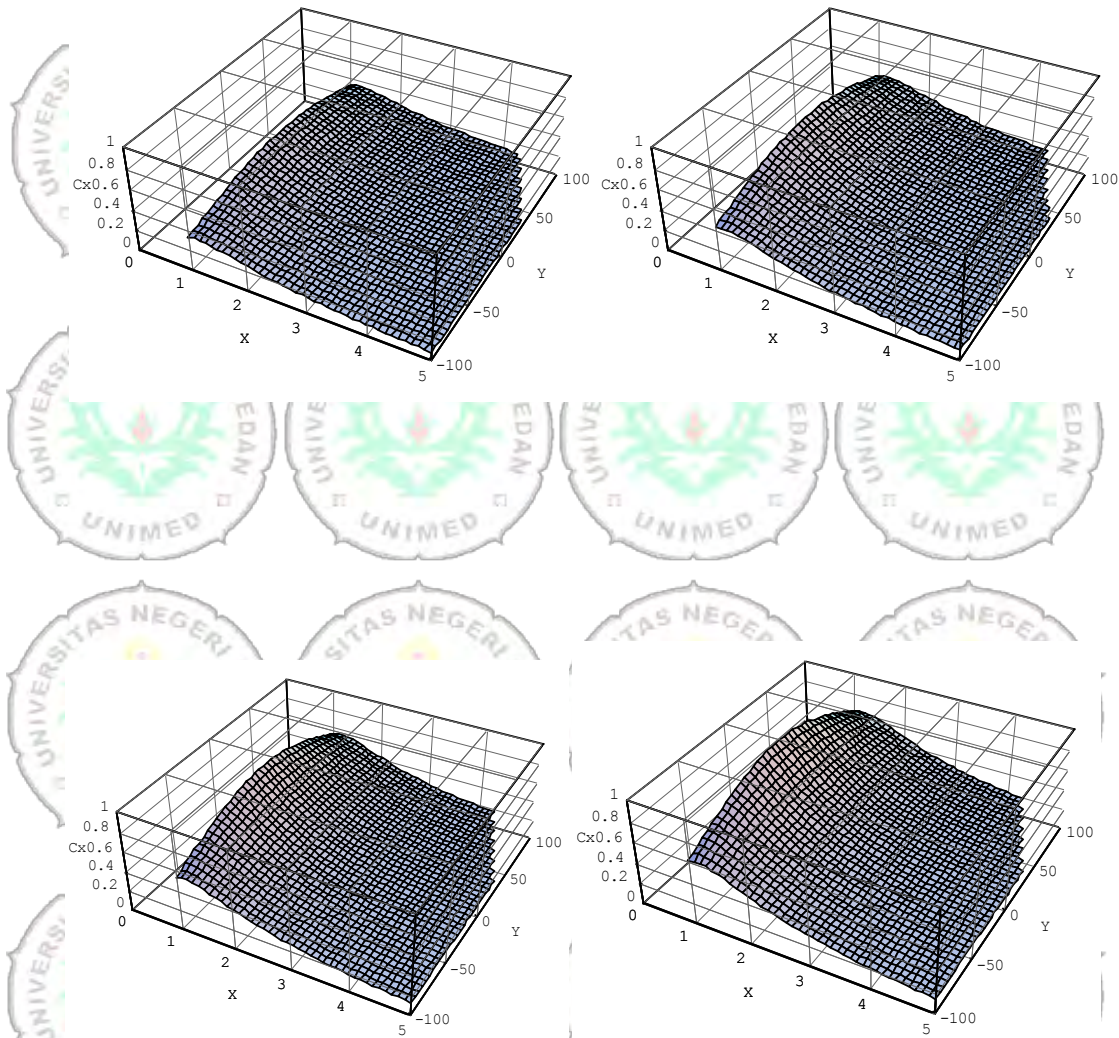
Gambar 11. Penyebaran gas dalam arah angin dominan Timur Laut ke Barat Daya dengan laju emisi 15.82 g/det

Gambar 10 dan gambar 11 memperlihatkan bahwa penyebaran angin dominan Timur ke Barat konsentrasi gas mula-mula yang keluar dari cerobong lebih rendah dibanding dengan konsentrasi gas yang keluar dengan arah dominan Timur Laut ke Barat Daya. Namun sebaliknya daerah sebaran konsentrasinya semakin luas untuk angin dominan Timur ke Barat.

