



**SKRIPSI – TK141581**

**SIMULASI PERSEBARAN KONSENTRASI  
KEBOCORAN GAS DENGAN SOFTWARE NI  
LABVIEW**

**Oleh:**

**Rasdiana Rahma Nur**

**NRP. 2311100079**

**Firda Dwi Hartanti**

**NRP. 2311100118**

**Dosen Pembimbing:**

**Juwari Purwo Sutikno, S.T., M.Eng., Ph.D.**

**NIP. 1973 06 151999 03 1003**

**Prof. Ir. Renanto Handogo, M.S., Ph.D.**

**NIP. 1953 07 191978 03 1001**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2015**



**THESIS – TK141581**

**SIMULATION OF ATMOSPHERIC DISPERSION OF  
GAS LEAKAGE CONCENTRATION USING NI  
LABVIEW SOFTWARE**

**By:**

**Rasdiana Rahma Nur**

**NRP. 2311100079**

**Firda Dwi Hartanti**

**NRP. 2311100118**

**Advisors:**

**Juwari Purwo Sutikno, S.T., M.Eng., Ph.D.**

**NIP. 1973 06 151999 03 1003**

**Prof. Ir. Renanto Handogo, M.S., Ph.D.**

**NIP. 1953 07 191978 03 1001**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2015**

# LEMBAR PENGESAHAN

## “SIMULASI PERSEBARAN KONSENTRASI KEBOCORAN GAS DENGAN SOFTWARE NI LABVIEW”

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oleh:

<b>Rasdiana Rahma Nur</b>	<b>2311 100 079</b>
<b>Firda Dwi Hartanti</b>	<b>2311 100 118</b>

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Juwari P.S., S.T., M.Eng., Ph.D ..... (Pembimbing I)
2. Prof. Ir. Renanto H., M.S., Ph.D ..... (Pembimbing II)
3. Ir. Minta Yuwana, M.S. .... (Penguji I)
4. Dr. Ir. Kuswandi, DEA ..... (Penguji II)



## LEMBAR PERSETUJUAN

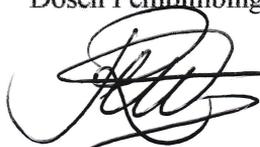
Laporan Skripsi dengan Judul:

**“SIMULASI PERSEBARAN KONSENTRASI  
KEBOCORAN GAS DENGAN SOFTWARE NI LABVIEW”**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



**Juwari P. S., S.T., M.Eng., Ph.D.** **Prof. Ir. Renanto H., M.S., Ph.D.**  
**NIP. 1973 06 151999 03 1003** **NIP. 1953 07 191978 03 1001**

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses  
Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS



**Prof. Ir. Renanto Handogo, MS., Ph.D.**  
**NIP. 1953 07 19 1978 03 1001**

Penyusun:



**Rasdiana Rahma Nur**  
**NRP. 2311 100 079**



**Firda Dwi Hartanti**  
**NRP. 2311 100 118**

# **SIMULASI PERSEBARAN KONSENTRASI KEBOCORAN GAS DENGAN SOFTWARE NI LABVIEW**

Nama Mahasiswa : 1. Rasdiana Rahma Nur (2311 100 079)  
2. Firda Dwi Hartanti (2311 100 118)  
Jurusan : Teknik Kimia, FTI – ITS  
Dosen Pembimbing : 1. Juwari Purwo S., S.T., M.Eng., Ph.D.  
2. Prof. Ir. Renanto Handogo, M.S., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Selalu ada risiko kegagalan (*risk of failures*) pada setiap aktivitas pekerjaan yang mengakibatkan efek kerugian (*loss*). Salah satu contoh kecelakaan kerja di industri kimia adalah kebocoran gas. Kebocoran alat-alat industri kimia yang mengandung gas beracun dapat membahayakan manusia dan menjadi pencemar lingkungan di sekitar kebocoran. Oleh karenanya, untuk mengantisipasi jatuhnya korban pada kecelakaan kerja berupa terjadinya kebocoran gas, dilakukan simulasi persebaran konsentrasi gas yang keluar dari alat-alat yang bocor menggunakan *software* NI LABVIEW agar diketahui hingga radius berapa dari pusat kebocoran yang merupakan zona tidak aman. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa *plume model* dan *puff model* memiliki persebaran gas yang berbeda. Pada persebaran tanpa *building downwash effect*, konsentrasi *plume model* maksimum pada jarak yang lebih dekat dibandingkan dengan *puff model*. Pada *plume model*, semakin besar kecepatan angin, jarak searah *downwind* yang dibutuhkan untuk mencapai batas aman akan semakin panjang. Sedangkan

pada *puff model*, semakin besar kecepatan angin, jarak searah *downwind* yang dibutuhkan untuk mencapai batas aman akan semakin pendek.

**Kata Kunci:** *Safety*, Kebocoran gas, Persebaran konsentrasi, Zona aman, NILABVIEW

# **SIMULATION OF ATMOSPHERIC DISPERSION OF GAS LEAKAGE CONCENTRATION USING NI LABVIEW SOFTWARE**

Students Name : 1. Rasdiana Rahma Nur (2311 100 079)  
2. Firda Dwi Hartanti (2311 100 118)  
Department : Chemical Engineering, FTI – ITS  
Advisors : 1. Juwari Purwo S., S.T., M.Eng., Ph.D.  
2. Prof. Ir. Renanto Handogo, M.S., Ph.D.

## **ABSTRACT**

There is always a risk of failure in any work activity that will result in the effect of losses. An example of work accidents in the chemical industry is a gas leakage. Leak devices containing toxic gases can be harmful to humans and the environment in the vicinity of the leak pollutants. Therefore, in anticipation of casualties on occupational accidents in the form of a gas leakage, in this final project we have simulated the concentration distribution of the gas that comes out from the equipments that leak using NI LABVIEW software in order to know how far the radius of leakage from the leakage point which is not safe zone. From this research showed that the plume model and puff model have different gas distribution. On the distribution without building downwash effects, the maximum concentration using plume model is at closer distance than the puff model. At plume models, the greater the wind speed, the distance of downwind direction required to reach the safe limit will become longer. While the puff models, the greater the wind speed, the distance of

downwind direction required to reach the safe limit will be shorter.

**Key Words:** Safety, Gas leakage, Concentration dispersion, Safe Zone, NILABVIEW.

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir proposal skripsi dengan judul “Simulasi Persebaran Konsentrasi Kebocoran Gas Dengan Software NI LABVIEW”.

Keberhasilan dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini juga diperoleh berkat adanya dukungan yang besar dari berbagai pihak. Oleh karenanya pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang terkait dalam penulisan tugas akhir ini:

1. Orang tua dan keluarga kami yang senantiasa memberikan dukungan moral, material, serta doa yang tiada hentinya.
2. Bapak Prof. Ir. Renanto Handogo, M.S., Ph.D., selaku Kepala Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses.
3. Bapak Juwari Purwo Sutikno, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak Prof. Ir. Renanto Handogo, M.S., Ph.D., selaku dosen pembimbing 2 atas segala arahan dan bimbingan yang telah diberikan.
4. Bapak Ir. Minta Yuwana, M.S., dan Bapak Dr. Ir. Kuswandi, DEA selaku dosen penguji yang memberikan berbagai masukan dalam penyempurnaan tugas akhir ini.
5. Teman-teman *Perdalpro Crew* 2014-2015, Fritz, Mar'a, Cakra, Novan, Mas Gugum, Mbak Nia, Hanna, Anggun, Indra, Marsha, Ilham, Hasan, Bondan, Syauqi, Deva, Arisyi, Mas Misfa, Mas Sony, Mas Adit, Mbak Arinne, Mbak Vibi, Mas Daril, Mas David, Mbak Dyan, Mas Xavier, Bu Shinta,

Pak Agus, Mbak Amalia, Mbak Icha, Alif, dan Firqi yang selalu memberikan dukungan dan masukan.

6. Berbagai pihak lainnya yang tidak bisa kami sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan, sehingga kritik yang membangun, saran, serta jenis masukan lainnya akan diterima dengan senang hati. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri maupun semua pihak yang membutuhkannya.

Surabaya, 15 Juni 2015

**Penulis**

# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>I-1</b>
I.1. Latar Belakang.....	I-1
I.2. Rumusan Masalah.....	I-5
I.3. Tujuan.....	I-5
I.4. Manfaat.....	I-5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>II-1</b>
II.1. <i>Layers of Protection Analysis (LOPA)</i> .....	II-1
II.2. Gas - Gas Beracun ( <i>Toxic Gases</i> ).....	II-3
II.3. Dispersi Gas.....	II-5
II.4. Pemodelan Dispersi ( <i>Dispersion Models</i> ) .....	II-7
II.4.1. <i>Pasquill Dispersion Model</i> .....	II-7
II.4.2. <i>Pasquill-Gifford Dispersion Model</i> ..	II-13
II.4.3. <i>Building Downwash Effect</i> .....	II-18
II.5. Aplikasi Pemrograman NI LabVIEW .....	II-21
II.6. Penelitian Terdahulu yang Terkait.....	II-25
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>III-1</b>
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>IV-1</b>
IV.1. <i>Data Input</i> .....	IV-1

IV.2. Validasi Program .....	IV-1
IV.3. Simulasi <i>Steady State</i> .....	IV-8
IV.3.1. <i>Plume Model Tanpa Building</i>	
<i>Downwash Effect</i> .....	IV-9
IV.3.2. <i>Plume Model dengan Building</i>	
<i>Downwash Effect</i> .....	IV-13
IV.3.3. <i>Puff Model Tanpa Building</i>	
<i>Downwash Effect</i> .....	IV-17
IV.3.4. <i>Puff Model dengan Building</i>	
<i>Downwash Effect</i> .....	IV-21
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>V-1</b>
V.1. Kesimpulan .....	V-1
V.2. Saran .....	V-1
DAFTAR PUSTAKA .....	xix
DAFTAR NOTASI .....	xxiii
APPENDIKS A PERMODELAN MATEMATIS	
MODEL <i>PLUME</i> DAN <i>PUFF</i> .....	A-1
APPENDIKS BBLOK DIAGRAM PROGRAM	
LABVIEW 2013 DAN LABVIEW	
MATHSCRIPT .....	B-1
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1.	Penggolongan Stabilitas Atmosfer untuk <i>Pasquill-Gifford Dispersion Model</i> .....	II-14
Tabel II.2.	Persamaan untuk Koefisien <i>Pasquill-Gifford</i> untuk Persebaran <i>Plume</i> .....	II-15
Tabel II.3.	Persamaan untuk Koefisien <i>Pasquill-Gifford</i> untuk Persebaran <i>Puff</i> .....	II-16
Tabel IV.1	Data Perbandingan Hasil Simulasi Pada NI LabVIEW dengan <i>CALPUFF</i> Untuk <i>Plume Model</i> .....	IV-2
Tabel IV.2.	Data Perbandingan Hasil Simulasi Pada NI LabVIEW dengan <i>CALPUFF</i> Untuk <i>Puff Model</i> .....	IV-4

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1.	Kebocoran Gas di Industri Kimia .....	I-3
Gambar I.2.	Kebocoran Gas di Bhopal, India, tahun 1984 .....	I-4
Gambar II.1.	<i>Layers of Protection Analysis</i> .....	II-2
Gambar II.2.	Pengaruh B3 dalam industri.....	II-3
Gambar II.3	Karakteristik <i>plume</i> dari penyebaran material secara kontinyu .....	II-6
Gambar II.4.	Karakteristik <i>puff</i> dari penyebaran material secara spontan.....	II-7
Gambar II.5.	Titik sumber penyebaran kontinyu untuk kondisi <i>steady-state</i> .....	II-10
Gambar II.6.	Profil persebaran gas ketika terhalangi oleh bangunan.....	II-18
Gambar II.7.	Profil Persebaran gas ketika terhalang oleh bangunan: (a) tampak dari depan, (b) tampak dari atas .....	II-19
Gambar II.8.	Contoh Tampilan <i>Front Panel</i> dengan Berbagai Kontrol & Indikator.....	II-22
Gambar II.9.	Contoh Tampilan <i>Panel</i> Blok Diagram .....	II-22
Gambar II.10.	<i>Pallette</i> kontrol <i>labView</i> .....	II-23
Gambar II.11.	Contoh Visualisasi Data Plot 2D .....	II-24
Gambar II.12.	Contoh Visualisasi Data Plot 3D .....	II-24
Gambar III.1.	Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	III-1
Gambar III.2.	Algoritma untuk <i>Plume Dispersion Model</i> ....	III-3
Gambar III.3.	Algoritma untuk <i>Puff Dispersion Model</i> .....	III-5
Gambar IV.1.	Grafik perbandingan hasil simulasi pada NI LabVIEW dengan <i>CALPUFF</i> untuk <i>plume model</i> .....	IV-4

Gambar IV.2.	Grafik perbandingan hasil simulasi pada NI LabVIEW dengan <i>CALPUFF</i> untuk <i>puff model</i> .....	IV-6
Gambar IV.3.	Grafik Hasil Simulasi pada Program <i>CALPUFF</i> dengan Variabel Kecepatan Angin .....	IV-7
Gambar IV.4	Grafik Hasil Simulasi pada Program <i>Screen3</i> dengan Variabel Kecepatan Angin .....	IV-8
Gambar IV.5.	Contoh <i>input data</i> untuk <i>plume model</i> tanpa <i>building downwash effect</i> pada kecepatan udara 4 m/s.....	IV-9
Gambar IV.6.	Grafik konsentrasi <i>plume</i> terhadap jarak pada <i>downwind direction</i> (sumbu <i>x</i> ) tanpa <i>building downwash effect</i> .....	IV-10
Gambar IV.7.	Grafik konsentrasi <i>plume</i> terhadap jarak pada <i>crosswind direction</i> (sumbu <i>y</i> ) tanpa <i>building downwash effect</i> .....	IV-12
Gambar IV.8.	Grafik konsentrasi <i>plume</i> terhadap jarak pada <i>vertical direction</i> (sumbu <i>z</i> ) tanpa <i>building downwash effect</i> .....	IV-13
Gambar IV.9.	Contoh <i>input data</i> untuk <i>plume model</i> dengan <i>building downwash effect</i> pada kecepatan udara 4 m/s.....	IV-14
Gambar IV.10.	Grafik konsentrasi <i>plume</i> terhadap jarak pada <i>downwind direction</i> (sumbu <i>x</i> ) dengan <i>building downwash effect</i> .....	IV-14
Gambar IV.11.	Grafik konsentrasi <i>plume</i> terhadap jarak pada <i>crosswind direction</i> (sumbu <i>y</i> ) dengan <i>building downwash effect</i> .....	IV-16

