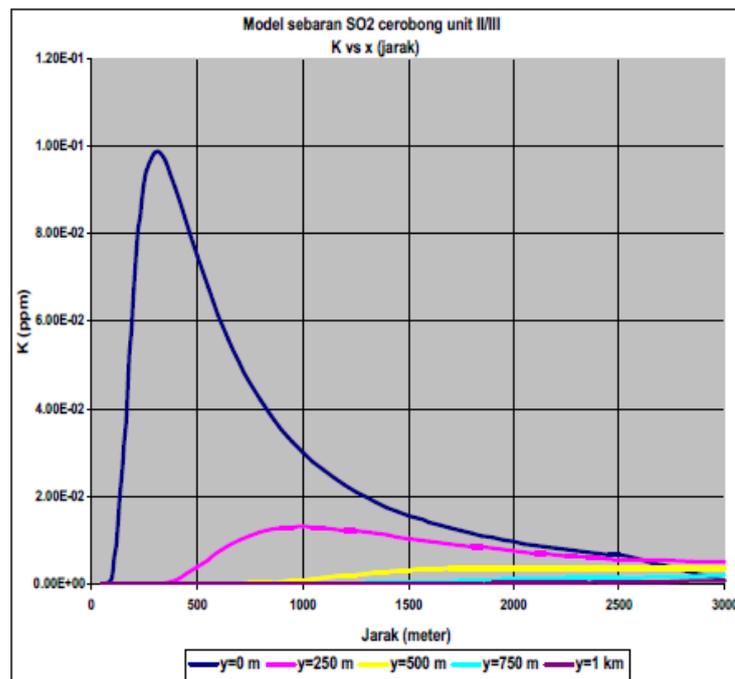


BAB II

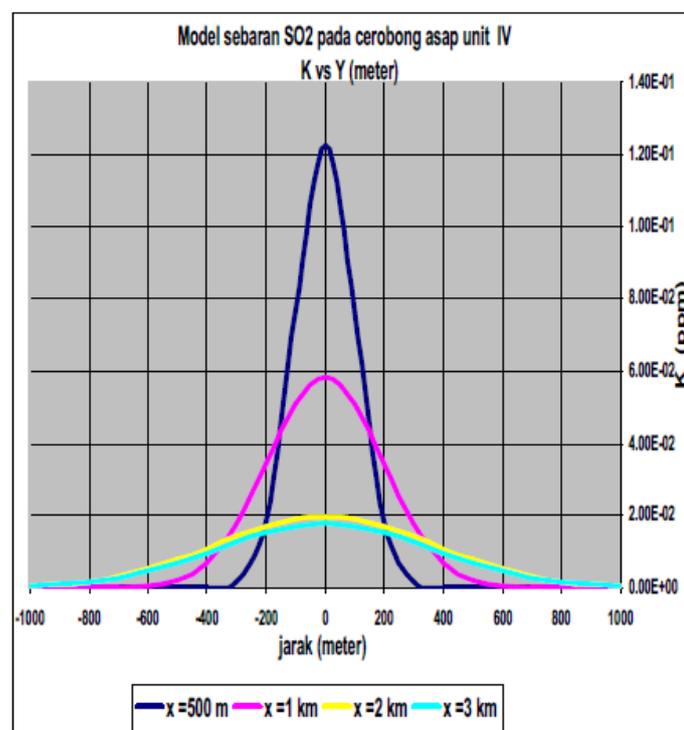
TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang simulasi dispersi polutan ini sudah pernah dilakukan sebelumnya. Salah satunya dilakukan oleh Sri Suryani, dkk (2010) yaitu membuat model sebaran polutan SO₂ pada cerobong asap PT. Semen Tonasa. Penelitian tersebut menggunakan metode analisis deskriptif kuantitatif dengan mendesain suatu bentuk pemodelan sebaran polutan SO₂ dengan persamaan kepulan asap Gauss *point source*. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi terbesar gas SO₂ pada pabrik unit II/III adalah 0,090 ppm, konsentrasi terbesar gas SO₂ pada pabrik unit IV adalah 0,12 ppm pada jarak 350 meter – 500 meter dari sumber. Namun penelitian memiliki beberapa kekurangan yaitu tidak menggunakan faktor suhu lingkungan dalam menentukan nilai konsentrasi SO₂. Selain itu grafik penyebaran konsentrasi SO₂ ditampilkan hanya dalam 2 dimensi. Beberapa hasil simulasi penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 dan 2.

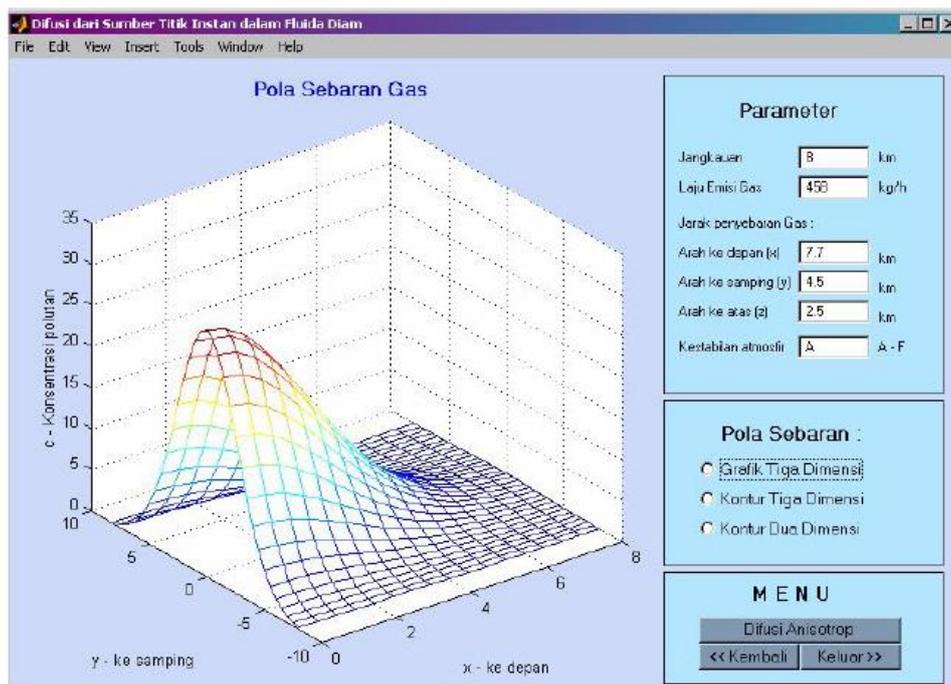


Gambar 1. Model Konsentrasi sebaran SO_2 pada Cerobong Unit II/III
(Sumber:Suryani, dkk, 2010)

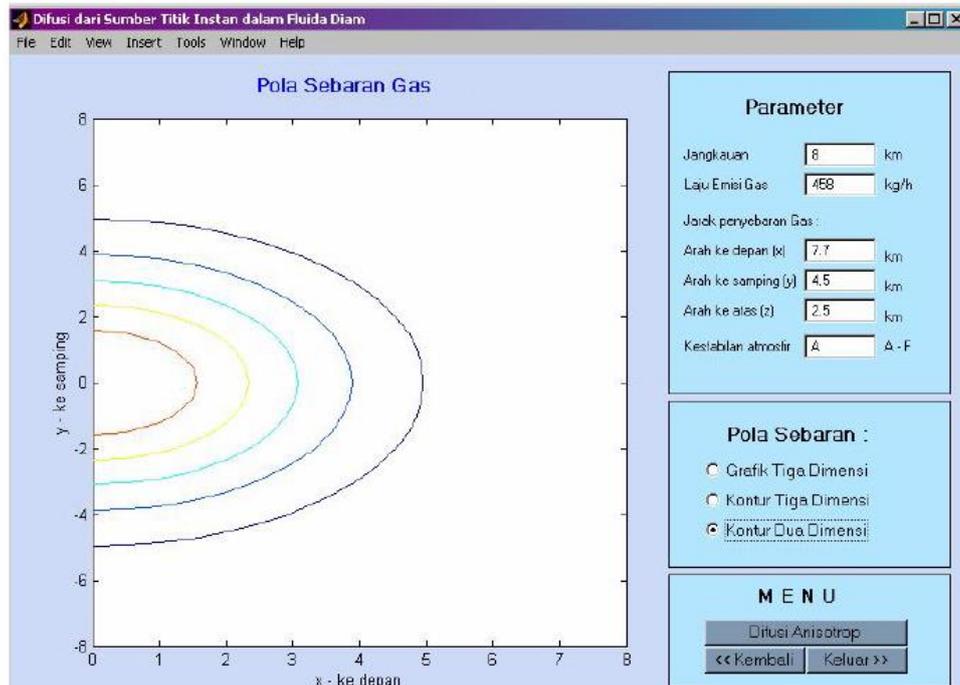


Gambar 2. Model Sebaran SO_2 pada Cerobong Unit IV arah sumbu Y
(Sumber:Suryani, dkk, 2010)