Perubahan konsentrasi sebagai fungsi konsentrasi pada saat keluar stack

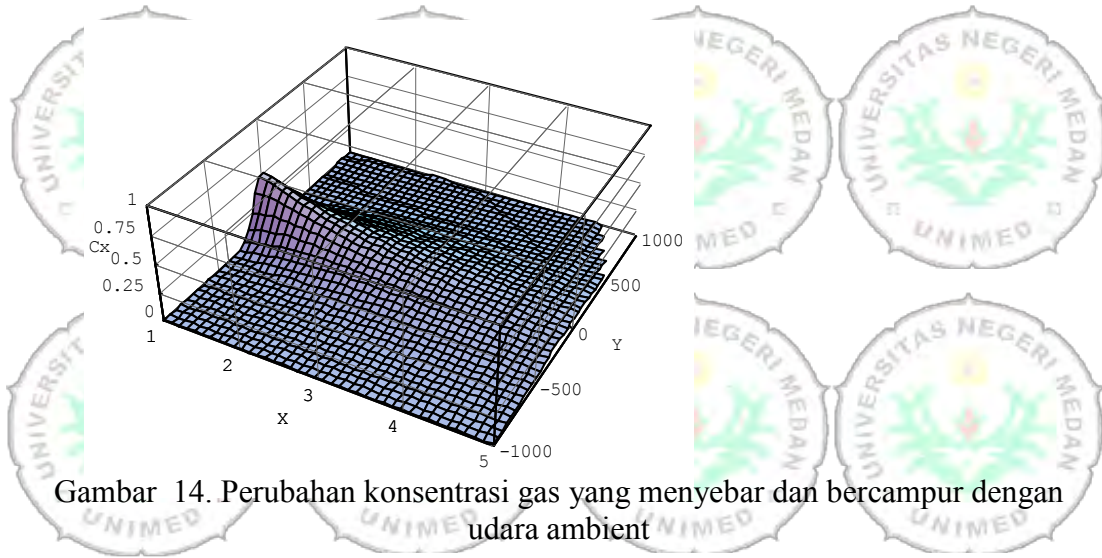
Besar konsentrasi dan dispersi gas dalam atmosfer dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor utama adalah jumlah gas yang dilepaskan dari sumber emisi. Untuk melihat perubahan konsentrasi sebagai fungsi konsentrasi pada saat keluar dari stack dapat dilihat pada gambar 12 di bawah ini.