Gambar IV.12. Grafik konsentrasi <i>plume</i> terhadap jarak pada <i>vertical direction</i> (sumbu <i>z</i> ) dengan <i>building downwash effect</i> .....	IV-17
Gambar IV.13. Contoh <i>input data</i> untuk <i>puff model</i> tanpa <i>building downwash effect</i> pada kecepatan angin 4 m/s.....	IV-18
Gambar IV.14. Grafik konsentrasi <i>puff</i> terhadap jarak pada <i>downwind direction</i> (sumbu <i>x</i> ) tanpa <i>building downwsh effect</i> .....	IV-18
Gambar IV.15. Grafik konsentrasi <i>puff</i> terhadap jarak pada <i>crosswind direction</i> (sumbu <i>y</i> ) tanpa <i>building downwash effect</i> .....	IV-19
Gambar IV.16. Grafik konsentrasi <i>puff</i> terhadap jarak pada <i>vertical direction</i> (sumbu <i>z</i> ) tanpa <i>building downwash effect</i> .....	IV-20
Gambar IV.17. Contoh <i>input data</i> untuk <i>puff model</i> dengan <i>building downwash effect</i> pada kecepatan angin 4 m/s.....	IV-21
Gambar IV.18. Grafik konsentrasi <i>puff</i> terhadap jarak pada <i>downwind direction</i> (sumbu <i>x</i> ) dengan <i>building downwsh effect</i> .....	IV-22
Gambar IV.19. Grafik konsentrasi <i>puff</i> terhadap jarak pada <i>crosswind direction</i> (sumbu <i>y</i> ) dengan <i>building downwash effect</i> .....	IV-23
Gambar IV.20. Grafik konsentrasi <i>puff</i> terhadap jarak pada <i>vertical direction</i> (sumbu <i>z</i> ) dengan <i>building downwash effect</i> .....	IV-24

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## DAFTAR NOTASI

- $C$  : Konsentrasi gas ( $\text{g/m}^3$ )
- $C_F$  : Konsentrasi gas di daerah *far-wake* ( $\text{g/m}^3$ )
- $C_N$  : Konsentrasi gas di daerah *near-wake* ( $\text{g/m}^3$ )
- $C_x$  : Konsentrasi gas yang tersebar pada jarak  $x$  *downwind* ( $\text{g/m}^3$ )
- $C_y$  : Konsentrasi gas yang tersebar pada jarak  $y$  *crosswind* ( $\text{g/m}^3$ )
- $C_z$  : Konsentrasi gas yang tersebar pada jarak  $z$  vertikal ( $\text{g/m}^3$ )
- $H_B$  : Dimensi tinggi bangunan (m)
- $H_C$  : Tinggi daerah *near-wake* (m)
- $H_r$  : Ketinggian sumber persebaran dari permukaan tanah (m)
- $j$  : Arah angin
- $K$  : Konstanta *Eddy diffusivity* ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
- $L$  : Dimensi panjang bangunan (m)
- $L_R$  : Panjang daerah *near-wake* (m)
- $Q_m$  : *Flowrate* gas *plume model* yang keluar dari sumber ( $\text{g/s}$ )
- $Q_m^*$  : *Flowrate* gas *puff model* yang keluar dari sumber ( $\text{g/puff/s}$ )
- $R$  : *Length scale* untuk aliran dan difusi di sekitas bangunan
- $t$  : Waktu (detik)
- $u$  : Kecepatan udara ( $\text{m/s}$ )
- $W$  : Dimensi lebar bangunan (m)
- $W_C$  : Lebar daerah *near-wake* (m)
- $x$  : Jarak yang searah dengan arah angin (m)
- $y$  : Jarak yang arahnya tegak lurus secara horizontal dengan arah angin (m)

- $z$  : Jarak yang arahnya tegak lurus secara vertical dengan arah angin (m)
- $\sigma_x$  : Koefisien dispersi untuk jarak  $x$  (m)
- $\sigma_y$  : Koefisien dispersi untuk jarak  $y$  (m)
- $\sigma_{yc}$  : Koefisien dispersi pada jarak *crosswind* di daerah *near-wake* (m)
- $\sigma_z$  : Koefisien dispersi untuk jarak  $z$  (m)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Selalu ada resiko kegagalan (*risk of failures*) pada setiap aktifitas pekerjaan. Dan saat kecelakaan kerja (*work accident*) terjadi, seberapa pun kecilnya, akan mengakibatkan efek kerugian (*loss*). Oleh karenanya, potensi kecelakaan kerja harus dicegah atau setidaknya dikurangi dampaknya. Penanganan masalah keselamatan kerja di dalam sebuah perusahaan harus dilakukan secara serius oleh seluruh komponen pelaku usaha, tidak bisa secara parsial dan diperlakukan sebagai bahasan-bahasan marginal dalam perusahaan. Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan instrumen yang memproteksi pekerja, perusahaan, lingkungan hidup, dan masyarakat sekitar dari bahaya akibat kecelakaan kerja. Perlindungan tersebut merupakan hak asasi yang wajib dipenuhi oleh perusahaan (Eko, 2012).

Keselamatan kerja merupakan faktor yang sangat diperhatikan dalam dunia industri modern terutama bagi mereka yang berstandar internasional. Kondisi kerja dapat dikontrol untuk mengurangi bahkan menghilangkan peluang terjadinya kecelakaan di tempat kerja. Kecelakaan dan kondisi kerja yang tidak aman berakibat pada luka-luka, penyakit, cacat, bahkan kematian pada pekerja, serta hilangnya efisiensi dan produktivitas pekerja dan perusahaan (Misri, 2010).

Kecelakaan di tempat kerja merupakan penyebab utama penderita perorangan dan penurunan produktivitas. Menurut ILO (2003), setiap hari rata-rata 6000 orang meninggal akibat sakit dan kecelakaan kerja atau sebanyak 300.000 orang per tahun, di antaranya meninggal akibat sakit atau kecelakaan kerja.

Kondisi kerja yang buruk berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja, mudah sakit, stres, sulit berkonsentrasi sehingga menyebabkan menurunnya produktif kerja. Kondisi kerja meliputi variabel fisik seperti distribusi jam kerja, suhu, penerangan, suara, dan ciri-ciri arsitektur tempat kerja. Walaupun telah ditetapkan standar safety di setiap industri kimia, namun kecelakaan kerja masih tetap saja bisa terjadi. Kecelakaan kerja di industri kimia contohnya kebocoran gas, kebakaran, dan ledakan.

Berikut ini beberapa contoh kecelakaan kerja khususnya kebocoran yang pernah terjadi pada industri kimia dalam beberapa tahun terakhir, di antaranya:

1. Kebocoran pipa produksi PT Chevron Pacific Indonesia (CPI), pada tanggal 28 Oktober 2010, di Kecamatan Tanah Putih, Kabupaten Rokan Hilir. Dalam kejadian tersebut tidak ada korban jiwa (<http://news.okezone.com>, 2010).
2. Kebocoran pipa gas milik ExxonMobil Oil Indonesia (EMOI), pada tanggal 23 Maret 2005 di Cluster III kawasan Desa Rayeuk Kuta, Kecamatan Tanah Luas, Kabupaten Aceh Utara. Dalam kejadian tersebut tidak ada korban jiwa hanya beberapa warga mengalami muntah darah dan sesak napas, setelah menghirup gas akibat kebocoran tersebut (<http://berita.kapanlagi.com>, 2005).
3. Kebocoran *anhydrous ammonia* di *Millard Refrigerated Services*, sebuah gudang dan pusat distribusi di Theodore, Alabama, yang terjadi pada 23 Agustus 2010, menyebabkan lebih dari 130 orang membutuhkan perawatan medis dan 4 orang harus dirawat di rumah sakit (<http://www.csb.gov>, 2015).
4. Kebocoran *methyl mercaptan* (gas tidak berwarna yang memiliki aroma seperti kubis busuk, memiliki dampak buruk terhadap sistem peredaran darah dan saraf) yang

digunakan pada proses produksi insektisida dan fungisida di DuPont LaPorte, bagian timur Houston, pada 15 November 2014 yang menyebabkan 4 orang pekerja meninggal dunia dan melukai pekerja lainnya (<http://www.csb.gov>, 2015).

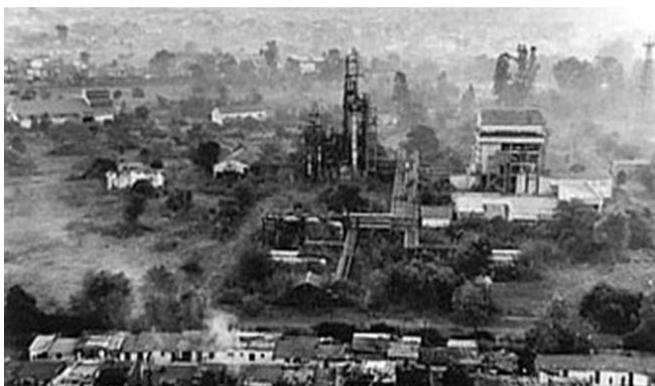
Dari contoh beberapa kasus kebocoran gas di atas, walaupun secara garis besar tidak terjadi korban jiwa, namun masih memakan korban, hal ini yang sering disebut sebagai kecelakaan kerja. Kecelakaan kerja merupakan dampak yang harus diperhitungkan dan diantisipasi sehingga sedapatnya hal ini harus dicegah agar tidak terjadi. Kecelakaan kerja yang berkaitan dengan B3 (bahan kimia berbahaya dan beracun) selain akan menimbulkan masalah bagi manusia juga dapat menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan. Hal ini akan menimbulkan kerugian baik bagi industri maupun lebih luas terhadap lingkungan dan masyarakat (Harjanto, 2011).



Gambar I.1. Kebocoran Gas di Industri Kimia

Salah satu contoh lain mengenai kebocoran gas yang pernah terjadi di industri kimia adalah kebocoran gas di Bhopal,

India. Pada 3 Desember 1984, tangki penyimpanan gas pabrik pestisida di Bhopal, India, bocor menyebabkan 27 ton gas *methyl isocyanate* lepas ke udara. Gas beracun dari pabrik Union Carbide tersebut naik ke udara, membentuk awan yang menyelimuti kota Bhopal. Lebih dari 3.000 warga tewas akibat menghirup gas beracun. Lima puluh ribu lainnya dirawat karena mengalami keracunan. Tragedi Bhopal merupakan salah satu insiden industri paling mematikan di dunia. Lebih dari lima ratus ribu penduduk terkena dampak gas beracun. Seratus dua puluh ribu di antaranya menderita berbagai penyakit, seperti kebutaan, kesulitan bernafas, serta kerusakan ginjal dan hati.



Gambar I.2. Kebocoran Gas di Bhopal, India, tahun 1984

Kebocoran tidak hanya terjadi pada pipa, bisa juga terjadi pada alat-alat lain di industri kimia. Kebocoran pada alat-alat yang mengandung gas beracun dapat membahayakan manusia dan menjadi pencemar lingkungan di sekitar kebocoran. Pada umumnya pencemaran gas berupa konsentrasi gas terjadi di lapisan di bawah atmosfer, yaitu troposfer dan stroposfer. Pelepasan gas beracun ke udara yang terbawa oleh angin

memiliki karakteristik *plume* (kepuluan asap yang keluar secara kontinyu) atau *puff* (kepuluan asap yang keluar tidak kontinyu) (Crowl, 2011).

Oleh karenanya, untuk mengantisipasi jatuhnya korban pada kecelakaan kerja karena terjadinya kebocoran gas, dalam tugas akhir ini akan dilakukan simulasi persebaran konsentrasi gas yang keluar dari alat-alat yang bocor agar diketahui radius atau zona aman dari pusat kebocoran.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah bagaimana persebaran konsentrasi kebocoran gas pada industri kimia dan model simulasi persebaran konsentrasinya dengan *software* NI Labview?

## **I.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dari skripsi ini adalah mensimulasikan persebaran konsentrasi kebocoran gas di dunia industri kimia menggunakan *software* NI Labview dengan luaran berupa grafik yang dapat menunjukkan radius zona tidak aman dari pusat kebocoran.

## **I.4 Manfaat**

Dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membutuhkan. Adapun manfaat yang diperoleh adalah dapat mengaplikasikan *software* NI Labview melalui simulasi untuk mengetahui radius zona aman dari pusat kebocoran gas sehingga bisa digunakan sebagai alat untuk mengantisipasi korban jiwa akibat kebocoran gas dengan lebih cepat.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## **BAB II**

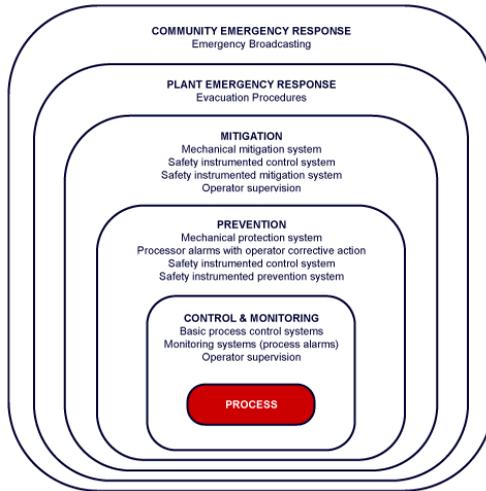
### **TINJAUAN PUSTAKA**

Suatu proses dalam industri diwajibkan untuk menyediakan dan memelihara keselamatan bagi lingkungan kerja. Keselamatan diadakan melalui desain dan berbagai perlindungan yang aman seperti *instrumented systems*, prosedur-prosedur, dan pelatihan.

#### **II.1 *Layers of Protection Analysis (LOPA)***

Salah satu metodologi keselamatan yang saat ini banyak digunakan adalah *Layers of Protection Analysis (LOPA)*. LOPA adalah metodologi semi-kuantitatif yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi perlindungan yang memenuhi kriteria *independent protection layer (IPL)*. (Summers, 2002)

*Layers of Protection Analysis (LOPA)* juga merupakan bentuk sederhana dari penilaian kuantitatif dari *risk assessment*. Dalam sebuah *process industry*, lapisan-lapisan perlindungan digunakan untuk menurunkan frekuensi dari konsekuensi yang tidak diinginkan seperti: desain proses (termasuk konsep dasar *safety*), *basic process control system*, *safety instrumented system (SIS)*, perangkat pasif (seperti tanggul dan dinding ledakan), perangkat aktif (seperti *relief valve*), dan *human intervention*. (EPCONSULT, 2005)



Gambar II.1. *Layers of Protection Analysis*

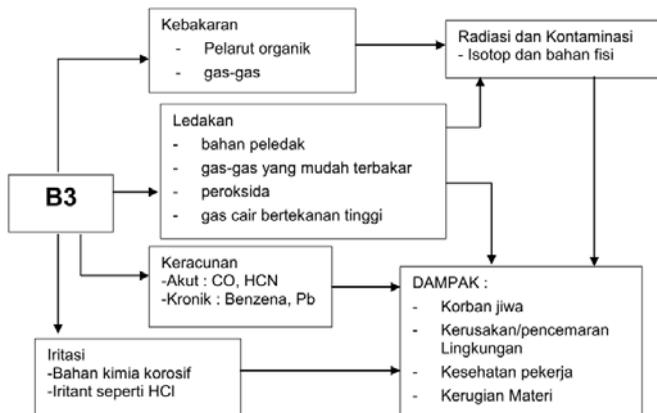
Ada enam tahap dalam proses LOPA, antara lain:

1. Mencatat semua dokumentasi referensi termasuk dokumentasi tentang analisis bahaya, desain *relief valve*, laporan inspeksi, dan lain-lain.
2. Dokumen deviasi proses dan *hazard scenario* dibahas di dalam *team*. Hal ini penting untuk memfokuskan *team* dalam spesifikasi *hazard scenario*, seperti tekanan tinggi yang mengakibatkan pecahnya pipa.
3. Mengidentifikasi semua penyebab awal untuk deviasi proses dan menentukan frekuensi dari tiap penyebab. *Team* seharusnya membuat daftar semua penyebab awal dari bahaya-bahaya seperti *loss* dari *flow control*.
4. Menentukan konsekuensi dari bahaya-bahaya yang telah ditentukan. Evaluasi ini harus melibatkan evaluasi keselamatan, lingkungan, dan ekonomi. Lalu mencatat semua pencegahan bahayanya.