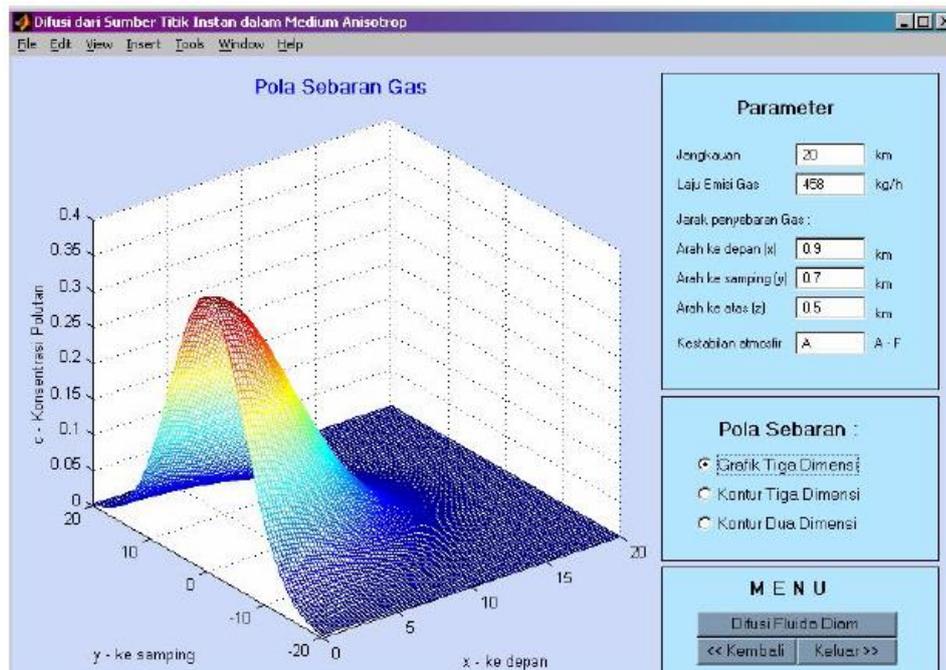
Penelitian serupa juga dilakukan oleh Supriyono (2010) yaitu aplikasi komputer untuk visualisasi pola sebaran konsentrasi gas dari sumber titik instan dalam fluida diam dan medium anisotrop. Penelitian tersebut menggunakan model difusi tak tunak dari sumber titik instan dalam fluida diam dan model difusi dari sumber titik instan di dalam medium anisotrop serta penggambaran konsentrasi gas dalam kurva distribusi gauss dalam bentuk 2 dimensi dan 3 dimensi dengan bantuan software Matlab 6.1. Namun, tidak jauh berbeda pada penelitian Sri Suryani, dkk (2010) penelitian ini juga tidak menggunakan faktor suhu lingkungan. Hasil simulasi dari penelitian supriyono dapat dilihat pada gambar 3, 4, 5, dan 6.



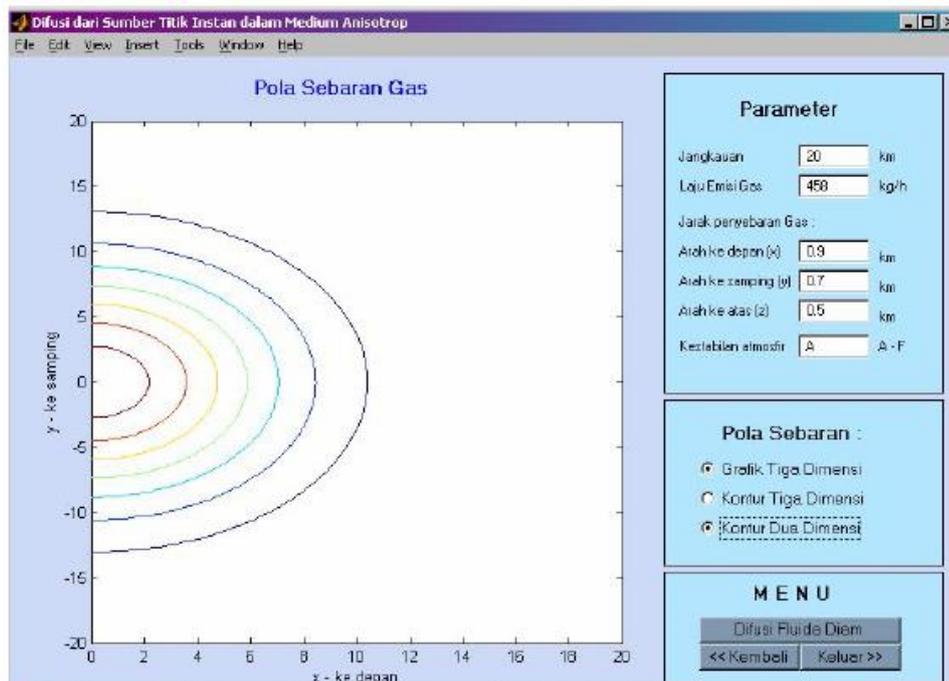
Gambar 3. Tampilan input untuk difusi Fluida Diam dan Grafiknya
(Sumber:Supriyono, 2010)



Gambar 4. Tampilan grafik 2-Dimensi untuk Difusi Fluida Diam (Sumber:Supriyono, 2010)



Gambar 5. Tampilan grafik 2-Dimensi untuk Difusi Anisotrop dan Grafiknya (Sumber:Supriyono, 2010)



Gambar 6. Tampilan Kontur untuk Difusi Anisotrop
(Sumber:Supriyono, 2010)

B. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini penulis mencoba menerapkan model penyebaran polutan dengan metode dispersi Gaussian *point source* untuk diuji cobakan pada lokasi dan objek yang berbeda dengan membandingkan salah satu hasil penelitian sebelumnya dalam hal tingkat keakurasian antara hasil simulasi dengan data sampling. Setelah mendapatkan tingkat akurasi yang baik, persebaran polutan gas dan partikulat molekuler disimulasikan dalam grafik 2 dimensi dan 3 dimensi.

C. Teori Dasar

1. Udara

Menurut Wahyu dalam Puspitasari (2011) bahwa udara merupakan suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Campuran gas tersebut memiliki komposisi yang bervariasi. Air dalam bentuk uap H₂O dan karbon dioksida merupakan komponen yang konsentrasinya yang paling bervariasi. Cuaca dan suhu adalah faktor yang mempengaruhi jumlah uap air yang terdapat di udara.

Udara sebagai sumber daya alam yang mempengaruhi kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya harus dijaga dan dipelihara kelestarian fungsinya untuk pemeliharaan kesehatan dan kesejahteraan manusia serta perlindungan bagi makhluk hidup lainnya. Supaya udara dapat bermanfaat sebesar-besarnya bagi pelestarian fungsi lingkungan hidup, maka perlu dipelihara, dijaga dan dijamin mutunya melalui pengendalian pencemaran udara (PP No. 41 Tahun 1999). Seyogianya udara yang merupakan sumber daya alam harus dapat dipertahankan kestabilannya untuk mencegah bencana akibat dari udara yang sudah tidak seimbang seperti efek rumah kaca. Efek rumah kaca adalah proses masuknya sinar matahari ke bumi dan dipantulkan kembali oleh permukaan bumi dimana sinar itu berubah menjadi energi panas yang berupa sinar inframerah selanjutnya energi panas terperangkap dalam atmosfer bumi akibat keberadaan gas-gas rumah kaca yang mengakibatkan kenaikan suhu bumi. Gas-gas rumah kaca di atmosfer memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi

matahari yang dipantulkan oleh bumi sehingga menyebabkan kenaikan suhu di permukaan bumi.

Efek rumah kaca ini tidak bisa dicegah dengan mudah. Hal ini dikarenakan aktivitas manusia yang semakin meningkat yang memproduksi gas-gas penghasil efek rumah kaca. Di Bumi terdapat sekitar 5,8 Miliar ton udara dengan berbagai macam jenis gas di dalamnya. Salah satu gas itu adalah CO₂. Gas ini merupakan salah satu tersangka utama efek rumah kaca.