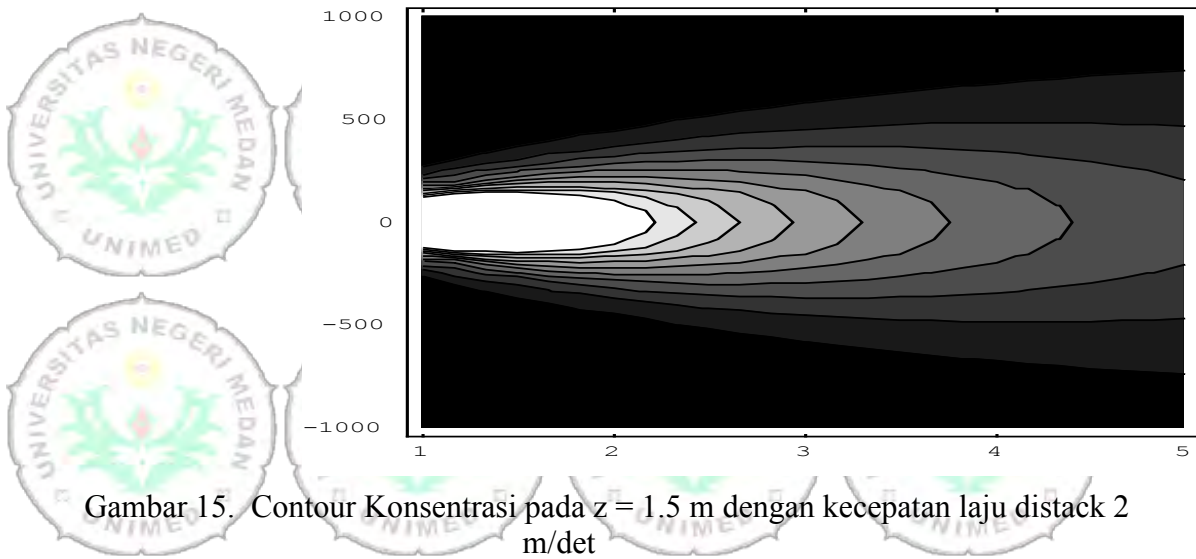


Gambar 13 Perubahan konsentrasi sebagai fungsi konsentrasi pada saat keluar dari stack

Pada gambar 13 terlihat bahwa semakin besar jumlah konsentrasi keluar dari stack maka konsentrasi polutan yang menyebar di lingkungan juga akan semakin meningkat. Pada umumnya limbah industri berupa gas buang secara vertikal ke udara bebas melalui stack atau cerobong asap. Gas yang dilepas dalam waktu singkat disebut "puffs" dan yang dilepas dalam waktu lama disebut "plume". Setelah gas pencemar keluar dari stack, gas akan menyebar dan bercampur dengan udara ambient .



Gambar 14. Perubahan konsentrasi gas yang menyebar dan bercampur dengan udara ambient



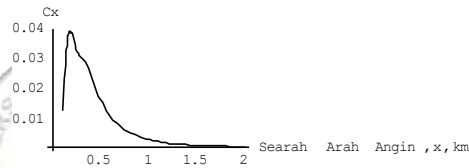
Gambar 15. Contour Konsentrasi pada $z = 1.5$ m dengan kecepatan laju distack 2 m/det

Gerakan udara horizontal akan membelokkan plume dalam arah angin. Jika plume naik, membelok dan bergerak dalam arah angin maka plume akan larut dengan volume ambient yang mengitarinya dan selanjutnya akan menyebar ke permukaan tanah. Kontur penyebaran konsentrasi gas pencemar terlihat pada gambar, yaitu penyebaran gas pencemar ke segala arah dengan arah horizontal lebih dominant dibanding kearah vertical, hal ini disebabkan konsentrasinya dipengaruhi oleh kecepatan angin dan arahnya. Kontor penyebaran gas juga menunjukkan bahwa konsentrasi polutan akan semakin berkurang dengan bertambahnya jarak pengukuran baik arah x maupun y.

Perubahan konsentrasi sebagai fungsi stabilitas atmosfer

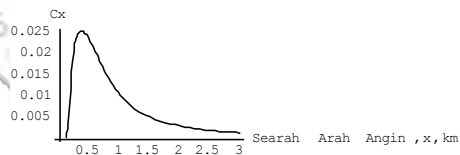
Untuk melihat pengaruh perubahan konsentrasi terhadap fungsi stabilitas atmosfer diperlihatkan pada gambar 16 di bawah ini

Stabilitas A



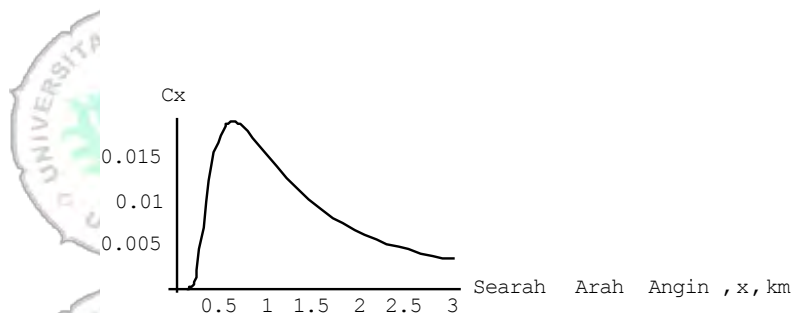
Gambar 16. Perubahan konsentrasi sebagai fungsi jarak searah dengan arah angin untuk stabilitas A pada jarak $0 \leq x \leq 1$ km dan $x \geq 1$ km