5. Mencatat semua IPL yang dapat mengurangi semua penyebab awal.
6. Mengadakan implementasi dari IPL yang direkomendasikan untuk *process industry*. (Summers, 2002)

## II.2. Gas - Gas Beracun (*Toxic Gases*)

Kecelakaan kerja merupakan dampak yang harus diperhitungkan dan diantisipasi sehingga sedapatnya hal ini harus dicegah agar tidak terjadi. Kecelakaan kerja yang berkaitan dengan B3 (bahan kimia berbahaya dan beracun) selain akan menimbulkan masalah bagi manusia juga dapat menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan. Hal ini akan menimbulkan kerugian baik bagi industri maupun lebih luas terhadap lingkungan dan masyarakat. (Harjanto, 2011)



Gambar II.2. Pengaruh B3 dalam industri (*Sumber: Harjanto, 2011*)

Salah satu jenis bahan yang termasuk ke dalam golongan B3 adalah gas beracun. Gas-gas tersebut tidak

hanya berupa limbah industri, tetapi juga gas dalam produksi industri. Gas beracun dalam jumlah kecil maupun besar dapat menyebabkan bahaya terhadap kesehatan manusia apabila berkontak langsung. Adapun contoh gas-gas yang beracun adalah sebagai berikut:

**a. H<sub>2</sub>S (Hidrogen sulfida)**

Hidrogen sulfida adalah gas yang memiliki sifat tidak berwarna, mudah terbakar, sangat berbahaya dan memiliki bau seperti telur busuk. Gas H<sub>2</sub>S ini umumnya ada di industri minyak dan gas alam. Hidrogen sulfida bersifat iritan dan menyebabkan gangguan pernapasan. Efek terhadap kesehatan bermacam-macam tergantung tingkat paparan (*exposure*) dan lamanya kontak dengan manusia. Pada konsentrasi yang rendah, gas H<sub>2</sub>S dapat menyebabkan iritasi pada mata, hidung, tenggorokan, dan sisten pernapasan. Efek ini akan bertahan dalam beberapa jam atau beberapa hari ketika seseorang bekerja dalam konsentrasi rendah.

Dalam konsentrasi sedang dapat menyebabkan iritasi yang lebih parah. Sedangkan untuk konsentrasi yang tinggi, gas Hidrogen sulfida menyebabkan *shock*, ledakan, ketidakmampuan bernafas hingga kematian. (OSHA U.S. *Departement of Labor*, 2015)

**b. SO<sub>2</sub> (Sulfur dioksida)**

Sulfur dioksida adalah gas yang tidak berwarna dengan bau yang sangat kuat dan menyebabkan iritasi. Gas SO<sub>2</sub> ini sangat berbahaya bagi kesehatan sehingga OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) memberikan aturan mengenai paparan gas ini dimana pekerja diperbolehkan berkontak

dengan gas ini hingga batas konsentrasi 5 ppm selama 8 jam kerja. Sedangkan standar *safety* yang lain memiliki aturan yang berbeda-beda. (OSHA U.S. *Departement of Labor*, 2015)

Sulfur dioksida dapat berkontak dengan cara terhirup atau berkontak dengan kulit. Kontak secara langsung menyebabkan iritasi dan kulit terbakar dan bila berkontak dengan mata dapat menyebabkan kerusakan pada sistem penglihatan. Selain itu, bila gas ini terhirup dapat mengganggu pernapasan dan jangka panjangnya dapat merusak alat kerja pernapasan seperti paru-paru. (*New Jersey Departement of Health*, 2000)

**c. NO<sub>2</sub> (Nitrogen dioksida)**

Nitrogen dioksida dapat berupa liquid dan gas berwarna coklat kekuningan. Gas NO<sub>2</sub> berkontak melalui pernapasan. Ketika terhirup, dapat mengganggu system paru-paru dan menyebabkan kesulitan bernafas. Dalam konsentrasi yang tinggi, dapat menyebabkan gangguan pari-paru, *pulmonary edema* hingga menyebabkan kematian. OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) memberikan aturan mengenai paparan gas ini di mana pekerja diperbolehkan berkontak dengan gas ini hingga batas konsentrasi 5 ppm. (*New Jersey Departement of Health*, 1989)

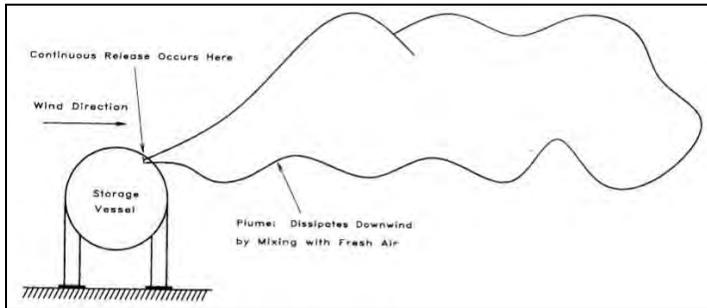
### **II.3. Dispersi Gas**

Pada umumnya pencemaran gas berupa konsentrasi gas terjadi di lapisan di bawah atmosfer, yaitu troposfer dan stroposfer. Persebaran gas atau dispersi gas banyak

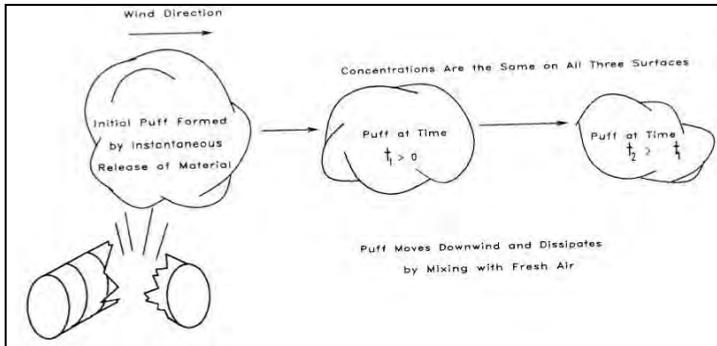
diakibatkan oleh polusi udara maupun adanya gas-gas industri.

Dispersi adalah proses dimana zat-zat kontaminan bergerak melalui udara dan menyebar ke wilayah yang luas dan konsentrasi polutan yang terkandung di dalamnya akan berkurang. Asap menyebar secara horizontal dan vertikal. Jika asap tersebut termasuk asap yang beracun, maka pergerakan dari molekul-molekul asap tersebut akan mengikuti aturan dari difusi gas. (Weiner R.F. 2003)

Pelepasan gas beracun ke udara yang terbawa oleh angin memiliki karakteristik *plume* (kepulan asap yang keluar secara kontinu) atau *puff* (kepulan asap yang keluar tidak kontinu). Karakteristik asap tersebut diilustrasikan pada gambar II.2 dan II.3. (Crowl, 2011)



Gambar II.3. Karakteristik *plume* dari penyebaran material secara kontinu



Gambar II.4. Karakteristik *puff* dari penyebaran material secara spontan

Menurut Crowl (2011), dispersi atmosfer material beracun disebabkan oleh beberapa parameter, antara lain:

- Kecepatan angin
- Stabilitas atmosfer
- Kondisi permukaan (bangunan, air, pohon)
- Tinggi penyebaran di atas level permukaan
- Momentum dan daya apung dari material awal yang tersebar

## II.4. Permodelan Dispersi (*Dispersion Models*)

### II.4.1. Pasquill Dispersion Model

Permodelan dispersi digunakan untuk memperoleh perkiraan konsentrasi zat yang terbawa angin dalam kondisi *neutrally buoyant* atau kondisi di mana densitas dari zat akan sama dengan densitas udara sehingga kondisinya tidak mengapung atau tenggelam.

*Atmospheric dispersion* oleh Crowl (2011) dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

- Kecepatan angin dan *atmospheric stability*
- Kondisi tanah dan area
- Tinggi sumber persebaran dari atas permukaan tanah

Menurut Crowl dan Louvar (2011), terdapat dua tipe permodelan dispersi yang umum digunakan, yaitu model untuk *plume* dan model untuk *puff*. Permodelan *plume* menggambarkan konsentrasi yang *steady-state* untuk material yang tersebar secara kontinyu. Sedangkan permodelan *puff* menggambarkan konsentrasi yang berubah untuk setiap persebaran.

Dengan mengasumsikan tidak ada reaksi atau difusi molekular yang terjadi, maka konsentrasi zat,  $C$ , dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j C) = 0, \quad (\text{II-1})$$

di mana  $u_j$  adalah kecepatan udara dan symbol  $j$  menunjukkan seluruh koordinat arah  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Jika kita dapat mengetahui secara spesifik untuk kecepatan angin tepatnya dengan waktu dan posisinya, serta efek yang ditimbulkan dari turbulensi angin, maka dari persamaan II-1 akan diperoleh konsentrasi zat yang tepat. Akan tetapi, tidak ada model yang dapat menunjukkan secara tepat turbulensi angin sehingga kecepatan angin dapat dijabarkan menjadi angka rata-rata dan angka probabilitas seperti persamaan II-2.

$$u_j = \langle u_j \rangle + u'_j \quad (\text{II-2})$$

di mana  $\langle u_j \rangle$  : kecepatan angin rata-rata

$u'_j$  : probabilitas fluktuasi yang diakibatkan dari turbulensi

Hal ini berlaku juga untuk konsentrasi  $C$  yang berubah-ubah akibat kecepatan angin sehingga,

$$C = \langle C \rangle + C' \quad (\text{II-3})$$

di mana  $\langle C \rangle$  : konsentrasi rata-rata

$C'$  : probabilitas fluktuasi

Karena fluktuasi atau perubahan  $C$  dan  $u_j$  di sekitar nilai rata-rata maka,

$$\langle u'_j \rangle = 0$$

$$\langle C' \rangle = 0$$

Persamaan II-2 dan II-3 disubstitusikan ke dalam persamaan II-1 dan dirata-rata terhadap fluktuasinya sehingga diperoleh,

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle C \rangle + \frac{\partial}{\partial x_j} (\langle u_j \rangle \langle C \rangle) + \frac{\partial}{\partial x_j} \langle u'_j C' \rangle = 0 \quad (\text{II-5})$$

Nilai  $\langle u_j \rangle C'$  dan  $u'_j \langle C' \rangle$  menjadi nol ketika dirata-rata ( $\langle u_j \rangle C' = u'_j \langle C' \rangle = 0$ ), tetapi nilai fluks dari turbulen ( $\langle u'_j C' \rangle$ ) tidak nol. Persamaan lain diperlukan untuk menjelaskan fluks turbulen dengan dilakukan pendekatan *eddy diffusivity*  $K_j$  (satuan luas/waktu), di mana:

$$\langle u'_j C' \rangle = -K_j \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} \quad (\text{II-6})$$

dengan menstubsitusi persamaan II-6 ke dalam persamaan II-5 diperoleh,

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle C \rangle + \frac{\partial}{\partial x_j} (\langle u_j \rangle \langle C \rangle) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( K_j \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} \right) \quad (\text{II-7})$$

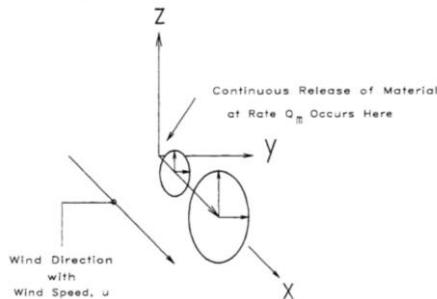
Jika atmosfer diasumsikan *incompressible*, maka

$$\frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_j} = 0 \quad (\text{II-8})$$

dan persamaan II-8 akan menjadi,

$$\boxed{\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( K_j \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} \right)} \quad (\text{II-9})$$

Persamaan II-9 adalah persamaan umum yang nantinya digunakan untuk berbagai kasus dengan kondisi awal dan batasan-batasan (*initial conditions*) untuk membentuk suatu persamaan model dispersi. Sistem koordinat yang digunakan untuk model dispersi seperti yang ditunjukkan pada gambar II.4.