Gambar 7. Efek Rumah Kaca (Sumber:portal.paseban.com)

Dengan semakin memburuknya kualitas udara terutama di kota-kota besar yang menjadi pusat industry akan semakin menambah buruknya kualitas udara yang dapat menyebabkan berbagai penyakit akibat udara yang tidak bersih. Untuk melakukan pencegahan secara konstan dan berkesinambungan maka perlu adanya pemetaan tentang pencemaran udara. Sehingga dengan pemetaan ini akan diperoleh sebuah solusi nyata untuk mengatasi dampak pencemaran kualitas udara.

2. Baku Mutu Udara

Baku mutu udara adalah ambang batas dari konsentrasi polutan yang dianggap tidak berbahaya bagi makhluk hidup. Standar kualitas udara ini disajikan dalam berat persatuan volume persatuan waktu serta telah tertuang pada surat Keputusan Menteri No. KEP-2/MENKLH/I/1988 Tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan yang dikeluarkan pada tanggal 19 Januari 1988 oleh Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan hidup.

Baku mutu udara ini dikelompokkan menjadi 2 bagian, yaitu baku mutu udara ambien dan baku mutu udara emisi. Baku mutu udara ambien adalah batas konsentrasi yang diperbolehkan bagi zat atau bahan pencemar di udara, namun tidak menimbulkan gangguan terhadap makhluk hidup. Sedangkan baku mutu emisi adalah batas kadar yang diperbolehkan bagi zat atau bahan pencemar untuk dikeluarkan dari sumber pencemaran ke udara ambien.

Berkaitan dengan nilai maksimal dari konsentrasi emisi pada udara ambien maka hal tersebut telah diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 41 tahun 1999 seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Baku Mutu Udara Ambien Nasional

No	Parameter	Waktu	Baku Mutu Pengukuran
1.	SO ₂	1 Jam	900 µg/Nm ³
		24 Jam	365 µg/Nm ³
		1 Tahun	60 µg/Nm ³
2.	CO	1 Jam	30.000 µg/Nm ³
		24 Jam	10.000 µg/Nm ³
		1 Tahun	-
3.	NO ₂	1 Jam	400 µg/Nm ³
		24 Jam	150 µg/Nm ³
		1 Tahun	100 µg/Nm ³
4.	O ₃	1 Jam	160 µg/Nm ³
		1 Tahun	
5.	HC	3 Jam	160 µg/Nm ³

Sumber : Lampiran Peraturan Pemerintah Indonesia No. 41, 1999

3. Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah masuknya zat pencemar ke dalam udara atau atmosfer dalam jumlah yang melebihi ambang batas yang masih diperkenankan untuk kesehatan makhluk hidup maupun estetika. Zat pencemar udara adalah partikel-partikel halus yang mengambang dalam udara (aerosol), partikel debu, asap dan gas-gas beracun (toksik), sebagai aktivitas sampingan manusia dan alam (Rahmawati, 2003).

4. Pencemar Udara

Pencemar udara adalah substansi di atmosfer yang pada kondisi tertentu akan membahayakan manusia, hewan, tanaman atau kehidupan mikroba atau bahan bangunan (Oke, 1978). Menurut Slamet Ryadi (1982) berdasarkan asal mula dan kelanjutannya perkembangan zat pencemarnya, pencemar udara dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu:

a. Pencemar Primer

Pencemar primer adalah semua pencemar yang berbeda di udara dalam bentuk yang hampir tidak berubah, seperti saat ia dibebaskan dari sumber sebagai hasil atau proses tertentu. Di dalam udara ambien, sebagian polutan primer akan mempertahankan bentuk senyawa aslinya (Anonim B, 2007). Umumnya berasal dari sumber-sumber yang diakibatkan oleh aktivitas manusia misalnya: kegiatan industri, transportasi, dan lain-lain. Contoh dari pencemar primer antara lain : SO_2 , CO , NO_x , dan CH_4 .

b. Pencemar sekunder

Pencemar sekunder adalah merupakan hasil reaksi antara pencemar primer dengan pencemar lain yang ada di dalam udara. Reaksi yang dimaksud antara lain adalah reaksi fotokimia dan reaksi oksida katalis, termasuk dalam kategori ini adalah O_3 dan Peroksiasetil Nitrat (PAN).

Kemudian zat-zat yang menyebabkan terjadinya pencemaran udara dalam bentuk fisiknya dapat berupa gas maupun partikulat molekul (Anonim C, 2009).

- **Zat Pencemar Gas**

Zat pencemar gas dapat berupa polutan organik seperti halnya gas Sulfur (SO_2 , SO_3 dan H_2S), gas Nitrogen (NO_2 , NO dan NO_x), Halogenida golongan halida (HF , HCl , Cl_2 , F_2 , SiF_4), photo kimia

(ozon dan sejenis oksidannya), Sianida (HCN) dan senyawa Amonium (NH_3).

Gas yang terbentuk dari unsur organik, misalnya hidrokarbon (*methan, ethan, oktane, acetylene, butadiene, toulen, benzpyrene*), senyawa oksigen alifatis (formaldehida, aceton, asam organik, alkohol, cyanogen chloride, *bromibenzyl cyanide, peroxyacyl nitrite/nitriat*) (Witono, 2003).

- **Partikulat Molekul**

Partikulat yaitu padatan atau cairan di udara berbentuk asap, debu dan uap. Komposisi dan ukuran partikulat sangat berperan dalam menentukan pajanan. Ukuran partikulat debu yang membahayakan kesehatan umumnya berkisar 0,1 mikron – 10 mikron. Partikulat juga merupakan sumber utama *haz*. (kabut asap) yang menurunkan visibilitas. PM10 (*Particulate Matter10*) berukuran ≤ 10 mikron dapat mengganggu saluran pernafasan bagian atas dan menyebabkan Iritasi. PM2,5 (*Particulate Matter2,5*) berukuran $\leq 2,5$ mikron akan langsung masuk ke dalam paru-paru dan mengendap di alveoli (Anonim B, 2007).

5. Sumber Pencemar Udara

Banyak jenis komponen kegiatan yang dapat menjadi sumber emisi. Baik itu komponen-komponen kegiatan dalam tahap prakonstruksi, konstruksi, maupun

pasca-operasi (Anonim A, 2007). Menurut PP 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, sumber penyebab terjadinya pencemaran udara (oleh kegiatan manusia), dapat dikelompokkan menjadi:

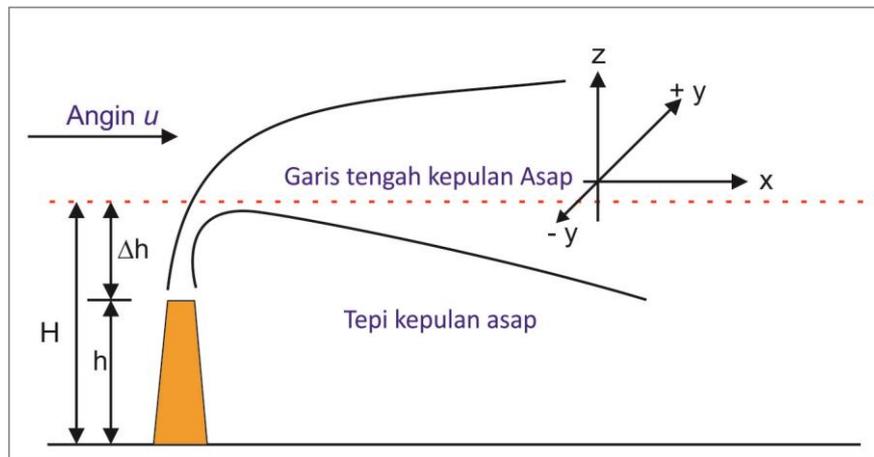
- a. Sumber bergerak (*mobile source*), yaitu yang berasal dari kegiatan transportasi/kendaraan bermotor;
- b. Sumber bergerak spesifik, yaitu yang berasal dari kereta api, pesawat terbang, kapal laut dan kendaraan berat lainnya;
- c. Sumber tidak bergerak (*stationary source*), yaitu yang berasal dari sumber emisi yang tetap pada suatu tempat. Kemudian sumber ini dikelompokkan kembali menjadi beberapa bagian, yaitu sumber titik (*point source*), sumber ruang (*volume source*), sumber area (*area source*), dan sumber garis (*lines source*).
- d. Sumber tidak bergerak spesifik, yaitu yang berasal dari kebakaran hutan/lahan dan pembakaran sampah.