Stabilitas B



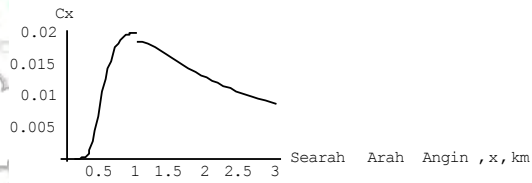
Gambar 17. Perubahan konsentrasi sebagai fungsi jarak searah dengan arah angin untuk stabilitas B pada jarak $x \geq 1$ km dan $x \leq 1$ km

Stabilitas C



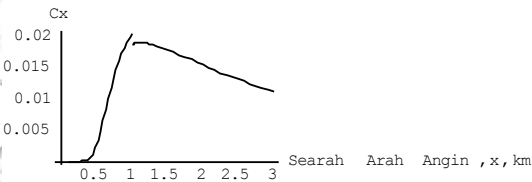
Gambar 18. Perubahan konsentrasi sebagai fungsi jarak searah dengan arah angin untuk jarak kurang dari $x \geq 1$ km dan $x \leq 1$ km untuk stabilitas C

Stabilitas D



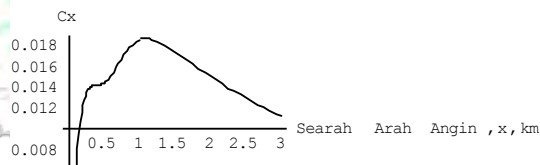
Gambar 19. Perubahan konsentrasi sebagai fungsi jarak searah dengan arah angin untuk jarak kurang dari $x \geq 1$ km dan $x \leq 1$ km untuk stabilitas D

Stabilitas E



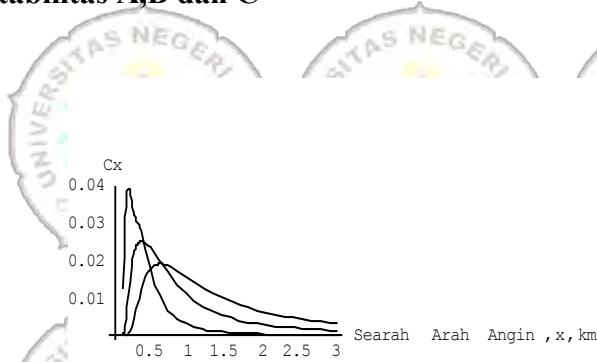
Gambar 20. Perubahan konsentrasi sebagai fungsi jarak searah dengan arah angin untuk jarak kurang dari $x \geq 1$ km dan $x \leq 1$ km untuk stabilitas E

Stabilitas F

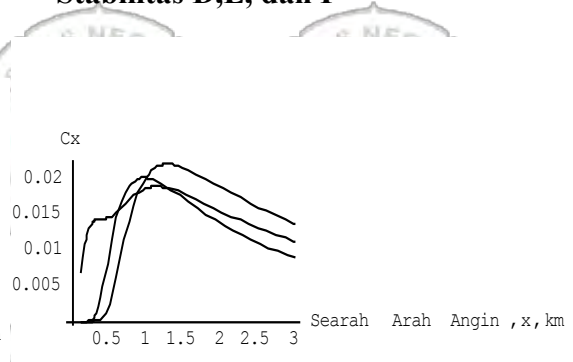


Gambar 21. Perubahan konsentrasi sebagai fungsi jarak searah dengan arah angin untuk jarak kurang dari 1 km $x \geq 1$ km dan $x \leq 1$ km untuk stabilitas F