Gambar II.5. Titik sumber penyebaran kontinu untuk kondisi *steady-state*

Sumbu  $x$  menunjukkan arah yang sama dengan arah angin (*downwind direction*) dari titik persebaran. Sedangkan sumbu  $y$  menunjukkan arah yang berbeda dengan arah angin (*off-wind direction*) dan sumbu  $z$  menunjukkan arah ke atas dari titik persebaran (*vertical direction*). Titik  $(x, y, z) = (0, 0, 0)$  adalah titik persebaran. (Crowl, 2011)

Untuk kasus di mana terdapat titik sumber penyebaran secara kontinu (*plume model*) dan *steady-state* seperti gambar II.5, diperlukan kondisi-kondisi sebagai berikut:

- Persebarannya kontinu ( $Q_m = 0$ ),  $Q_m$  adalah *massflow material* yang tersebar
- Angin bergerak hanya dalam arah sumbu  $x$  ( $\langle u_j \rangle = \langle u_x \rangle = u = \text{konstan}$ )
- Konstanta *eddy diffusivity* ( $K_j = K^*$  untuk semua arah)

Untuk kasus ini maka persamaan II-9 menjadi,

$$\frac{u}{K^*} \frac{\partial \langle c \rangle}{\partial t} = \frac{\partial^2 \langle c \rangle}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \langle c \rangle}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \langle c \rangle}{\partial z^2} \quad (\text{II-10})$$

Persamaan II-10 dapat terselesaikan dengan *boundary condition* berikut,

$$-4\pi r^2 K^* \frac{d \langle c \rangle}{dr} = Q_m \quad (\text{II-11})$$

$$r \rightarrow \infty, \quad \langle c \rangle \rightarrow 0 \quad (\text{II-12})$$

Dengan *boundary condition* pada persamaan II-1 dan II-2, diperoleh penyelesaian untuk konsentrasi rata-rata untuk tiap titik,

$$\langle C \rangle(x, y, z) = \frac{Q_m}{4\pi K^* \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \exp \left[ -\frac{u}{2K^*} (\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - x) \right] \quad (\text{II-13})$$

Jika asap diasumsikan mengalir jauh, tipis, dan tidak menjauhi arah sumbu  $x$  maka,

$$y^2 + z^2 \ll x^2 \quad (\text{II-14})$$

dengan menggunakan  $\sqrt{1+a} \approx 1 + a/2$ , persamaan II-13 dapat disederhanakan menjadi,

$$\langle C \rangle(x, y, z) = \frac{Q_m}{4\pi K^* x} \exp \left[ -\frac{u}{4K^* x} (y^2 + z^2) \right] \quad (\text{II-15})$$

Sedangkan untuk kasus *puff model* dengan pergerakan angin memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut:

- Terdapat persebaran *puff* ( $Q_m^* = \text{konstan}$ )
- Angin bergerak pada arah  $x$  saja ( $\langle u_j \rangle = \langle u_x \rangle = u = \text{konstan}$ )
- Tiap koordinat arah memiliki konstanta *eddy diffusivity* yang berbeda

Persamaan II-9 kemudian diubah menjadi:

$$\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial t} = K_x \frac{\partial^2 \langle C \rangle}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 \langle C \rangle}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 \langle C \rangle}{\partial z^2} \quad (\text{II-16})$$

Maka penyelesaiannya menjadi:

$$\langle C \rangle(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{8(\pi K^* t)^{3/2}} \exp \left[ -\frac{(x^2 + y^2 + z^2)}{4K^* t} \right] \quad (\text{II-17})$$

Jika *puff* bergerak mengikuti gerakan angin sepanjang arah sumbu  $x$ , maka penyelesaian untuk kasus dengan

mengganti koordinat  $x$  yang ada dengan sistem koordinat yang baru,  $x - ut$ , yang bergerak dengan kecepatan angin. Variabel  $t$  adalah variabel saat persebaran asap (*puff*) dan  $u$  adalah kecepatan angin. Penyelesaian dari persamaan II-7 diubah ke dalam koordinat baru sehingga menjadi:

$$\langle C \rangle(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{4(\pi)^{3/2} \sqrt{K_x K_y K_z}} \exp \left[ -\frac{1}{4t} \left( \frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right] \quad (\text{II-18})$$

#### II.4.2. Pasquill-Gifford Dispersion Model

Dua kasus di atas bergantung pada spesifikasi nilai dari *eddy diffusivity*  $K_j$ . Pada umumnya,  $K_j$  berubah sesuai dengan posisi, waktu, kecepatan angin, dan kondisi cuaca. Meskipun konstanta tersebut sangat berguna secara teori, tetapi konstanta tersebut tidak dapat diaplikasikan dalam eksperimen.

O. G. Sutton menyelesaikan permasalahan itu dengan menemukan suatu definisi untuk *koefisien dispersi*:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{2} \langle C \rangle^2 (ut)^{2-n} \quad (\text{II-19})$$

hal ini juga berlaku untuk  $\sigma_y$  dan  $\sigma_z$ . Koefisien dispersi  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ , dan  $\sigma_z$  menunjukkan standar deviasi dari konsentrasi dalam searah angin, arah yang berlawanan dengan angin, dan arah vertikal ( $x, y, z$ ). Koefisien dispersi merupakan fungsi dari kondisi atmosfer dan jarak angin dari persebaran. Kondisi atmosfer dapat digolongkan menjadi enam kelas stabilitas seperti yang ditunjukkan pada tabel II.1.

Tabel II.1. Penggolongan Stabilitas Atmosfer untuk *Pasquill-Gifford Dispersion Model*

Kecepatan angin (m/s)	Radiasi matahari			Penutupan awan	
	pada siang hari			pada malam hari	
	Kuat	Sedang	Ringan	<i>Overcast</i>	<i>Clear</i>
< 2	A	A–B	B	F	F
2–3	A–B	B	C	E	F
3–4	B	B–C	C	D	E
4–6	C	C–D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

keterangan: A : ketidakstabilan tinggi  
 B : ketidakstabilan sedang  
 C : ketidakstabilan rendah  
 D : kestabilan netral  
 E : kestabilan rendah  
 F : kestabilan sedang (Gifford, 1961)

Sedangkan koefisien dispersi *Pasquill-Gifford* untuk *crosswind direction* dan *vertical direction* merupakan fungsi dari jarak *downwind direction* (sumbu  $x$ ). Untuk *plume model*, persamaan koefisien dispersi *Pasquill-Gifford* ditunjukkan pada tabel II.2 untuk area pemukiman dan arean non-pemukiman.

Tabel II.2. Persamaan untuk Koefisien *Pasquill-Gifford* untuk Persebaran *Plume*

<b>Kelas stabilitas <i>Pasquill-Gifford</i></b>	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)
Non-pemukiman:		
A	$0,22x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,20x$
B	$0,16x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,12x$
C	$0,11x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,08x (1 + 0,0002x)^{-1/2}$
D	$0,08x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,06x (1 + 0,0015x)^{-1/2}$
E	$0,06x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,03x (1 + 0,0003x)^{-1}$
F	$0,04x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,016x (1 + 0,0003x)^{-1}$
Pemukiman:		
A–B	$0,32x (1 + 0,0004x)^{-1/2}$	$0,24x (1 + 0,001x)^{-1/2}$
C	$0,22x (1 + 0,0004x)^{-1/2}$	$0,20x$
D	$0,16x (1 + 0,0004x)^{-1/2}$	$0,14x (1 + 0,0003x)^{-1/2}$
E–F	$0,11x (1 + 0,0004x)^{-1/2}$	$0,08x (1 + 0,0015x)^{-1/2}$

Sumber: Crowl dan Louvar, 2011

Sedangkan untuk *puff model*, persamaan koefisien dispersi *Pasquill-Gifford crosswind direction* dan *vertical direction* ditunjukkan pada tabel II.3.

Tabel II.3. Persamaan untuk Koefisien *Pasquill-Gifford* untuk Persebaran *Puff*

Kelas stabilitas <i>Pasquill-Gifford</i>	$\sigma_x$ atau $\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)
A	$0,18 x^{0,92}$	$0,60 x^{0,75}$
B	$0,14 x^{0,92}$	$0,53 x^{0,73}$
C	$0,10 x^{0,92}$	$0,34 x^{0,71}$
D	$0,06 x^{0,92}$	$0,15 x^{0,70}$
E	$0,04 x^{0,92}$	$0,15 x^{0,65}$
F	$0,02 x^{0,89}$	$0,05 x^{0,61}$

Sumber: Crowl dan Louvar, 2011

Menurut Visscher (2013) *Pasquill-Gifford dispersion model* memiliki beberapa asumsi antara lain:

- Sumber persebaran dan *flowrate* konstan
- Arah dan kecepatan angin konstan
- Selama dispersi berlangsung, tidak terjadi reaksi kimia pada gas yang tersebar

Kasus pertama dan kedua yang dibahas pada *Pasquill dispersion model* akan diubah menjadi *Pasquill-Gifford dispersion model* dengan menggunakan koefisien dispersi dalam kondisi di permukaan tanah dan di ketinggian.

**a. Kasus I (*Plume model*)**

Menurut Turner (1970) pada *plume model* dengan sumber yang kontinu dan *steady-state* pada ketinggian  $H_r$  di atas permukaan tanah dan gerakan angin pada arah  $x$  dan

kecepatan angin  $u$  konstan memiliki persamaan dispersi berikut,

$$\langle C \rangle(x, y, z) = \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (\text{II-20})$$

Persamaan II-20 diturunkan oleh Crowl (2011) untuk kondisi *plume model* pada permukaan tanah ( $H_r = 0$ ) sehingga penyelesaiannya seperti berikut,

$$\langle C \rangle(x, y, z) = \frac{Q_m}{\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right] \quad (\text{II-21})$$

#### b. Kasus II (*Puff model*)

Menurut Visscher (2013) pada *puff model* dengan sumber yang mendadak pada ketinggian  $H_r$  di atas permukaan tanah dan gerakan angin pada arah  $x$  dan kecepatan angin  $u$  konstan memiliki persamaan dispersi berikut,

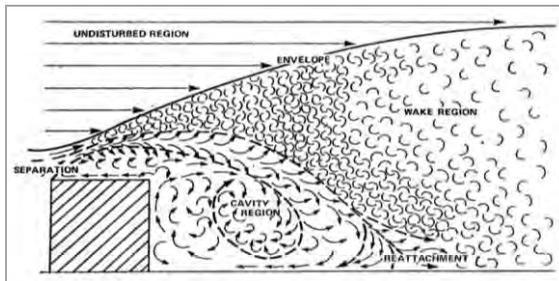
$$\langle C \rangle(x, y, z, t) = \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-ut}{\sigma_x}\right)^2\right] \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (\text{II-22})$$

Persamaan II-22 kemudian disederhanakan oleh Crowl (2011) untuk kondisi *puff model* dengan sumber yang mendadak pada permukaan tanah dan pada arah  $x$  dan kecepatan  $u$  konstan. Sehingga diperoleh penyelesaian berikut,

$$\langle C \rangle(x, y, z, t) = \frac{Q_m}{\sqrt{2\pi}^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x-ut}{\sigma_x}\right)^2 + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right]\right\} \quad (\text{II-23})$$

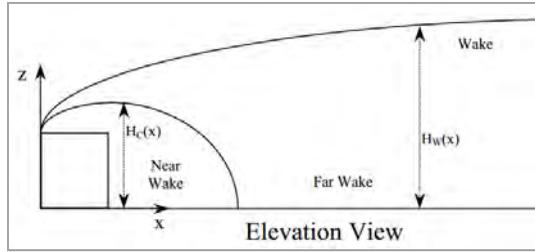
### II.4.3. *Building Downwash Effect*

Biasanya banyak *stack gas* di industri yang terletak di area yang banyak bangunan-bangunan di sekitarnya. Dengan adanya bangunan di sekitar sumber mempengaruhi persebaran gas. Schluman (1982) menyebutkan bahwa model dispersinya juga akan berubah karena aliran penyebarannya akan terhalang oleh bangunan yang ditunjukkan seperti gambar II.6.

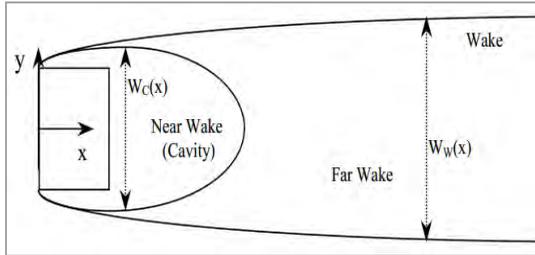


Gambar II.6. Profil persebaran gas ketika terhalangi oleh bangunan

Sedangkan profil persebaran gas diilustrasikan oleh Schulman (1982) dari sudut pandang depan dan dari atas seperti yang ditunjukkan pada gambar II.7.



(a)



(b)

Gambar II.7. Profil Persebaran gas ketika terhalang oleh bangunan: (a) tampak dari depan, (b) tampak dari atas (Sumber: Schulman, 1982)

Ketika gas melewati gedung di depannya, maka aliran gas akan terbagi membentuk dua daerah, yaitu daerah *near-wake* dan daerah *far-wake*. Ketika melewati kedua daerah tersebut, dispersi gas akan mengalami perubahan sehingga perlu untuk mengetahui persebaran konsentrasi.

Struktur dari daerah *near-wake* dan *far-wake* dipengaruhi oleh dimensi bangunan seperti tinggi bangunan ( $H_b$ ), lebar bangunan yang tegak lurus dengan aliran gas ( $W$ ), panjang bangunan yang searah dengan aliran gas ( $L$ ). *Length scale* untuk aliran dan difusi di sekitar bangunan dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$R = B_S^{2/3} B_L^{1/3} \quad (\text{II-24})$$

dimana  $B_S$  dipilih dari nilai terkecil antara  $H_B$  dan  $W$  sedangkan  $B_L$  dipilih dari nilai terbesar antara  $H_B$  dan  $W$ . Sedangkan tinggi dari daerah *near-wake* ( $H_C$ ) dihitung dengan persamaan berikut,

$$H_C = H_B \left( 1 + 1,6 \exp \left( \frac{-1,3L}{H_B} \right) \right) \quad (\text{II-25})$$

Panjang daerah *near-wake* ( $L_R$ ) dihitung dengan persamaan,

$$L_R = \frac{1,8W}{[(L/H)^{0,3}(1,0+0,24W/H)]} \quad (\text{II-26})$$

Sedangkan untuk menghitung lebar daerah *near-wake* menggunakan persamaan,

$$W_C = \frac{W}{2} + \frac{R}{3} - \frac{(x-R)^2}{3R} \quad \text{untuk } (0 < x_i \leq R)$$

$$W_C = \left( \frac{W}{2} + \frac{R}{3} \right) \sqrt{1 - \left( \frac{x-R}{L+L_R-R} \right)^2} \quad \text{untuk } (R < x_i < L + L_R)$$

(Schulman, 1982)

Persamaan konsentrasi untuk daerah *near-wake* berdasarkan Wilson dan Bitter (1982) sebagai berikut,

$$C_N = \frac{B \cdot Q_m \cdot \exp \left( -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_{yc}} \right)^2 \right)}{u \cdot H_C \cdot W} \quad (\text{II-27})$$

dimana  $C_N$  adalah konsentrasi gas pada daerah *near-wake*,  $Q_m$  adalah *flowrate* gas,  $W$  adalah dimensi lebar bangunan.  $\sigma_{yc}$  adalah koefisien dispersi pada jarak *crosswind* di daerah *near-wake* (*cavity*) yang dapat dihitung dari  $W/(2\pi)^{0,5}$ . Sedangkan  $B$  adalah konstanta empiris untuk konsentrasi *near-wake* diambil nilai 3 berdasarkan Wilson dan Bitter

(1982). Sedangkan untuk daerah *far-wake*, oleh Schulman (1982) persamaan konsentrasinya sebagai berikut,

$$C_F = \frac{Q_m \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_{yc}}\right)^2\right)}{\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \quad (\text{II-28})$$

dimana  $C_F$  adalah konsentrasi gas pada daerah *far-wake*.

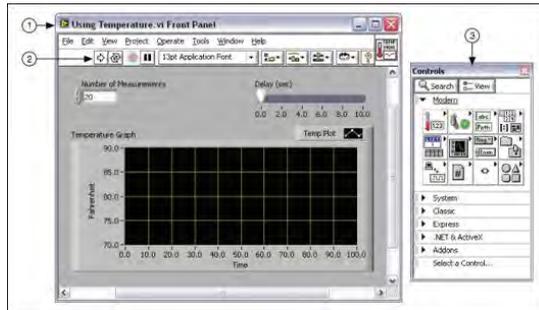
## II.5. Aplikasi Pemrograman NI LabView

*LabView* atau *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench* merupakan suatu program untuk bahasa pemrograman visual yang dikembangkan oleh *National Instrument* (NI). Tujuan dari program ini adalah mengotomatisasi penggunaan alat ukur dan proses di dalam suatu penelitian. Awalnya diluncurkan untuk *apple* pada tahun 1986, *labView* umumnya digunakan untuk akusisi data, kontrol, dan otomatisasi industri. (*National Instruments*, 2013)

*Front panel* merupakan halaman antarmuka dari *labView*. *Front panel* digunakan untuk berinteraksi dengan pengguna saat program dijalankan. Pengguna dapat mengatur program, mengganti masukan data dan melihat data yang masuk secara *real time*. *Front panel* dibuat dengan kontrol dan indikator. Kontrol meliputi *knop*, tombol, dan *dial*; sedangkan indikator meliputi grafik, *LED*, dan lainnya.