6. Model Perkiraan Dispersi Emisi Gas Buang

- a. Pengertian Dispersi

Jika aliran polutan yang kontinu terlepas dari sumbernya dan tertiuap oleh angin yang tetap (*steady state*) di atmosfer terbuka, pertama-tama polutan tersebut akan naik dari lubang sumber (*cerobong*). Kemudian aliran polutan tersebut akan berbelok ke bawah dan terus bergerak sesuai dengan arah rata-rata angin yang mengencerkan polutan dan membawanya menjauhi sumbernya. Bentuk polutan yang seperti bulu-bulu ini (*plume*) juga

menyebar atau dispersi dalam arah vertikal dan horizontal terhadap garis pusat (*centre line*) *plume*. Gambar skematik *plume* polutan yang keluar dari cerobong dengan tinggi cerobong h , kenaikan *plume* Δh dan tinggi efektif dari cerobong ($H = h + \Delta h$) dapat dilihat pada **gambar 8**.



Gambar 8. Penyebaran Polutan dua dimensi dalam bentuk *Plume*

Bentuk dispersi tersebut secara umum berbentuk tiga dimensi mengikuti hukum difusi, yaitu gerakan fluida dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Akan tetapi, penyebaran polutan dalam bentuk *plume* ini juga diakibatkan oleh faktor-faktor lain sebagai difusi molekul tersebut.

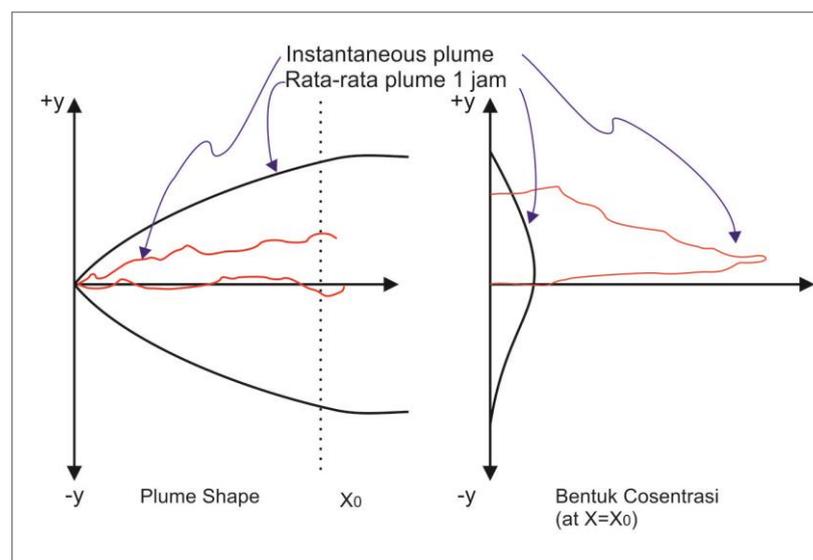
Perlu diketahui bahwa setiap fluida yang mengalir turbulen mengandung pusaran arus (*eddy*) yang merupakan fluktuasi acak daripada rata-rata aliran. Pusaran arus mungkin masuk ke bagian sempit *plume* dan secara cepat mengubah konsentrasi polutan di bagian dalam akibat udara bersih yang dibawa oleh pusaran arus tersebut dari luar lokasi *plume*.

Akibatnya, ukuran *plume* membesar dan konsentrasi polutan dalam *plume* semakin menurun. Pusaran arus ini dapat bekerja pada arah mendatar maupun vertikal.

Pusaran arus dalam atmosfer berasal dari pengaruh termal dan mekanik. Misalnya energi matahari yang diserap oleh permukaan bumi akan diubah menjadi panas. Energi panas pada permukaan ini dipindahkan ke dalam udara lapisan terdekat melalui konduksi dan konveksi, yang selanjutnya menciptakan pusaran termal. Adapun pusaran arus mekanik terjadi akibat guntingan permukaan tanah sebagai akibat adanya aliran udara pada permukaan tanah yang kasar (pohon-pohon atau gedung-gedung). Permukaan kasar akan menghasilkan pusaran arus yang lebih besar daripada permukaan yang rata (padang pasir atau permukaan bersalju).

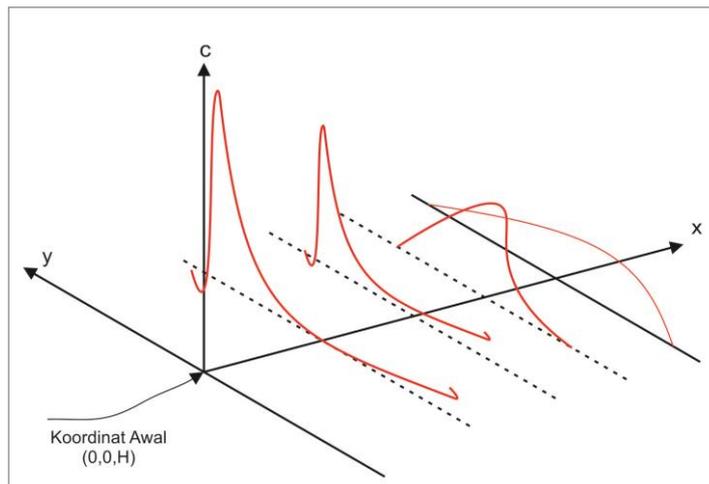
Alasan lain adanya penyebaran plume karena perubahan acak yang terjadi pada angin. Konsentrasi polutan pada titik tertentu diukur dalam periode waktu tertentu yang disebut waktu rata-rata sampling. Akan tetapi, selama pengukuran ini, kondisi angin mungkin berubah arah dan besarnya sehingga mungkin membawa polutan dalam waktu sesaatnya lebih besar atau lebih kecil dari pada dalam waktu yang dicatat secara rata-rata oleh alat pencatat polutan. Lebih lama waktu yang digunakan untuk mendapatkan nilai rata-ratanya, perubahan angin pada waktu sesaat tersebut akan terjadi lebih sering. Fluktuasi acak sedemikian menyebabkan penyebaran plume yang lebih luas ke daerah arah angin.

Akibat dari pusaran arus dan fluktuasi angin maka perhitungan parameter plume harus berdasarkan waktu rata-rata bukan waktu sesaat. Konsentrasi polutan berdasarkan waktu rata-rata pada jarak x , searah angin dari sumbernya didistribusikan pada arah kurang lebih y . Walaupun demikian profil konsentrasi polutan pada waktu sesaat pada arah Y_0 dan jarak X_0 , sangatlah berbeda, seperti terlihat dalam **Gambar 9**.



Gambar 9. Pandangan atas *plume* pada waktu sesaat rata-rata satu jam

Perlu diketahui bahwa pada saat jarak X_0 naik, penyebaran polutan melebar dalam arah y dan konsentrasi maksimum berkurang. Skema dari proses ini dapat dilihat pada **gambar 10**.



Gambar 10. Profil konsentrasi polutan sebagai fungsi jarak arah angin

Penyebaran yang senada dari *plume* terjadi juga pada arah vertikal sehingga menghasilkan distribusi normal lainnya. Dengan demikian, distribusi polutan dinamakan distribusi normal. Salah satu metode dalam pengembangan persamaan untuk membuat model distribusi polutan dengan sifat-sifat ini adalah dengan menganggap kondisi angin *steady state* dan memperhitungkan penyebaran *plume* hanya berdasarkan dasar pusaran arus. Berdasarkan pendekatan ini, persamaan diferensial tingkat dua dapat diturunkan dari anggapan keseimbangan materi. Salah satu penyelesaian persamaan ini dikenal dengan nama persamaan difusi *Fickian*, yaitu persamaan yang memprediksi konsentrasi polutan terdistribusi secara normal. Walaupun demikian, model ini memerlukan penggunaan rata-rata difusivitas pusaran arus dan angin *steady state* yang hanya merupakan salah satu perkiraan nyata setara eksperimen. Pendekatan lain yang diakui keunggulannya dalam aplikasi adalah metode penyebaran normal dengan

proses perhitungan statistik. Model ini sering disebut dengan persamaan Dispersi *Gaussian* (Witono, 2003).

Metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode distribusi gaussian yang berasal dari satu sumber titik. Oleh karena itu, pembahasan hanya dibatasi pada metode distribusi gaussian yang berasal dari satu sumber titik saja.