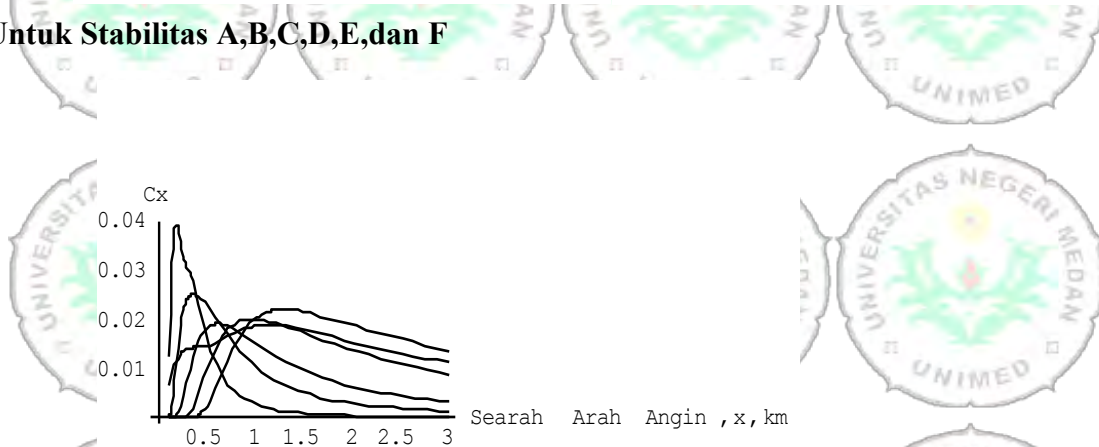
Stabilitas A,B dan C



Stabilitas D,E, dan F



Untuk Stabilitas A,B,C,D,E,dan F



Gambar 22 Perubahan konsentrasi sebagai fungsi jarak searah dengan arah angin untuk jarak kurang dari 1 km dan lebih dari 1 km untuk stabilitas A - F

Dari gambar 22. untuk Stabilitas A,B,C,D,E, dan F terlihat bahwa tingkat konsentrasi pada jarak kurang dari 500 m dari sumber untuk stabilitas A yaitu tingkat stabilitas sangat labil terlihat konsentrasi polutannya jauh lebih tinggi pada jarak 200 m dari sumber dibanding stabilitas lain dan penurunan konsentrasi lebih cepat sehingga pada jarak kurang dari 1.5 km konsentrasinya hampir mendekati nol. Pada stabilitas A suhu udara berkurang secara cepat dengan bertambahnya ketinggian sehingga jenis kepulan asap yang keluar dari cerobong cenderung berbentuk ikalan.

Stabilitas B atau labil sedang konsentrasi tertinggi pada jarak mendekati 400 m dari sumber dan penurunan konsentrasi secara eksponensial turun dengan bertambahnya jarak pengukuran.

Untuk Stabilitas C atau labil sedang, puncak konsentrasi polutannya lebih rendah dibanding dengan stabilitas yang lain dan terjadi pada jarak berkisar 600 m dari sumber dan secara bertahap konsentrasinya menurun dengan bertambahnya jarak pengukuran dengan konsentrasi penurunannya lebih lambat dibanding stabilitas A dan B

Untuk stabilitas D yaitu tingkat stabilitas netral kenaikan konsentrasi dimulai pada jarak 500 m dari sumber dan mulai meningkat secara bertahap dengan bertambahnya jarak, konsentrasi tertinggi terjadi pada jarak kurang dari 1.2 km, sedang untuk stabilitas E hal yang sama menyerupai stabilitas D hanya nilai konsentrasi polutannya lebih rendah dan terjadi pada jarak sekitar 1 km dari sumber.

Pada stabilitas F yaitu tingkat stabil terlihat bahwa konsentrasi polutan mulai meningkat turun dan naik kembali terjadi pada jarak 500 m dan 1.5 km dan akhirnya mulai berkurang dengan bertambahnya jarak.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan:

1. Semakin tinggi jarak pengukuran dari permukaan tanah maka konsentrasi polutan akan semakin tinggi.
2. Semakin tinggi stack maka konsentrasi polutan yang menyebar di lingkungan hingga sampai dipermukaan tanah akan semakin menurun dan terus berkurang dengan bertambahnya jarak dari sumber.
3. Semakin besar kecepatan angin maka konsentrasi polutan akan semakin kecil.
4. Penyebaran angin dominan Timur ke Barat konsentrasi gas yang keluar dari cerobong lebih rendah dibanding dengan konsentrasi gas yang keluar dengan arah dominan Timur Laut ke Barat Daya. Namun sebaliknya daerah sebaran konsentrasinya semakin luas untuk angin dominan Timur ke Barat.
5. Semakin besar jumlah konsentrasi keluar dari stack maka konsentrasi polutan yang menyebar di lingkungan juga akan semakin meningkat.
6. Stabilitas atmosfer mempengaruhi pola konsentrasi polutan yang menyebar kelingkungan