Berikut ini merupakan contoh tampilan dari *front panel* yang tersedia di NI *LabView* pada gambar II.8 dengan keterangan angka pada gambar menunjukkan:

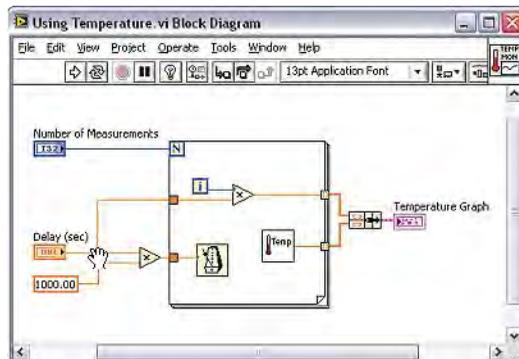
(1) *Front Panel Window* | (2) *Toolbar* | (3) *Controls Palette*



Sumber: *National Instrument*, 2013

Gambar II.8. Contoh Tampilan *Front Panel* dengan Berbagai Kontrol & Indikator

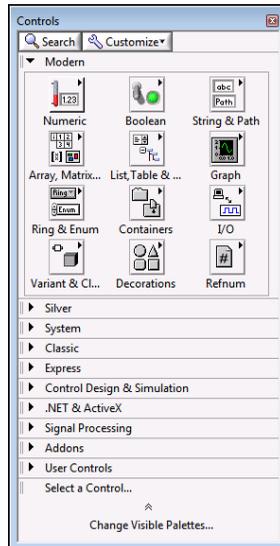
Di dalam NI LABVIEW juga terdapat *panel* yang berisikan blok diagram dan kode grafik seperti pada gambar II.9. Obyek dari *front panel* muncul pada blok diagram sebagai sambungan. Blok diagram juga berisi fungsi dan struktur dari *library labView*.



Sumber: *National Instrument*, 2013

Gambar II.9. Contoh Tampilan *Panel* Blok Diagram

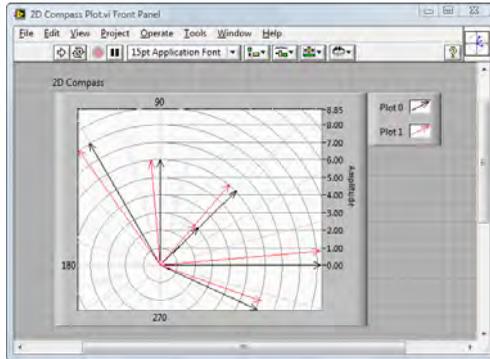
*Pallette* kontrol digunakan untuk meletakkan kontrol dan indikator pada *front panel*. *Pallette* kontrol hanya tersedia untuk *front panel*. *Panel* ini akan muncul secara otomatis saat menjalankan program *labView* seperti pada gambar II.10.



Sumber: *National Instrument*, 2013

Gambar II.10. *Pallette* kontrol *labView*

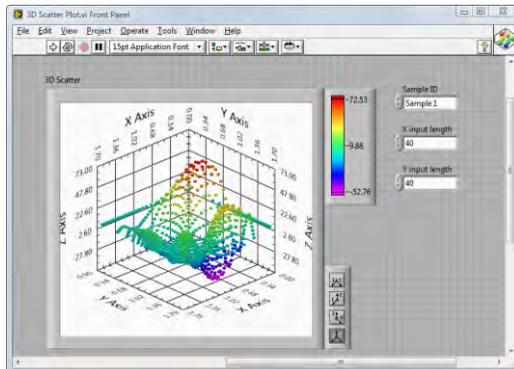
Visualisasi dari data pengukuran merupakan elemen kunci dari hampir semua aplikasi *LabVIEW*. Pada berbagai kasus, data pengukuran lebih mudah dimengerti ketika digrafikkan pada plot 2 dimensi (2D) atau 3 dimensi (3D). Pada *Labview* tersedia berbagai macam tipe plot disajikan kepada pengguna tanpa dibutuhkan *programming* tambahan. Contoh plot dua dimensi (2D) ditunjukkan pada gambar II.11.



Sumber: *National Instrument*, 2013

Gambar II.11. Contoh Visualisasi Data Plot 2D

Sedangkan contoh visualisasi dari data pengukuran dalam 3 dimensi (3D) di *NI Labview* ditunjukkan pada gambar II.12.



Sumber: *National Instrument*, 2013

Gambar II.12. Contoh Visualisasi Data Plot 3D

## II.6. Penelitian Terdahulu yang Terkait

Supriyono (2010), pernah melakukan penelitian tentang visualisasi pola sebaran konsentrasi gas dari sumber titik instan dalam fluida. Dengan menggunakan aplikasi program *Matlab*, simulasi yang dilakukannya terfokus pada pola sebaran konsentrasi untuk gas karena adanya kebocoran pipa. Obyek penelitiannya adalah persebaran konsentrasi dari gas  $H_2S$  dengan menggunakan model matematis dari persamaan *dispersion model*. Berbeda dengan penelitian ini, simulasi ini menggunakan model difusi tak lunak dari sumber titik instan dalam fluida dan model difusi dari sumber titik instan di dalam medium anisotrop atau hanya melakukan simulasi untuk *puff model*.

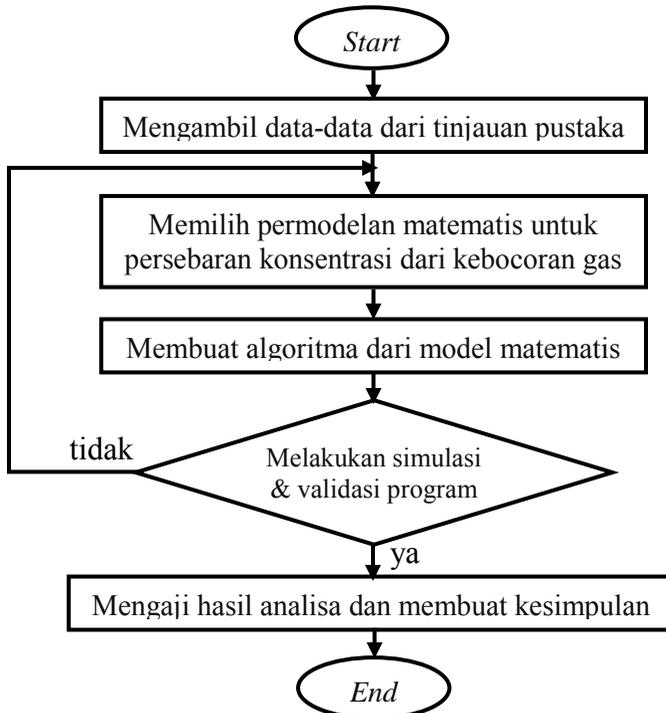
Sedangkan Xu Bo (2008) melakukan penelitian tentang deteksi persebaran kebocoran gas di *vessel* yang bertekanan tinggi. Gas beracun yang disimulasikan dalam penelitian ini adalah gas klorin. Dengan menggunakan *dispersion model*, penulis meneliti kebocoran pada sumber persebaran gas yang berkala (*instantaneous*). Dengan menentukan kondisi kebocoran gas dan parameter untuk gas klorin, penulis membuat desain persebaran gas dan membagi-bagi area ke dalam zona *death zone*, *badly injury zone*, *middle injury zone*, dan *low injury zone*.

Haoli Cheng dan Dejun Liu (2010) juga melakukan penelitian tentang simulasi 3 Dimensi (3D) untuk kebocoran gas manufaktur pada perpipaan dan persebarannya pada *urban area* yang berbeda dengan penelitian ini yang lebih fokus pada *industry area*. Penelitian Cheng disimulasikan dengan 3D

*Computational Fluid Dynamics (CFD). Manufactured gas* terdiri dari CH<sub>4</sub> (27%), H<sub>2</sub> (58%), dan N<sub>2</sub> (15%). Persebaran gas ini dimodelkan dalam area permukaan tanah dimana memiliki kondisi atmosfer 1 atm dan suhu 300 K.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Metode yang dimaksud dalam penelitian ini adalah suatu acuan dalam melakukan urutan kerja atau langkah-langkah analitis yang disusun secara benar dan teratur agar topik permasalahan bisa diselesaikan dengan baik dan dapat dipertanggungjawabkan. Penelitian ini dilakukan melalui tahap sebagai berikut.



Gambar III.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan sebagai acuan urutan kerja dalam menyelesaikan permasalahan secara rinci sebagai berikut:

### **1. Identifikasi masalah**

Permasalahan yang diidentifikasi pada penelitian ini adalah persebaran konsentrasi ketika terjadi kebocoran gas pada sebuah industri. Kebocoran gas terutama gas-gas beracun memiliki risiko bahaya yang ditimbulkan sangat tinggi, baik untuk kesehatan manusia maupun lingkungan.

### **2. Analisa proses dan data**

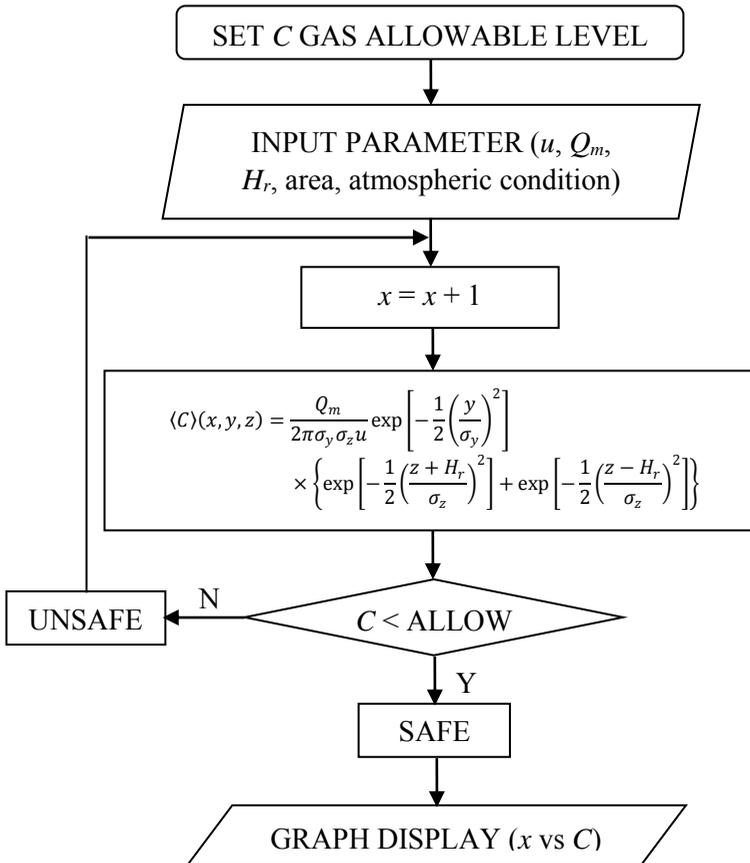
Pembatasan masalah dan batasan analisa yaitu pendefinisian masalah dan ruang lingkup masalah, serta menentukan obyek permasalahan yang akan dibahas dengan faktor-faktor yang dimasukkan di dalam batasan yang jelas. Dalam penelitian ini, pembatasan masalah yang kami tentukan adalah kasus kebocoran gas dari lokasi khusus ke umum (diawali dari kebocoran pada alat-alat industri hingga pembuangan gas secara sengaja melalui *stack gas* yang sumber gasnya tidak berpindah-pindah) dan gas yang dipilih untuk digunakan dalam simulasi pada penelitian ini adalah gas SO<sub>2</sub>. Setelah pendefinisian sistem dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan identifikasi secara detail pada sistem yang akan diteliti dengan membuat deskripsi sistem dan model dari sistem.

### **3. Pemilihan model matematis dan pembuatan algoritma dari sistem**

Setelah melakukan pengumpulan data-data serta analisa bahayanya, kemudian dilanjutkan dengan pemilihan model matematis berdasarkan persamaan-persamaan yang sudah

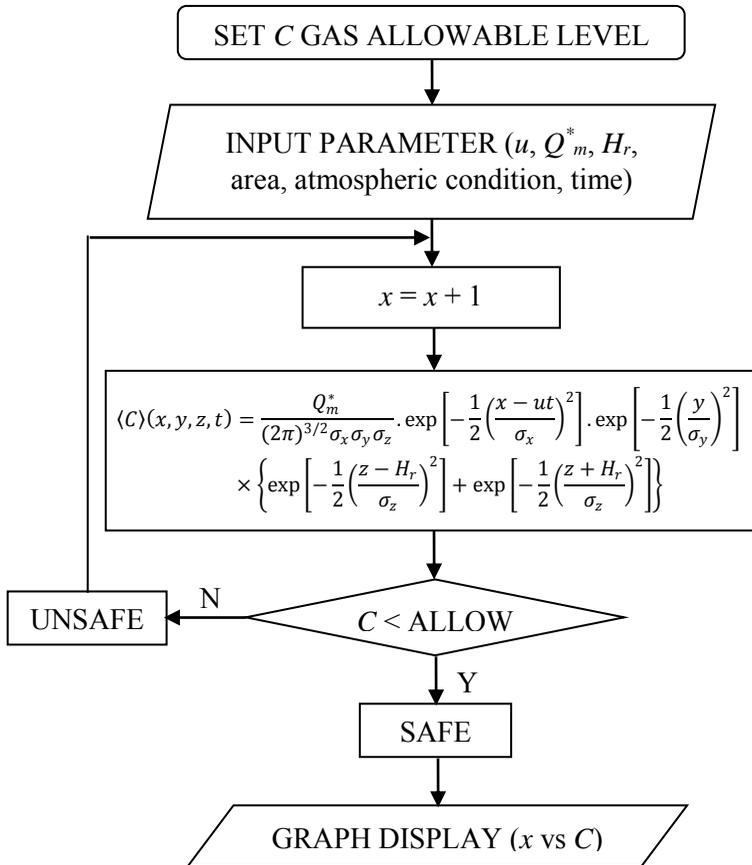
dijelaskan pada tinjauan pustaka sesuai referensi yang dituju (*Pasquill-Gifford dispersion model – plume model dan puff model*; kasus 1, 2, 3, dan 4). Pemodelan matematis ini nantinya akan disimulasikan ke dalam program untuk menjawab permasalahan yang akan dibahas.