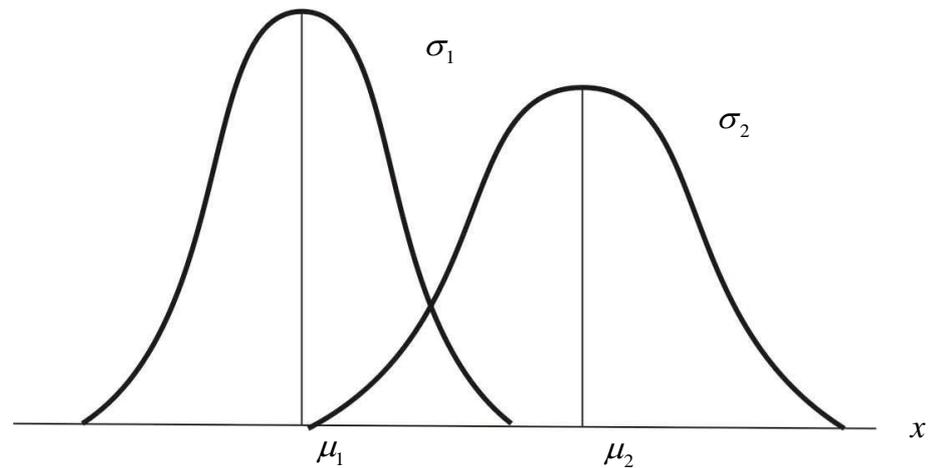
b. Distribusi Gaussian

Sampai saat ini, model Gaussian tetap dianggap paling tepat untuk melukiskan secara matematis pola 3 dimensi dari perjalanan semburan (*plume*) emisi (Anonim A, 2007). Distribusi Gaussian atau normal sering dihasilkan dari proses acak. Peubah acak x dikatakan terdistribusi Gaussian atau normal bila memenuhi persamaan

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

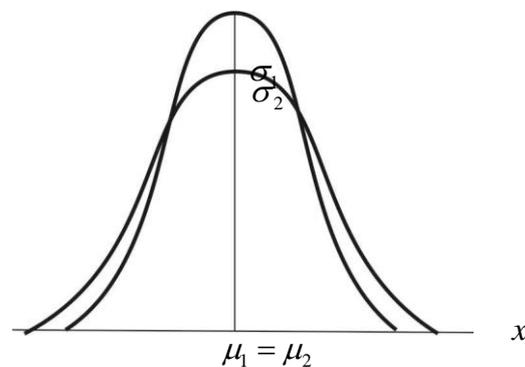
untuk $-\infty < x < \infty$

dengan $-\infty < \mu < \infty$ dan $\sigma^2 > 0$. Parameter μ disebut dengan rata-rata dan σ disebut standar deviasi (Walck, 2007). Pada distribusi normal Model Gaussian bentuk kurva penyebarannya dianggap seperti bel (gambar 11).



Gambar 11. Kurva normal dengan $\mu_1 < \mu_2$ dan $\sigma_1 < \sigma_2$

Tampak pada gambar 11, nilai μ merepresentasikan posisi nilai maksimum dari persamaan $f(x)$ sedangkan parameter σ berfungsi untuk mempertajam bentuk kurva. Apabila nilai $\mu_1 = \mu_2$ maka posisi nilai maksimum kurva tersebut akan berada pada posisi yang sama (gambar 12).



Gambar 12. Kurva normal dengan $\mu_1 = \mu_2$ dan $\sigma_1 < \sigma_2$

Kemudian untuk peubah acak x dan y masing-masing berdistribusi normal dan saling bebas, fungsi kepadatan peluangnya (fkp) merupakan hasil perkalian dari fkp peubah acak x dan y . Hasil perkalian antara kedua persamaan dapat dilihat pada persamaan (2).

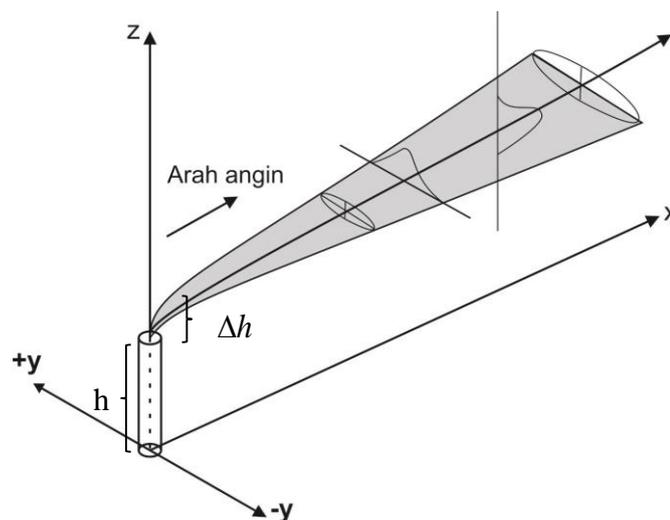
$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(\frac{-(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{-(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (2)$$

untuk $-\infty < x < \infty$ dan $-\infty < y < \infty$

Prosedur dasar yang digunakan dalam perhitungan dispersi (standar deviasi) mengikuti teori probabilitas normal Gaussian telah diperkenalkan aplikasinya oleh Pasquill (1961) yang selanjutnya dimodifikasi oleh Gifford (1961).

c. Estimasi Dispersi di Atmosfer

Dalam sistem koordinasi estimasi dispersi atmosfer untuk koordinat x dianggap sebagai arah horizontal sepanjang arah angin. Koordinat y merupakan bidang horizontal dan tegak lurus terhadap koordinat x sedangkan z sama seperti koordinat y tetapi ke arah vertikal. *Plume* bergerak sepanjang atau sejajar dengan koordinat x . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 13. Estimasi Dispersi di Atmosfer

d. Persamaan Gaussian untuk Sumber Titik

Konsentrasi C dari gas atau aerosol (partikel kurang dari 20 mikron diameternya) pada x , y , z dari sumber kontinyu dengan tinggi emisi efektif H , dirumuskan dalam persamaan 3.

$$C_{(x,y,z,H)} = \frac{Q}{2\mu\sigma_y\sigma_zU_H} \exp\left[\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] \left\{ \exp\left[\left(\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] + \exp\left[\left(\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] \right\} \quad (3)$$

Keterangan:

$C_{(x,y,z,H)}$: 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)

7. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Penyebaran Polutan

Kecepatan penyebaran polutan dipengaruhi oleh beberapa faktor meteorologi. Meteorologi merupakan ilmu yang mengkaji kedinamisan atmosfer. Kecepatan angin, temperatur, dan stabilitas atmosfer adalah faktor meteorologi yang sangat berpengaruh dalam penyebaran polutan (Sianturi, 2004).

a. Kecepatan Angin

Ada 3 hal yang penting dari peran angin terhadap proses dispersi di atmosfer, antara lain:

- 1) emisi disebarkan oleh faktor proporsional terhadap kecepatan angin yang berhembus melewati sumber emisi;
- 2) angin menyebabkan bertambahnya turbulensi mekanis;
- 3) semakin besar kecepatan angin maka penyebab buoyancy akan diperkecil efeknya sehingga ketinggian penyebaran zat polutan pada ketinggian sekitar zat terjaga.

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:

$$U_z = U_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^p \quad (4)$$

Keterangan:

- 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 2.

Tabel 2. 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)

b. Stabilitas Atmosfer

Pancaran sinar matahari yang menuju bumi merupakan fluks energi. Fluks energi ini bervariasi harian (saat fajar, siang hari, sore hari dan malam hari), musiman (musim dingin dan panas), secara geografi (kutub, khatulistiwa), dan pengaruh daerah setempat (berawan, cerah). Semakin tinggi pancaran

mengakibatkan semakin banyak energi yang mencapai permukaan. Selain permukaan yang memiliki daya pantul yang lebih besar (seperti salju atau es), semua energi tersebut akan diserap oleh tanah sehingga memanaskan permukaan bumi. Kemudian energi panas ini akan ditransfer ke udara di sekitar tanah dalam jumlah yang banyak sehingga udara panas cenderung naik dengan cepat. Dalam hal ini, atmosfer dikatakan *unstable*.

Stabilitas atmosfer adalah metode yang digunakan untuk mengklasifikasi kemampuan atmosfer untuk mengencerkan dan mencampur udara. Metode klasifikasi yang digunakan EPA juga melibatkan mekanik angin karena dapat mendominasi efek pencampuran panas.