Saran

Berdasarkan hasil penelitian disarankan untuk mengambil data kualitas udara sebanyak mungkin untuk berbagai kondisi untuk mengetahui trend atau pola dari penyebaran konsentrasi polutan dari hasil pengukuran

DAFTAR PUSTAKA

1. Ayres,R.U.(1989). *Tecnological Transformation and Long Environment*. Austria
2. Anonim.(1997). *Undang-undang Republik Indonesia Nomor 23 tahun 1997 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup Badan Pengendalian Dampak Lingkungan*. Jakarta.
3. Bayong, T.H.K (1987). *Iklm dan lingkungan* .P.T Cendekia Jaya Utama, Bandung, Hal 28
4. Bayong, T.H.K (2004). *Klimatologi*. Edisi Kedua, ITB Bandung
5. Canter,L.W.(1977). *Environmental Impact Assesment* .Mc.Graw Hill,New York,331 pp
6. Davis,M.L,and Cornwell D.A, (1991),*Introduction to environmental Engineering*,Scond Edition, .Mc.Graw Hill,New York.
7. Derlina.(2001). *Sebaran Konsentrasi Gas Sulfur Dioksida Dalam Udara Di Sekitar P.T Utaki Dengan Model Dispersi Gauss*, Tesis Program Pasca Sarjana USU Medan.
8. de Nevers Noel.(2000). *Air Pollution Control Engineering*,McGraw-Hill Higher Education,Singapore
9. Fardiaz,S.(1996).*Polusi Air dan Udara* ,Karnisius, Jogyakarta.
10. Fandeli,Ch.(1992).AMDAL,*Prinsip Dasar Pemanfaatan Dalam Pembangunan Libertu*, Jogyakarta
11. Green Peace International.(1995). *What Is Clean Production* [http ://www. rec.org/ poland/ wpa/cpbl. htm](http://www.rec.org/poland/wpa/cpbl.htm).
12. Indra Gunawan.(2005). *Polusi dan kerusakan Lingkungan*, Harian analisa Medan
13. Kienly G.(1992).*Environtmental Engineering*, Irwin, Mc. Graw Hill. Boston. pp.344-347.
14. Kent, J.A. (1983). *Riegels Hand Book of Industrial Chemistry*, Van Nostrard Reinhold, New york. Pp 469-475.
15. Kupchella, Charles E dan Hyland, Margaret C. (1993). *Enviromental Science*, Prentice-Hall International,Inc, Amerika
16. Morgan Joseph M, Morgan Michael D dan Wiersma. (1986). *Introduction To Enviromental Science*, W.H. Freeman and Company, New York
17. Neigburger, M.Edinger, J.G, dan Bonner, W.D. (1995). *Memahami atmosfer lingkungan kita*, ITB, Bandung .
18. Nurdin dkk (2003). *Udara Bersih Hak Kita Bersama*, <http://www.pelangi.or.id>
19. Paul L.Bishop. (2000) *Pollution Prevention*. Mc Graw hill.Sidney.
20. Salvato,J.A.(1982), *Environmental Engineering and sanitation*, Jhon Wiley & Sons, New York.pp 617-618.
21. Samson Ferry J.(1997). *Air Pollution Modeling*, Lecture Note from ADSS 563, University of Michigan.

22. Sekretaris Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. (1995). *Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor KEP-03/MENKLH/1991 Tentang Mutu Air dan Udara Ambient.*
23. Stern, Athur Cecil. (1976). *Air Pollution*, Academic Press, New York
24. Stoker, H.S, Seager S.L (1972). *Environmental Chemistry Air and Water Pollution*, Scott Foresman and Co.London, p.92.
25. Perkins, H.C. (1974). *Air Pollution, International Student Edition*. Mc. Graw Hill Koga Kusha LTD.pp 182-187.
26. - MSc in Computational Fluid Dynamics Atmospheric Dispersion