Berikut ini merupakan algoritma dari sistem (*plume dan puff dispersion model*) yang dibuat pada penelitian ini:



Gambar III.2. Algoritma untuk *Plume Dispersion Model*

Untuk menjalankan simulasi dengan *plume dispersion model*, pertama-tama harus diketahui konsentrasi batas aman gas yang akan disimulasikan (dalam penelitian ini, menurut OSHA pada tahun 2013, batas aman konsentrasi gas SO<sub>2</sub> adalah  $3 \times 10^{-4}$  g/m<sup>3</sup>). Selanjutnya, ke dalam simulasi dimasukkan beberapa parameter seperti kecepatan angin, *flowrate* gas yang keluar dari sumber, ketinggian sumber gas, lokasi kebocoran, dan kondisi atmosfer (dapat dipilih dalam program sesuai kondisi yang diinginkan). Data-data masukan tersebut akan diproses ke dalam persamaan *Pasquill-Gifford dispersion model*. Apabila pada jarak tertentu,  $x$ , hasil konsentrasi terhitung lebih kecil daripada batas aman konsentrasi gas yang telah ditetapkan sebelumnya, kondisi akan dinyatakan aman dan simulasi akan berhenti dengan menampilkan grafik jarak terhadap konsentrasi ( $x$  vs  $C$ ). Namun apabila pada jarak tertentu,  $x$ , hasil konsentrasi terhitung masih lebih besar daripada batas aman konsentrasi gas yang telah ditetapkan sebelumnya, kondisi akan dinyatakan tidak aman dan simulasi akan terus berlanjut dengan mengganti nilai  $x$  sebelumnya menjadi nilai  $x$  baru hingga konsentrasi terhitung lebih kecil daripada batas aman yang selanjutnya kondisi dinyatakan aman dan simulasi akan berhenti dengan menampilkan grafik jarak terhadap konsentrasi ( $x$  vs  $C$ ). Demikian pula untuk *puff dispersion model*, hanya saja perlu ditambahkan parameter waktu yang harus dimasukkan.



Gambar III.3. Algoritma untuk *Puff Dispersion Model*

#### 4. Simulasi model matematis dan algoritma

Setelah membuat algoritma dan pemodelan untuk sistem, maka selanjutnya dilakukan simulasi algoritma menggunakan *software NI Labview 2013* (serial number: M79X49161) untuk memperoleh hasil dari permasalahan yang telah ditentukan.

## **5. Kesimpulan dari pembahasan hasil penelitian**

Dari simulasi atau eksperimen, diperoleh hasil. Hasil ini nantinya akan dibahas untuk menjawab permasalahan yang telah ditentukan. Pada tahap ini akan diambil suatu langkah penyimpulan dengan acuan dari hasil analisa yang telah dilakukan.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **IV.1. Data Input**

Untuk mengetahui persebaran konsentrasi dari kebocoran gas (ke arah sumbu  $x$ , sumbu  $y$ , dan sumbu  $z$ ) perlu dimasukkan beberapa data yang dibutuhkan untuk menjalankan program simulasi pada tugas akhir ini. Data–data yang dibutuhkan antara lain:

- Jenis dispersi : *plume* atau *puff*
- Kondisi atmosfer : *day* atau *night*
- Lokasi kebocoran : *rural* atau *urban*
- Kecepatan angin
- Ketinggian pusat kebocoran atau ketinggian *stack gas*
- *Flowrate* gas yang keluar
- Konsentrasi maksimum yang diperbolehkan (*maximum allowable concentration*)
- Waktu antar *puff* (khusus untuk *puff model*)
- Ada atau tidaknya *building downwash effect*
  - Dimensi bangunan
  - Jarak bangunan dari pusat kebocoran

#### **IV.2. Validasi Program**

Pada tugas akhir ini, program simulasi divalidasi menggunakan salah satu program sejenis yang sudah ada, yaitu CALPUFF. Di dalam program CALPUFF, hasil luaran yang kami dapatkan berupa data konsentrasi terhadap jarak searah sumbu  $x$  yang ditabelkan. Dasi hasil simulasi yang kami dapatkan pada program tersebut, tidak ditunjukkan data konsentrasi terhadap jarak searah sumbu  $y$  dan sumbu  $z$ . Berikut ini adalah perbandingan data hasil simulasi yang kami buat menggunakan

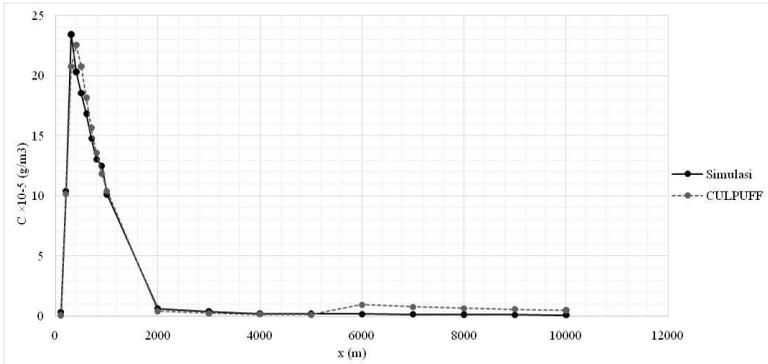
NI LABVIEW dengan data yang dihasilkan pada program CALPUFF dengan memasukkan *data input* yang disesuaikan dengan data – data yang ada di *user's guide* program CALPUFF sebagai berikut: kecepatan angin 5 m/s, ketinggian *stack gas* 10 m, *flowrate* gas 1 g/s, *rural area*, *moderate day*. Program simulasi dijalankan tanpa memasukkan kadar batas aman gas (*maximum allowable concentration*), sehingga program akan terus berjalan hingga konsentrasinya mencapai nilai 0 g/m<sup>3</sup>.

Tabel IV.1. Data Perbandingan Hasil Simulasi pada NI Labview dengan CALPUFF untuk *Plume Model*

Jarak (m)	Konsentrasi (g/m <sup>3</sup> )		% E
	NI Labview	CALPUFF	
100	0.0000009	0.0000006	37.8553
200	0.0001041	0.0001017	2.3196
300	0.0002342	0.0002075	12.8675
400	0.0002031	0.0002255	9.9290
500	0.0001853	0.0002076	10.7493
600	0.0001684	0.0001816	7.2616
700	0.0001478	0.0001567	5.6516
800	0.0001305	0.0001357	3.8543
900	0.0001252	0.0001184	5.7296
1000	0.0001013	0.0001042	2.8270

2000	0.0000068	0.0000042	63.6567
3000	0.0000039	0.0000024	63.0855
4000	0.0000026	0.0000016	56.9684
5000	0.0000019	0.0000012	54.1136
6000	0.0000015	0.0000096	84.7198
7000	0.0000012	0.0000078	84.7573
8000	0.0000010	0.0000066	84.8372
9000	0.0000009	0.0000057	84.8697

Apabila data tersebut digrafikkan akan terlihat seperti pada gambar IV.1 berikut. Dari data pada tabel IV.1 dan grafik yang terlihat pada gambar IV.1 dapat diketahui bahwa hasil simulasi dari program yang dibuat menggunakan NI Labview pada penelitian ini memiliki hasil yang hampir sama (dengan rata-rata % error sebesar 40.0485% untuk data konsentrasinya) dengan hasil simulasi menggunakan program sejenis yang sudah ada, yaitu CALPUFF. Dari grafik pada gambar IV.1 dapat dilihat bahwa data – data baik dari NI Labview maupun CALPUFF memiliki kecenderungan yang sama (konsentrasi mengalami kenaikan dan mencapai maksimumnya pada jarak tertentu hingga akhirnya turun dan akan mencapai batas yang ditentukan).



Gambar IV.1. Grafik Perbandingan Hasil Simulasi pada NI Labview dengan CALPUFF untuk *Plume Model*

Selanjutnya, dengan memasukkan data *input* yang sama ditambah *input* waktu sebesar 36 detik, dilakukan juga simulasi untuk *puff model*, dan berikut ini adalah data perbandingan hasil simulasi yang kami buat terhadap hasil pada program sejenis yang sudah ada, CALPUFF.

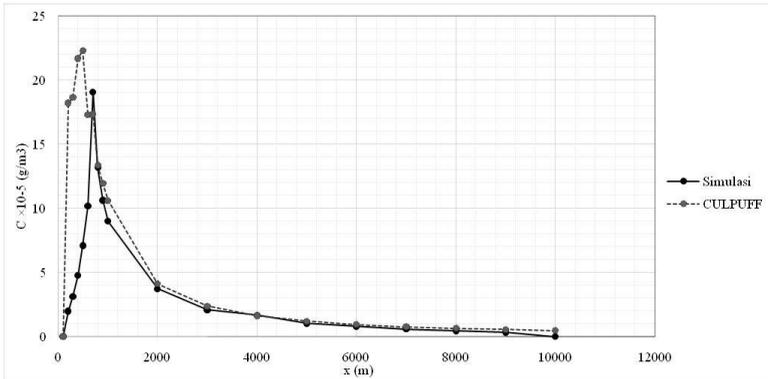
Tabel IV.2. Data Perbandingan Hasil Simulasi pada NI Labview dengan CALPUFF untuk *Puff Model*

Jarak (m)	Konsentrasi (g/m <sup>3</sup> )		% E
	NI Labview	CALPUFF	
100	0.00000019	0.00000014	36.679
200	0.00001997	0.00018230	89.046
300	0.00003153	0.00018690	83.132
400	0.00004813	0.00021710	77.829

500	0.00007114	0.00022340	68.154
600	0.00010190	0.00017330	41.2
700	0.00019096	0.00017360	10
800	0.00013191	0.00013370	1.337
900	0.00010646	0.00011970	11.061
1000	0.00009010	0.00010620	15.158
2000	0.00003750	0.00004130	9.196
3000	0.00002099	0.00002401	12.594
4000	0.00001683	0.00001644	2.379
5000	0.00001042	0.00001224	14.871
6000	0.00000805	0.00000961	16.258
7000	0.00000615	0.00000783	21.515
8000	0.00000464	0.00000660	29.675
9000	0.00000346	0.00000567	38.916

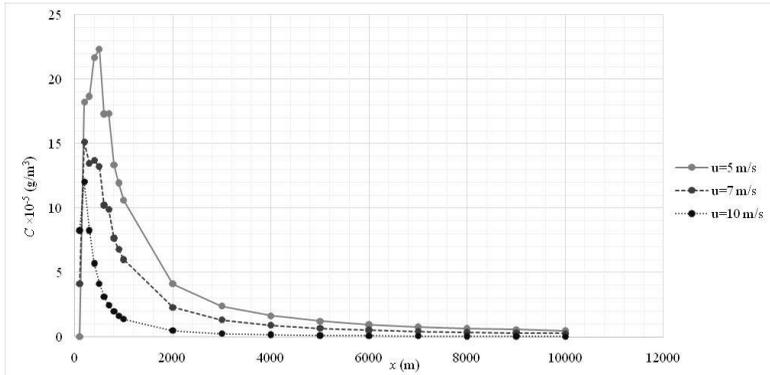
Apabila data tersebut digrafikkan akan terlihat seperti pada gambar IV.2 berikut. Dari data pada tabel IV.2 dan grafik yang terlihat pada gambar IV.2 dapat diketahui bahwa hasil simulasi dari program yang dibuat menggunakan NI Labview pada penelitian ini memiliki hasil yang hampir sama (dengan rata-rata error sebesar 35.489% untuk data konsentrasinya) dengan hasil simulasi menggunakan program sejenis yang sudah ada, yaitu

CALPUFF. Dari grafik pada gambar IV.2 dapat dilihat bahwa data hasil simulasi pada NI Labview maupun CALPUFF memiliki kecenderungan yang hampir sama.



Gambar IV.2. Grafik Perbandingan Hasil Simulasi pada NI Labview dengan CALPUFF untuk *Puff Model*

Karena kami memilih kecepatan angin sebagai variabel, sehingga kami juga melakukan simulasi serupa pada program CALPUFF. Data-data yang kami simulasikan berasal dari *user's guide* program CALPUFF sebagai berikut: ketinggian *stack gas* 10 m, *flowrate gas* 1 g/s, *rural area*, *moderate day*. Kecepatan angin yang kami pilih untuk disimulasikan pada program CALPUFF adalah 5 m/s, 7 m/s, dan 10 m/s. Berikut ini adalah hasilnya bila digrafikkan.

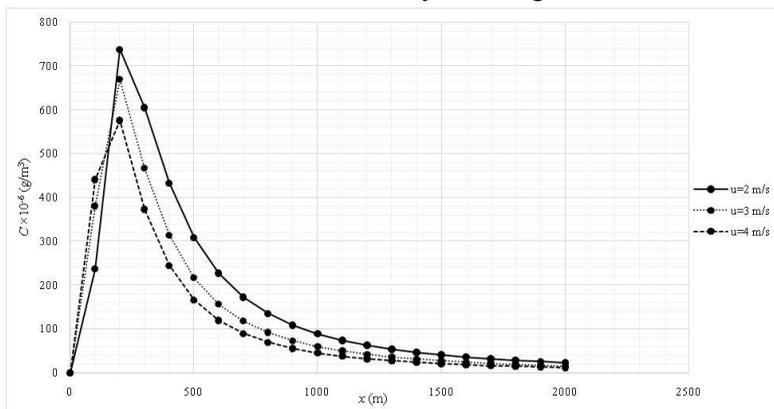


Gambar IV.3. Grafik Hasil Simulasi pada Program CALPUFF dengan Variabel Kecepatan Angin

Dari gambar IV.3 dapat dilihat bahwa konsentrasi terendah terjadi pada saat kecepatan angin tinggi, begitu juga sebaliknya. Kecepatan angin yang rendah menyebabkan penyebaran udara ke ruang yang lebih luas menjadi lambat dan terakumulasi sehingga konsentrasi menjadi tinggi. Jarak *downwind* saat mencapai konsentrasi maksimum untuk kecepatan angin 5 m/s; 7 m/s; 10 m/s juga berbeda. Hal ini dikarenakan variasi kecepatan angin memberikan *atmospheric stability class* yang berbeda-beda.

Selain menggunakan program CALPUFF, kami juga menggunakan program lain yang sudah ada, yaitu Screen3 untuk menguatkan kevalidan simulasi yang kami lakukan pada program yang kami buat di *software* NI LABVIEW. Pada program ini, hasil luaran yang kami dapatkan juga serupa dengan hasil yang kami dapatkan dari program CALPUFF, yaitu berupa data konsentrasi terhadap jarak searah sumbu x. Adapun data-data yang kami simulasikan ke dalam program Screen3 yaitu: diameter *stack gas* 1 m, suhu *stack gas* 313K, ketinggian *stack gas* 15 m, *stack gas exit* 10 m/s, *flowrate* gas 10 g/s, *source point, rural area*,

*flat terrain, simple terrain, no building downwash, min distance 1 m, max distance 2000 m*, dan kecepatan angin yang kami pilih untuk disimulasikan pada program Screen3 adalah 2 m/s, 3 m/s, dan 4 m/s. Berikut ini adalah hasilnya bila digrafikkan.