Tabel 3. Kestabilan Atmosfer (Pasquill-Gifford)

Kecepatan Angin Permukaan ^a	Pancaran Sinar Matahari Siang Hari			Kondisi Awan Malam Hari	
	Kuat ^b	Sedang ^c	Lemah ^d	Banyak ($\geq 4/8$)	Bersih ($\leq 3/8$)
<2	A	A-B	B	E	F
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

Catatan:

- 1) kecepatan angin diukur 10 meter dari tanah;
- 2) kondisi siang hari cerah pada musim panas dengan matahari $>60^{\circ}$ di atas horizon;
- 3) kondisi siang hari musim panas dengan sedikit awan atau siang hari cerah dengan matahari $35^{\circ} - 36^{\circ}$ di atas horizon;

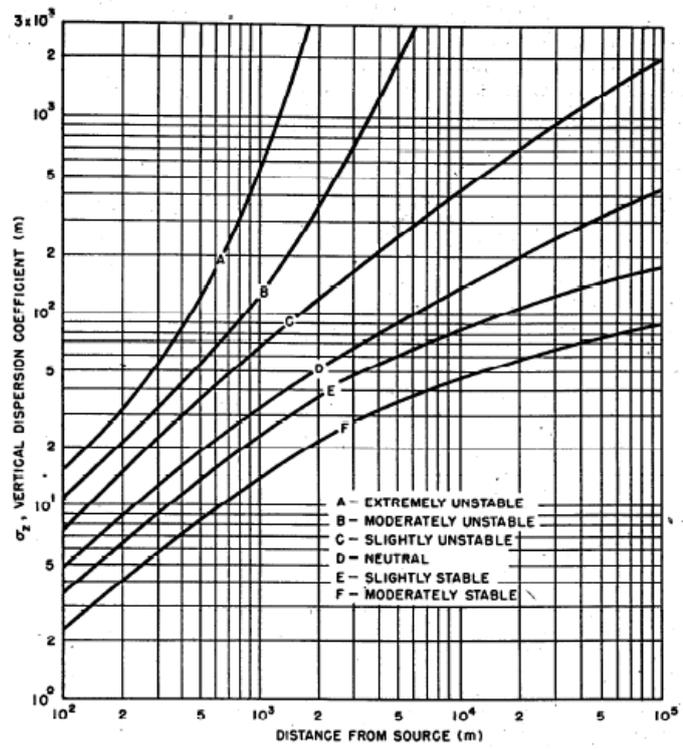
- 4) kondisi sore hari atau siang hari berawan musim panas atau siang hari cerah musim panas dengan matahari antara $150^{\circ} - 350^{\circ}$;
- 5) kondisi awan didefinisikan sebagai fraksi langit tertutup awan;
- 6) untuk kondisi A-B, B-C, atau C-D rata-rata nilai berlaku untuk masing-masing.

A	= sangat tidak stabil	D	= netral
B	= sedang tidak stabil	E	= lemah stabil
C	= lemah tidak stabil	F	= stabil

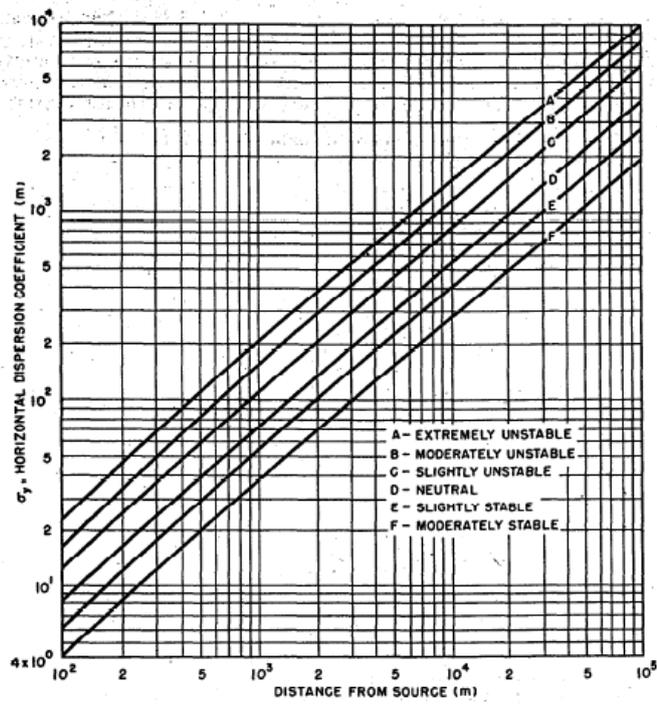
(Faizal, 2004)

c. Koefisien Dispersi

Nilai koefisien dispersi ini didasarkan pada kelas stabilitas atmosfer. Skema untuk menentukan nilai koefisien dispersi telah banyak dikembangkan oleh para ilmuwan. Skema yang telah dikembangkan oleh Turner adalah skema yang paling banyak diterima untuk menentukan koefisien dispersi. Skema ini menggunakan pendekatan dari hasil penelitian Pascuill dan Giford yang kemudian metode ini disebut dengan koefisien Pascuil-Giford-Turner (PGT). Grafik dari koefisien dispersi ini dapat dilihat pada gambar 13 dan 14.



Gambar 14. Grafik koefisien dispersi pada sumbu-z di daerah rural



Gambar 15. Grafik koefisien dispersi pada sumbu-y di daerah rural

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, yaitu:

$$\sigma = \exp(I + J(\ln x) + K(\ln x)^2) \quad (5)$$

σ : koefisien dispersi (m)

x : jarak searah dengan angin (m)

Kemudian untuk nilai konstanta I, J dan K dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Konstanta I, J dan K pada persamaan McCullen

Kelas Stabilitas Pasquill	Untuk menentukan nilai σ_y			Untuk menentukan nilai σ_z		
	<i>I</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>I</i>	<i>J</i>	<i>K</i>
	A	5,357	0,8828	-0,0076	6,035	2,1097
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

Untuk asap yang melewati dari perkotaan (urban), posisi konsentrasi maksimal pada permukaan tanah tidak hanya lebih dekat dengan sumber emisi, melainkan memiliki nilai konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan asap yang melewati daerah rural. Hal ini disebabkan oleh pencampuran turbulensi yang berasal dari bangunan-bangunan tinggi di sekitar cerobong asap.

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

$$\sigma = Ix(1 + Jx)^K \quad (6)$$

Sementara nilai konstanta I, J dan K dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Konstanta I, J dan K pada persamaan McCullen

Kelas Stabilitas Pasquill	Untuk menentukan nilai σ_y			Untuk menentukan nilai σ_z		
	<i>I</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>I</i>	<i>J</i>	<i>K</i>
	A-B	320	0,40	-0,50	240	1,00
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

(Laskarzewska & Mehrvar, 2009)

d. Plume Rise

Plume rise berkaitan dengan tinggi efektif (H) suatu cerobong. Tinggi efektif merupakan jumlah dari tinggi cerobong ditambah dengan plume rise atau kenaikan kepulan asap atau secara matematis ditulis sebagai:

$$H = h + \Delta h \quad (7)$$

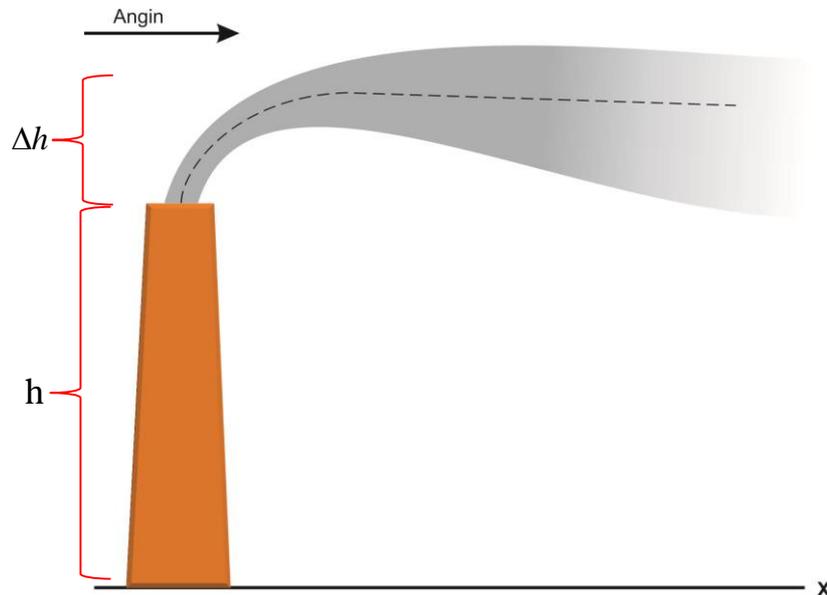
dengan

H : tinggi efektif (m)

h : tinggi fisik cerobong (m)

Δh : plume rise (m)

Bergerakannya polutan secara vertikal disebabkan oleh tingginya kecepatan awal polutan saat keluar cerobong dan kemampuan bergerak naik (*buoyancy*) akibat tingginya suhu polutan. Sketsa dari plume rise dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Plume Rise

Untuk menentukan nilai plume rise berbagai persamaan dan model matematika telah diajukan. Dua di antara persamaan tersebut diajukan oleh Holland dan Briggs.

Secara matematis persamaan Holland sebagai:

$$\Delta h = \frac{v_{pc} d}{u} \left(1,5 + 2,68 \times 10^{-3} P \frac{T_{pc} - T_u}{T_u} d \right) \quad (8)$$

dengan

Δh : plume rise (m)

v_{pc} : kecepatan polutan keluar dari cerobong (m/s)

d	: diameter cerobong asap	(m)
T_{pc}	: suhu polutan	(K)
T_u	: suhu lingkungan	(K)
P	: tekanan atmosfer	(milibar atau mbar)
u	: kecepatan angin	(m/s)
$2,68 \times 10^{-3}$: konstanta	($m^{-1} \cdot mbar^{-1}$)

(Cota, 1984).

Persamaan Holland ini masih memiliki kelemahan yaitu tidak memperhatikan sisi kestabilan atmosfer. Oleh karena itu Briggs kemudian mempublikasikan persamaan untuk menentukan *plume rise* dengan melibatkan parameter stabilitas dan parameter *buoyancy*.

1) Parameter Stabilitas

Parameter stabilitas dilambangkan dengan s ($1/sec^2$) yang berfungsi mengklasifikasikan pengaruh pergolakan udara di atmosfer pada plume rise. Parameter stabilitas dirumuskan dengan:

$$s = \left(\frac{g}{T_u} \right) \frac{d\theta}{dz} \quad (9)$$

dengan

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

T_u : suhu lingkungan (K)

$\frac{d\theta}{dz}$: gradien kekuatan suhu (potensial temperatur gradient)

Gradien kekuatan suhu merupakan selisih antara suhu udara sekitar (*ambient temperature gradient*) dengan laju perubahan adiabatik (*adiabatic lapse rate*) yang ideal. Nilai dari gradien kekuatan suhu dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. *Potential Temperature Gradient*

Kelas Stabilitas Pasquill	Gradien suhu udara sekitar (rata- rata)	Laju Perubahan adiabatik	Gradien Kekuatan Suhu	
	$\frac{dT}{dz}$	Γ	$\frac{d\theta}{dz} = \frac{dT}{dz} - \Gamma$	
	(°F / 1000 kaki)	(°F / 1000 kaki)	(°F / 1000 kaki)	(K/m)
A	<-10,4	-5,5	<-4,9	<-0,009
B	-9,9	-5,5	-4,4	-0,008
C	-8,8	-5,5	-3,3	-0,006
D	-5,5	-5,5	0	0
E	2,8	-5,5	8,3	0,015
F	>8,2	-5,5	>13,7	>0,025

2) Parameter Fluks *Buoyancy*

Parameter fluks buoyancy digunakan untuk mengklasifikasikan laju aliran *buoyancy* pada polutan yang keluar dari cerobong asap. Secara matematis persamaan fluks *buoyancy* ditulis dengan:

$$F = g v_{pc} r^2 \left(\frac{T_{pc} - T_u}{T_{pc}} \right) \quad (10)$$

dengan

F : Fluks *buoyancy* (m⁴/s³)

g : percepatan gravitasi (m/s²)

v_{pc} : kecepatan polutan keluar dari cerobong asap (m/s)

r : diameter cerobong asap (m)

T_{pc} : suhu polutan (K)

T_u : suhu udara sekitar cerobong (K)

8. MATLAB

MATLAB merupakan *software* yang andal untuk menyelesaikan berbagai permasalahan komputasi numerik yang diproduksi oleh The Mathwork, Inc. Solusi dari permasalahan yang berhubungan dengan vektor dan matriks dapat diselesaikan dengan mudah dan sederhana menggunakan software ini. Bahkan, software ini dapat memecahkan inversi matriks dan persamaan linear dengan cepat dan mudah sekali.

Ada beberapa *toolbox* yang disediakan MATLAB untuk menyelesaikan kasus yang lebih khusus, antara lain:

- *Image processing* menyediakan berbagai fungsi yang berhubungan pengolahan citra;
- *Signal Processing* menyediakan berbagai fungsi yang berhubungan dengan pengolahan sinyal;
- *Neural Network* menyediakan berbagai fungsi yang berhubungan dengan jaringan saraf tiruan (Irawan, 2012).

Agar *Matlab 7.12* dapat berjalan dengan baik, kriteria minimal *hardware* yang harus dimiliki oleh komputer, antara lain:

- *Processor minimal Intel Pentium IV (mendukung SSE2) atau AMD yang sudah mendukung SSE2;*
- *RAM minimal 1024 MB (1 GB);*
- *Ruang kosong pada hardisk minimal 1 GB;*
- *Sistem operasi dimulai Windows XP Service Pack 3 hingga versi terbaru yaitu windows 8 (The MathWorks, 2011).*

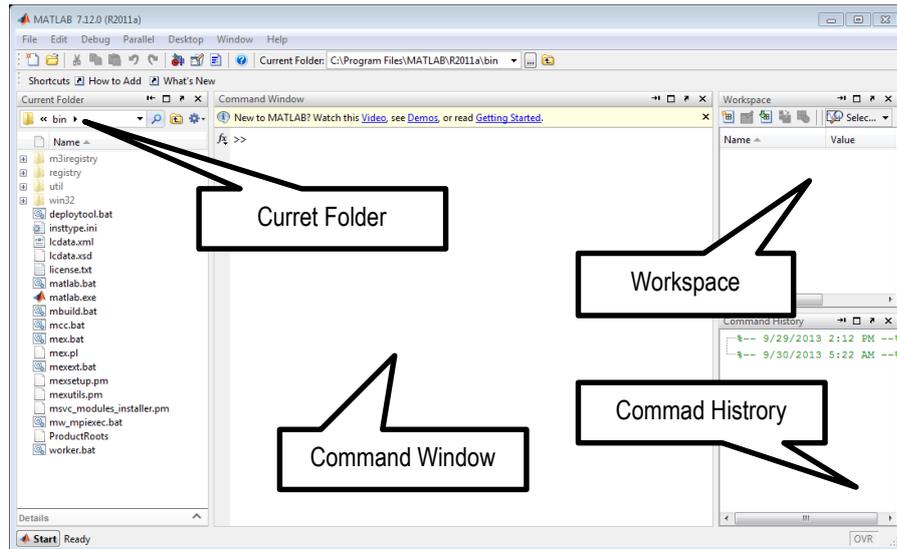
a. Memulai MATLAB

Menjalankan Matlab dapat dilakukan dengan prosedur sebagai berikut.

- 1) Start, program, MATLAB, R2011a
- 2) Menggunakan icon MATLAB 7.12.

b. Lingkungan Kerja MATLAB

Matlab menyediakan lingkungan kerja terpadu layaknya bahasa pemrograman lainnya. Lingkungan terpadu ini senantiasa dilengkapi seiring dengan pembaruan versinya. Lingkungan terpadu ini terdiri beberapa *form/window* yang memiliki fungsi masing-masing. Gambar 17 adalah tampilan *form* utama dari Matlab 7.12.



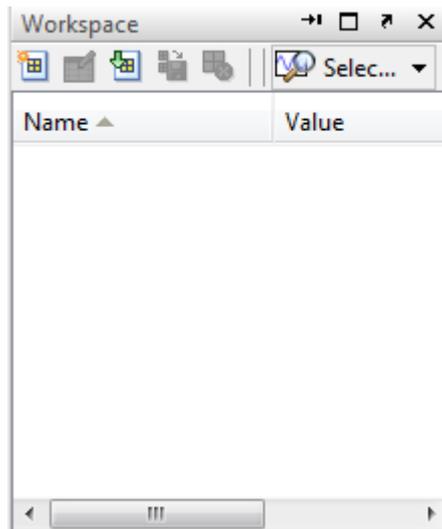
Gambar 17. Tampilan *window* utama MATLAB 7.12

Window Utama MATLAB

Window ini merupakan *window* induk yang melingkupi seluruh lingkungan kerja MATLAB. Pada versi-versi sebelumnya, *window* ini secara khusus belum ada namun terintegrasi dengan *command window*. Tidak ada fungsi utama yang ditawarkan oleh *window* ini selain sebagai tempat *dock-ing* bagi form yang lain.