Gambar IV.4. Grafik Hasil Simulasi pada Program Screen3 dengan Variabel Kecepatan Angin

Dari gambar IV.4 dapat dilihat bahwa hasil tersebut memiliki kesamaan dengan hasil simulasi pada program CALPUFF yaitu konsentrasi terendah terjadi pada saat kecepatan angin tinggi, begitu juga sebaliknya.

### IV.3. Simulasi *Steady State*

Pada simulasi *steady state*, diasumsikan bahwa sumber gas tidak berpindah, kecepatan dan arah angin tidak berubah, *flowrate* gas tidak berubah. Pada simulasi *steady state* didapatkan grafik dengan data masukan yang diambil dari contoh soal di buku “Chemical Process Safety”, Crowl & Louvar, sebagai berikut:

- *Meteorological data* : *Overcast day, wind velocity is 4 m/s, urban area*
- *Gas data* : *SO<sub>2</sub>, flowrate is 80 g/s*

- *Source height* : 15 m
- *Maximum allowable concentration* :  $3 \times 10^{-4}$  g/m<sup>3</sup> (OSHA, 2013)
- ***For building downwash data*** :
  - Building height : 50 m
  - Distance from stack to building : 20 m
  - Building length along the flow (L) : 30 m
  - Building width cross the flow (W) : 30 m

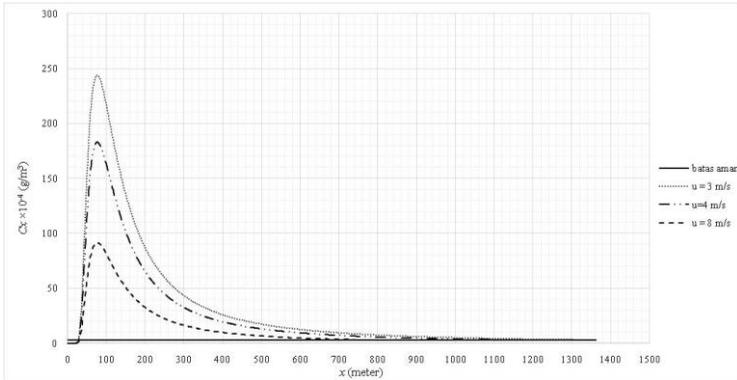
### IV.3.1. Plume Model Tanpa Building Downwash Effect

Pada simulasi untuk *plume model*, dilakukan dua kali, menggunakan *building downwash effect* dan tidak menggunakan *building downwash effect*. Variabel yang diujicobakan dalam kasus di atas adalah variable kecepatan udara (*u*) pada 3 m/s, 4 m/s, dan 8 m/s. Berikut ini adalah hasil simulasi dengan data tersebut di atas, tanpa adanya *building downwash effect* dengan memasukkan data-data awal ke dalam simulasi seperti pada gambar IV.5.

The screenshot shows a software interface with two main panels:

- Input Panel:**
  - Atmospher Condition:** Night, Overcast
  - Wind Velocity, m/s:** 4
  - Selection Area:** Urban Area
  - Stability Class:** D
  - Height, m:** 15
  - Time, second:** 0
  - Flowrate gas, g/s:** 80
  - Maximum Allowable Concentration (Cmax), g/m<sup>3</sup>:** 0.0003
- Building Downwash Effect:**
  - Building Downwash Effect
  - Building Height, m:** 0
  - Alongwind building dimension, m:** 0
  - Alongwind distance from source to building, m:** 0
  - Crosswind building dimension, m:** 0

Gambar IV.5. Contoh *input data* untuk *plume model* tanpa *building downwash effect* pada kecepatan udara 4 m/s



Gambar IV.6. Grafik konsentrasi *plume* terhadap jarak pada *downwind direction* (sumbu  $x$ ) tanpa *building downwash effect*

Pada gambar IV.6, pada grafik di atas menunjukkan bahwa konsentrasi gas  $\text{SO}_2$  mencapai batas aman pada jarak yang berbeda-beda terhadap kecepatannya dari pusat kebocoran ke arah yang searah dengan arah angin. Pada kecepatan angin 3 m/s, konsentrasi mencapai batas aman di jarak 1.363 meter (1,363 km). Pada kecepatan angin 4 m/s, konsentrasi mencapai batas aman di jarak 1.149 meter (1,149 km). Sedangkan pada kecepatan angin 8 m/s, konsentrasi mencapai batas aman di jarak 771 meter. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin saat persebaran gas, maka jarak untuk mencapai batas amannya juga semakin kecil.

Grafik pada gambar di atas juga menunjukkan adanya konsentrasi maksimum pada jarak  $x$  tertentu. Pada kecepatan angin 3 m/s, konsentrasi maksimumnya sebesar  $0,024389 \text{ g/m}^3$  berada pada jarak 77 meter. Untuk kecepatan angin 4 m/s, konsentrasi maksimumnya sebesar  $0,018292 \text{ g/m}^3$  berada pada jarak 77 meter. Sedangkan untuk kecepatan angin 8 m/s, konsentrasi maksimumnya sebesar  $0,009146 \text{ g/m}^3$  berada di

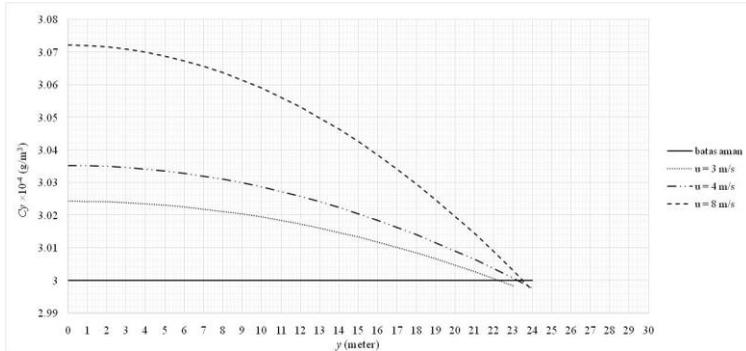
jarak 77 meter. Crowl (2011) menyebutkan bahwa untuk model *plume* jika pusat sebaran berada di atas permukaan tanah, maka konsentrasi tertinggi yang diukur di atas permukaan tanah berada pada titik  $x$  tertentu dari pusat sebaran.

Dari grafik IV.6, terlihat bahwa kecepatan angin mempengaruhi konsentrasi gas yang terdispersi. Menurut Crowl (2011), ketika kecepatan angin meningkat maka *plume* akan bertambah panjang. Partikel-partikel gas yang terbawa angin akan terlarut dengan cepat oleh angin sehingga konsentrasi gasnya juga cepat menipis. Sebaliknya, semakin lambat kecepatan anginnya, maka gas yang terbawa angin akan lama terlarut. Oleh karena itu, pada jarak 77 meter, konsentrasi gas terendah terjadi pada saat kecepatan udaranya meninggi yaitu pada 8 m/s. Gas dengan konsentrasi yang lebih kecil akan membutuhkan jarak yang lebih pendek untuk mencapai batas aman dibandingkan dengan gas yang memiliki konsentrasi yang lebih besar.

Akan tetapi, dapat dilihat bahwa dengan kecepatan angin yang berbeda-beda memberikan hasil jarak konsentrasi maksimum yang sama. Hal ini dikarenakan kecepatan angin 3 m/s; 4 m/s; dan 8 m/s menunjukkan *atmospheric stability* yang sama yaitu kelas D seperti yang ditunjukkan pada tabel II.1. Perhitungan analitis yang telah dilakukan juga menunjukkan hasil yang sama dimana koefisien dispersi secara vertikal pada konsentrasi maksimum merupakan fungsi dari ketinggian sumber ( $\sigma_z = H_r / \sqrt{2}$ ). Hasil perhitungan analitis ini juga sesuai dengan literatur Crowl (2011). Koefisien dispersi vertikal ( $\sigma_z$ ) sendiri merupakan fungsi dari jarak *downwind* ( $x$ ) yang ditentukan berdasarkan *atmospheric stability class*. Oleh karena itu, ketika kecepatan udara memberikan kelas

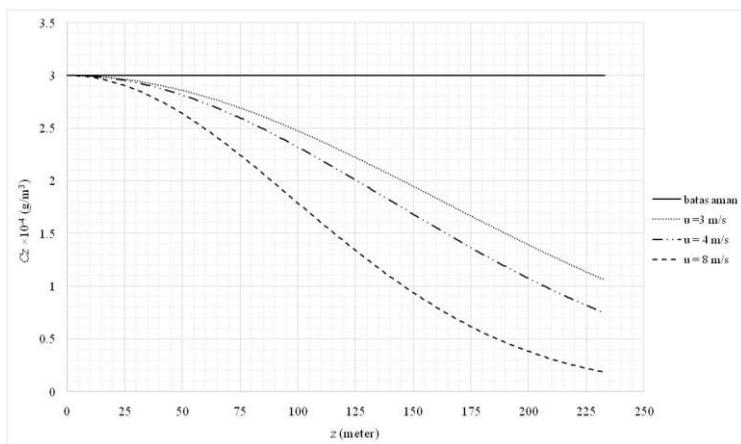
kestabilan yang berbeda maka jarak untuk mencapai konsentrasi maksimum juga akan berbeda.

Selanjutnya hasil simulasi konsentrasi gas terhadap jarak pada *crosswind direction* (sumbu  $y$ ) tanpa *building downwash effect* dapat dilihat pada gambar IV.7.



Gambar IV.7. Grafik konsentrasi *plume* terhadap jarak pada *crosswind direction* (sumbu  $y$ ) tanpa *building downwash effect*

Grafik pada gambar IV.7 menunjukkan bahwa pada kecepatan angin 3 m/s, konsentrasi mencapai batas aman sebesar  $2,9984 \times 10^{-4} \text{ g/m}^3$  jarak 23 meter. Pada kecepatan angin 4 m/s, konsentrasi mencapai batas aman sebesar  $2,9976 \times 10^{-4} \text{ g/m}^3$  jarak 24 meter. Sedangkan pada kecepatan angin 8 m/s, konsentrasi mencapai batas aman sebesar  $2,9969 \times 10^{-4} \text{ g/m}^3$  jarak 24 meter dari pusat kebocoran ke arah tegak lurus (ke kanan dan ke kiri) dengan arah angin. Terlihat bahwa pada arah *crosswind*, jarak yang diperoleh hampir sama pada setiap variable kecepatan angin.



Gambar IV.8. Grafik konsentrasi *plume* terhadap jarak pada *vertical direction* (sumbu *z*) tanpa *building downwash effect*

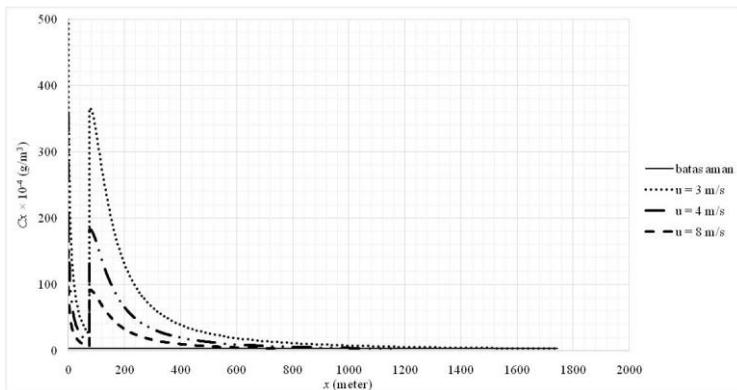
Pada grafik tersebut, dapat dilihat bahwa semenjak saat jarak 0 meter dari pusat kebocoran (ke arah vertikal), konsentrasi gas  $\text{SO}_2$  sudah berada di bawah batas aman di setiap variabel kecepatan udara, sehingga grafik terus menunjukkan kondisi aman hingga jarak berapapun (ke arah vertikal) dari pusat kebocoran. Grafik IV.7 menunjukkan bahwa kecepatan udara mempengaruhi besarnya konsentrasi gas  $\text{SO}_2$ . Semakin besar kecepatan udaranya, konsentrasi gas akan lebih cepat menipis.

### IV.3.2. Plume Model Dengan *Building Downwash Effect*

Sedangkan berikut ini adalah hasil simulasi dengan data tersebut di atas, dengan adanya *building downwash effect*. Simulasi ini dilakukan dengan variabel kecepatan udara sebesar 3 m/s, 4 m/s, dan 8 m/s.

Input Panel		Building Downwash Effect	
Atmospher Condition Night, Overcast	Wind Velocity, m/s 4	<input checked="" type="checkbox"/> Building Downwash Effect	
Selection Area Urban Area	Stability Class D	Building Height, m 50	Alongwind building dimension, m 30
Height, m 15	Time, second 0	Alongwind distance from source to building, m 20	Crosswind building dimension, m 30
Flowrate gas, g/s 80	Maximum Allowable Concentration (Cmax), g/m <sup>3</sup> 0.0003		

Gambar IV.9. Contoh input data untuk plume model dengan building downwash effect pada kecepatan udara 4 m/s



Gambar IV.10. Grafik konsentrasi plume terhadap jarak pada downwind direction (sumbu  $x$ ) dengan building downwash effect

Pada gambar IV.10, grafik konsentrasi terhadap jarak  $x$ , diperoleh pada kecepatan udara 3 m/s konsentrasi  $\text{SO}_2$  berada di bawah batas aman pada jarak downwind 1.744 meter (1,744 km) dari pusat persebaran. Sedangkan untuk kecepatan udara 4 m/s, konsentrasi mencapai batas aman pada jarak

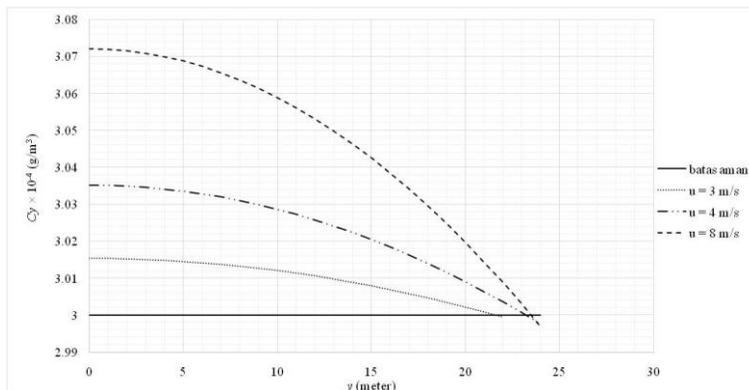
1.149 meter (1,149 km). Untuk kecepatan udara 8 m/s, konsentrasi mencapai batas aman pada jarak 771 meter. Hal ini menunjukkan semakin besar kecepatan angin pada persebaran, maka jarak untuk mencapai batas amannya juga semakin kecil.

Dari grafik IV.10, terlihat bahwa kecepatan angin mempengaruhi konsentrasi gas yang terdispersi. Menurut Crowl (2011), ketika kecepatan angin meningkat maka *plume* akan bertambah panjang. Partikel-partikel gas yang terbawa angin akan terlarut dengan cepat oleh angin sehingga konsentrasi gasnya juga cepat menipis. Sebaliknya, semakin lambat kecepatan anginnya, maka gas yang terbawa angin akan lama terlarut sehingga untuk mencapai batas amannya akan membutuhkan jarak yang lebih panjang.