Workspace window

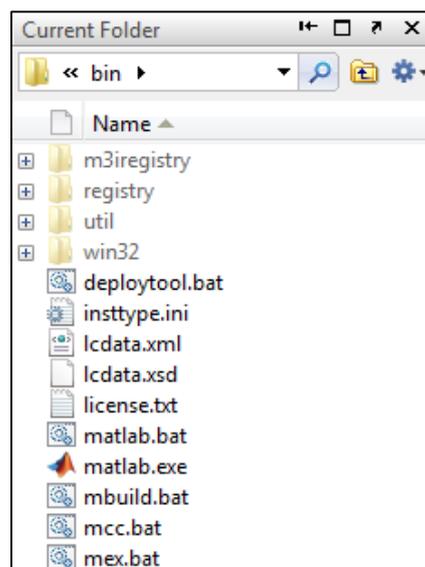
Workspace adalah suatu lingkungan abstrak yang menyimpan seluruh variabel dan perintah yang pernah digunakan selama penggunaan MATLAB berlangsung. *Window* ini juga baru diperkenalkan pada versi 6, berfungsi sebagai navigator bagi pemakai dalam penyediaan informasi mengenai variabel yang sedang aktif dalam *workspace* pada saat pemakaian. Tampilan *worskpace* dapat dilihat pada **gambar 18**.



Gambar 18. Tampilan *Workspace*

Current Folder Window

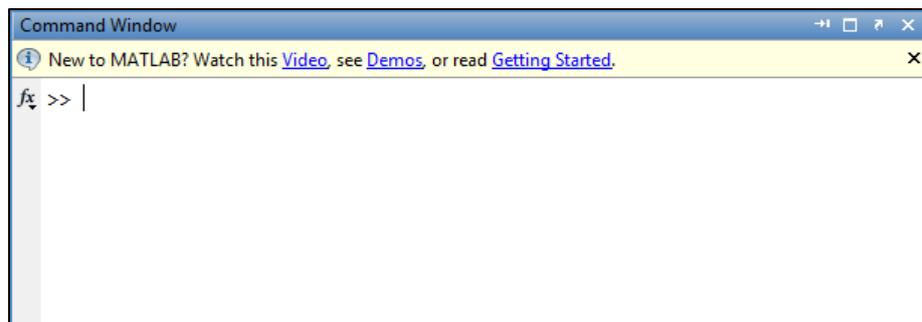
Window ini juga fasilitas yang diperkenalkan pada versi 6. *Window* ini berfungsi sebagai *browser* direktori aktif yang hampir sama dengan *window explorer*. Tampilan *Current Folder Window* dapat dilihat pada **gambar 19**.



Gambar 19. Tampilan *Current Folder Window*

Command *History*

Window ini berfungsi sebagai penyimpan perintah-perintah yang pernah dikerjakan pada suatu workspace. Window ini mulai diperkenalkan pada MATLAB 6. Untuk tampilan Command History dapat dilihat pada gambar 20.



Gambar 20. Tampilan *Command Window*

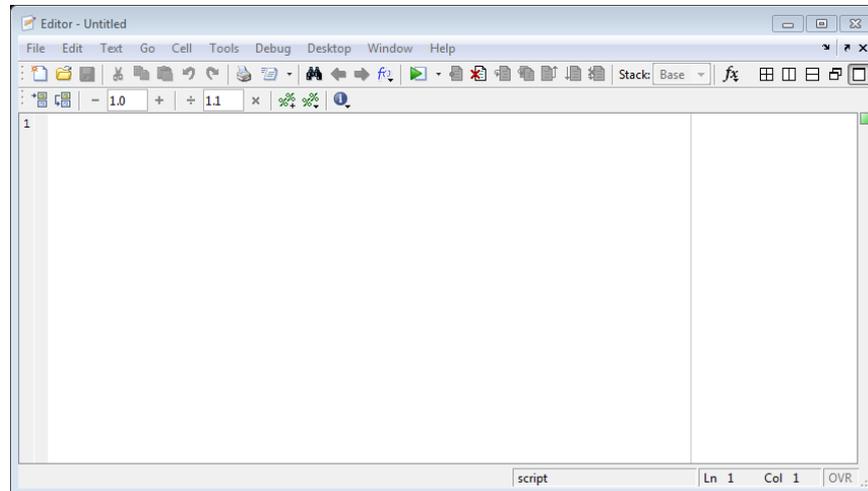
MATLAB *Editor*

Window ini berfungsi untuk membuat skrip program MATLAB. Walaupun skrip program dapat dibuat dengan menggunakan berbagai program editor seperti *notepad*, *wordpad*, *word* dan lain-lain. Namun sangat dianjurkan untuk menggunakan MATLAB editor ini karena kemampuannya dalam mendeteksi kesalahan pengetikan sintak oleh *programmer*.

Saat window utama MATLAB muncul, window MATLAB editor tidak akan muncul dengan sendirinya. Untuk menampilkan MATLAB editor dilakukan dengan cara mengetikkan “*edit*” (tanpa tanda petik) pada

prompt MATLAB atau dengan cara mengklik pada *icon Creat New*.

Tampilan MATLAB editor dapat dilihat pada **gambar 21**.

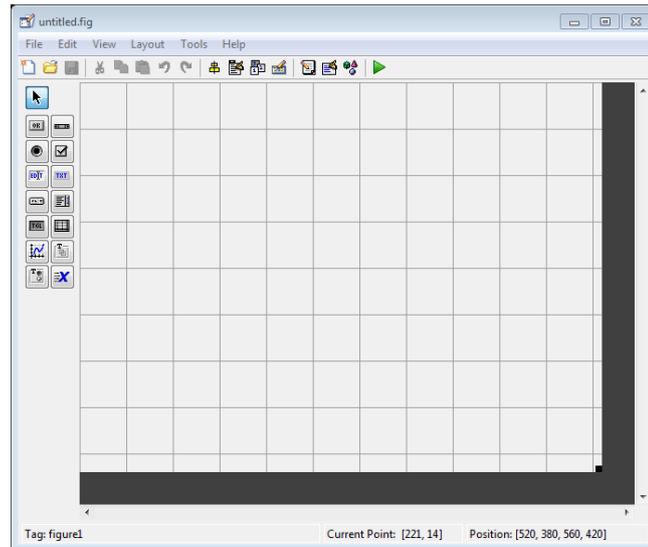


Gambar 21. Tampilan MATLAB *editor*

Graphical User Interface (GUI)

Interaksi antara user dengan perintah teks semakin dipermudah dengan adanya GUI. GUI merupakan tampilan grafis yang membuat program menjadi lebih *user friendly* (Paulus & Nataliani, 2007).

Untuk membuka lembar kerja GUI dalam MATLAB dapat digunakan cara mengklik File, New, GUI atau menyetikkan *guide* pada *command window*. Tampilan GUI dapat dilihat pada **gambar 22**.



Gambar 22. Tampilan GUI pada MATLAB

c. Bekerja dengan MATLAB

Membuat sebuah program pada MATLAB dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu langsung mengetikkan di *command window* atau menggunakan File M.

1) Langsung di Command Window

Cara ini yang sering digunakan oleh pemula, namun akan sulit bagi seorang user untuk mengevaluasi perintah secara keseluruhan karena biasanya perintah hanya dilakukan baris per baris.

2) Menggunakan File M

Cara ini biasanya digunakan oleh programmer yang lebih mahir. Kelebihan cara ini terletak pada kemudahan untuk mengevaluasi perintah secara keseluruhan. Terutama untuk program yang

membutuhkan waktu pengerjaan yang cukup lama serta skrip yang cukup panjang.

d. Operator Aritmatika MATLAB

Operasi matematika dalam MATLAB sangat sederhana, sama halnya dengan menggunakan kalkulator biasa. Operator-operator aritmatika yang digunakan dalam MATLAB dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7 Operator-Operator Aritmatika dalam MATLAB

Operasi	Format Aljabar	MATLAB	Contoh
Penjumlahan	$a + b$	a+b	5+7
Pengurangan	$a - b$	a-b	8-4
Perkalian	$a \times b$	a*b	8.12*6.15
Permbagian kanan	$a \div b$	a/b	3.14/4.6
Pembagian Kiri	$b \div a$	a\b	3\6
Pemangkatan	a^b	a^b	4^3