Dengan adanya bangunan di sekitar persebaran memiliki pengaruh pada konsentrasi gas. Konsentrasi gas yang sebelumnya mengalami penurunan, kemudian mengalami kenaikan kembali sebelum akhirnya menurun kembali. Kenaikan konsentrasi semakin besar jika kecepatan anginnya semakin kecil. Hal ini disebabkan adanya gas yang terhalang oleh sisi bangunan dan aliran tersebut membentuk daerah *recirculation cavity (near-wake)* dan daerah *far-wake*.

Hal ini dijelaskan oleh Wilson dan Bitter (1982) bahwa untuk *plume model*, konsentrasi gas di sekitar permukaan bangunan lebih rendah daripada konsentrasi gas yang tidak terkena efek *building downwash*. Hal tersebut dikarenakan *plume* yang tertahan pada daerah *near-wake* mengalami turbulensi dan resirkulasi sebelum akhirnya akan tersebar lagi ke daerah *far-wake* bersama dengan *plume* yang tidak terkena efek *building downwash*.

Sedangkan persebaran konsentrasi gas terhadap jarak sumbu  $y$  dapat dilihat pada gambar IV.11 berikut ini.

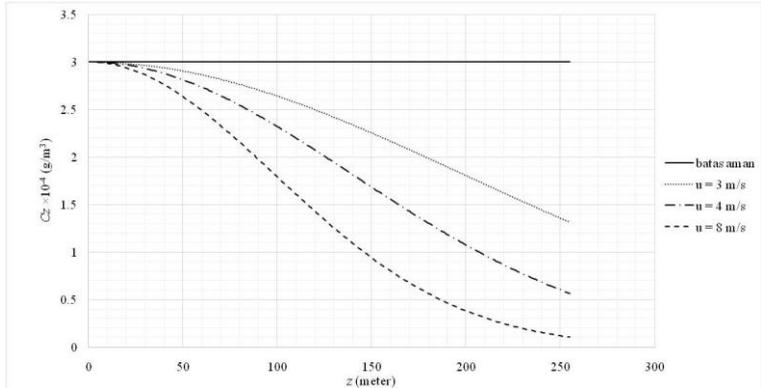


Gambar IV.11. Grafik konsentrasi *plume* terhadap jarak pada *crosswind direction* (sumbu  $y$ ) dengan *building downwash effect*

Grafik pada gambar IV.11 menunjukkan bahwa pada kecepatan angin 3 m/s, konsentrasi mencapai batas aman pada jarak 22 meter. Pada kecepatan angin 4 m/s, konsentrasi mencapai batas aman pada jarak 24 meter. Sedangkan pada kecepatan angin 8 m/s, konsentrasi mencapai batas aman pada jarak 24 meter dari pusat kebocoran ke arah tegak lurus (ke kanan dan ke kiri) dengan arah angin.

Pada grafik IV.12, dapat dilihat bahwa semenjak saat jarak 0 meter dari pusat kebocoran (ke arah vertikal), konsentrasi gas  $SO_2$  pada tiap variabel kecepatan udara sudah berada di bawah batas aman, sehingga grafik terus menunjukkan kondisi aman hingga jarak berapapun (ke arah vertikal) dari pusat kebocoran. Grafik IV.11 menunjukkan bahwa kecepatan udara mempengaruhi besarnya konsentrasi

gas  $\text{SO}_2$ . Semakin besar kecepatan udaranya, konsentrasi gas akan lebih cepat menipis.



Gambar IV.12. Grafik konsentrasi *plume* terhadap jarak pada *vertical direction* (sumbu  $z$ ) dengan *building downwash effect*

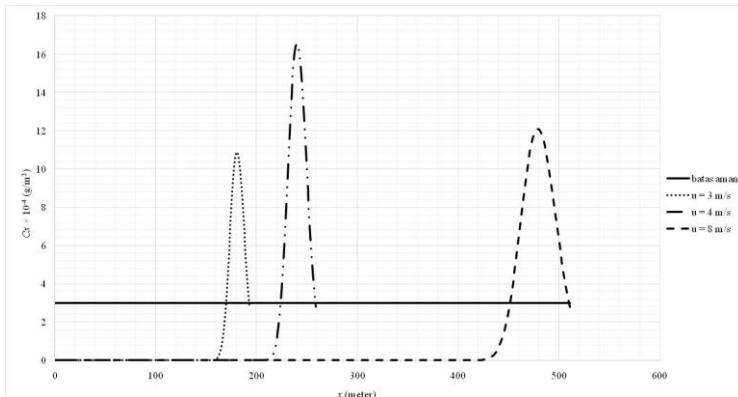
### IV.3.3. *Puff Model Tanpa Building Downwash Effect*

Pada simulasi untuk *puff model*, simulasi dilakukan dua kali, menggunakan *building downwash effect* dan tidak menggunakan *building downwash effect*. Simulasi untuk *puff model* dilakukan pada waktu persebaran selama 60 detik dan variabel kecepatan udara 3 m/s, 4 m/s, dan 8 m/s. Berikut ini adalah hasil simulasi dengan data tersebut sebelumnya, tanpa adanya *building downwash effect* dengan memasukkan data-data awal ke dalam simulasi seperti pada gambar IV.13 berikut ini.

Input Panel		Building Downwash Effect	
Atmospher Condition Night, Overcast	Wind Velocity, m/s 4	<input type="checkbox"/> Building Downwash Effect	
Selection Area Urban Area	Stability Class D	Building Height, m 0	Alongwind building dimension, m 0
Height, m 15	Time, second 60	Alongwind distance from source to building, m 0	Crosswind building dimension, m 0
Flowrate gas, g/s 80	Maximum Allowable Concentration (Cmax), g/m <sup>3</sup> 0.0003		

Gambar IV.13. Contoh *input data* untuk *puff model* tanpa *building downwash effect* pada kecepatan angin 4 m/s

Dari simulasi untuk *puff model* tanpa *building downwash effect*, diperoleh hasil seperti terlihat pada gambar IV.14; gambar IV.15; dan gambar IV.16 berikut ini.

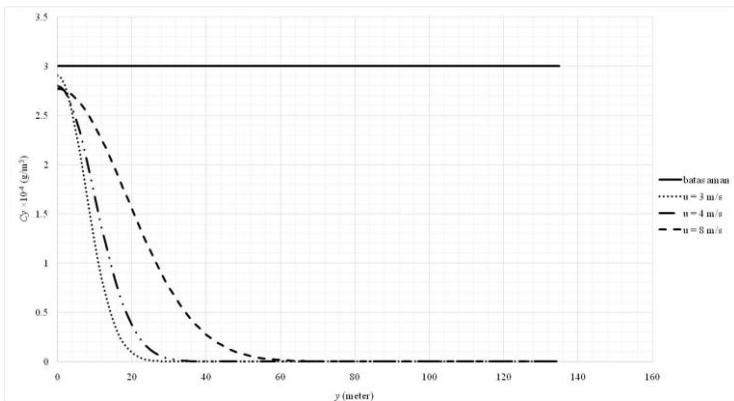


Gambar IV.14. Grafik konsentrasi *puff* terhadap jarak pada *downwind direction* (sumbu *x*) tanpa *building downwash effect*

Pada gambar IV.14, dari grafik konsentrasi  $\text{SO}_2$  terhadap jarak *downwind*, diperoleh jarak konsentrasi  $\text{SO}_2$  mencapai batas aman yang berbeda-beda tiap kecepatan angin.

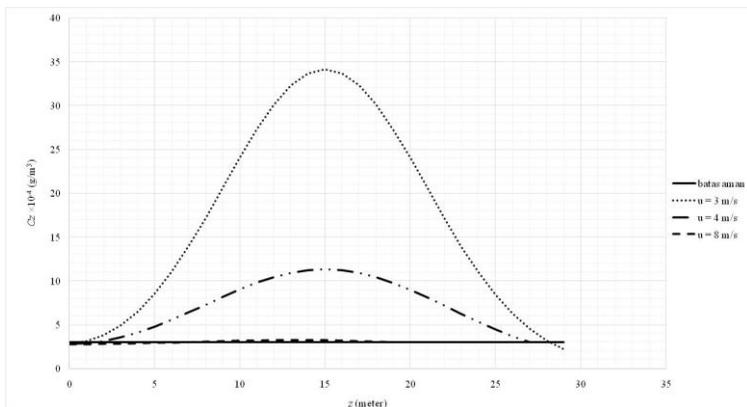
Pada kecepatan angin 3 m/s, konsentrasi SO<sub>2</sub> mencapai batas aman pada jarak 193 meter. Pada kecepatan angin 4 m/s, konsentrasi SO<sub>2</sub> mencapai batas aman pada jarak 259 meter. Sedangkan untuk kecepatan angin 8 m/s, konsentrasinya mencapai batas aman pada jarak 511 meter.

Persebaran *puff model* lebih lama untuk tersebar. Hal ini karena *puff* dikeluarkan dari sumber yang tidak kontinyu sehingga membutuhkan jarak tertentu untuk tersebar. Misalnya untuk kecepatan angin 4 m/s, pada jarak hingga hampir 200 m, persebaran *puff model* masih sangat kecil (hingga dianggap nol). Hingga pada jarak 200 m ke atas, konsentrasi SO<sub>2</sub> mulai meningkat dan mencapai titik maksimumnya. Konsentrasi maksimum dapat ditentukan dari persamaan II-24, dimana konsentrasi mencapai maksimum ketika  $x = ut$ . Hal ini ditunjukkan pada grafik ketika jarak 240 m (dimana  $ut = 240$  m).



Gambar IV.15. Grafik konsentrasi *puff* terhadap jarak pada *crosswind direction* (sumbu y) tanpa *building downwash effect*

Pada grafik di gambar IV.15, dapat dilihat bahwa semenjak saat jarak 0 meter dari pusat kebocoran (ke arah *crosswind*), konsentrasi gas SO<sub>2</sub> sudah berada di bawah batas untuk tiap variabel kecepatan angin. Grafik terus menunjukkan kondisi aman hingga jarak berapapun (ke arah *crosswind*) dari pusat kebocoran. Grafik di atas menunjukkan bahwa kecepatan udara mempengaruhi besarnya konsentrasi gas SO<sub>2</sub>. Semakin besar kecepatan udaranya, konsentrasi gas akan lebih cepat menipis.



Gambar IV.16. Grafik konsentrasi *puff* terhadap jarak pada *vertical direction* (sumbu *z*) tanpa *building downwash effect*

Grafik pada gambar IV.16 menunjukkan bahwa konsentrasi gas SO<sub>2</sub> mencapai pada kecepatan angin 3 m/s memiliki titik maksimum yang lebih besar daripada konsentrasi pada kecepatan 4 m/s dan 8 m/s. Akan tetapi, pada kecepatan 3 m/s, untuk mencapai batas aman memerlukan jarak sepanjang 29 meter, lebih jauh dari kedua variabel yang lain. Pada kecepatan 4 m/s membutuhkan jarak 27 meter dan

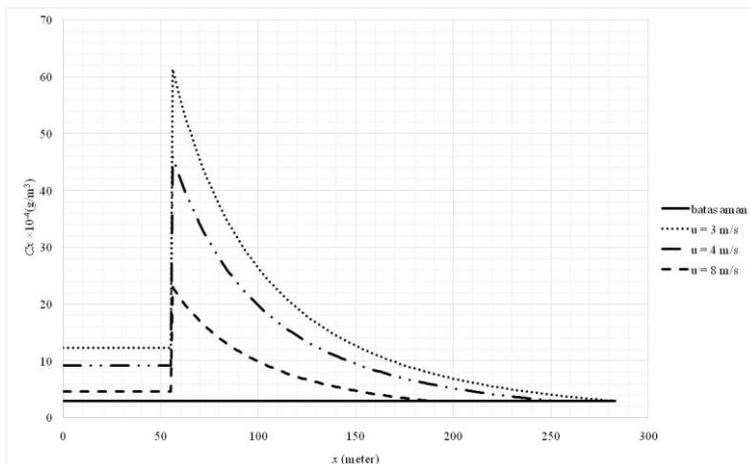
pada kecepatan 8 m/s membutuhkan jarak 19 meter untuk mencapai konsentrasi batas amannya.

#### IV.3.4. *Puff Model Dengan Building Downwash Effect*

Sedangkan berikut ini adalah hasil simulasi dengan data masukan tersebut sebelumnya di atas untuk *puff model* dengan adanya *building downwash effect*, dengan variabel kecepatan angin 3 m/s, 4 m/s, dan 8 m/s. Data – data tersebut dimasukkan ke dalam simulasi seperti pada gambar IV.17 berikut ini.

Input Panel		Building Downwash Effect	
Atmospher Condition Night, Overcast	Wind Velocity, m/s 4	<input checked="" type="checkbox"/> Building Downwash Effect	
Selection Area Urban Area	Stability Class D	Building Height, m 50	Alongwind building dimension, m 30
Height, m 15	Time, second 60	Alongwind distance from source to building, m 20	Crosswind building dimension, m 30
Emission rate gas, g/s 80	Maximum Allowable Concentration (Cmax), g/m3 0.0003		

Gambar IV.17. Contoh *input data* untuk *puff model* dengan *building downwash effect* pada kecepatan angin 4 m/s



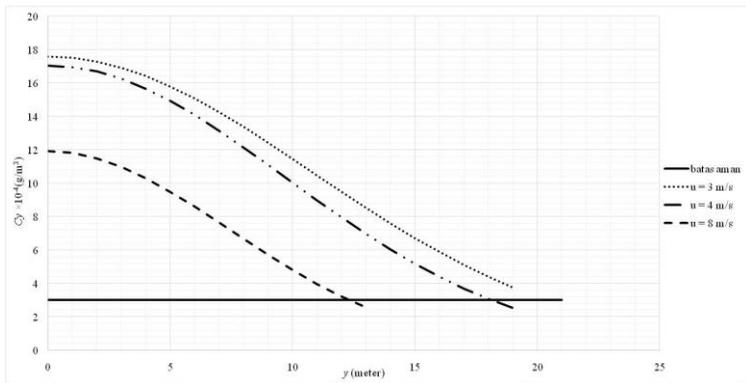
Gambar IV.18. Grafik konsentrasi *puff* terhadap jarak pada *downwind direction* (sumbu *x*) dengan *building downwash effect*

Pada gambar IV.18, dari grafik konsentrasi  $\text{SO}_2$  terhadap jarak *downwind*, diperoleh jarak konsentrasi  $\text{SO}_2$  mencapai batas aman yang berbeda-beda tiap kecepatan angin. Pada kecepatan angin 3 m/s, konsentrasi  $\text{SO}_2$  mencapai batas aman pada jarak 283 meter. Pada kecepatan angin 4 m/s, konsentrasi  $\text{SO}_2$  mencapai batas aman pada jarak 252 meter. Sedangkan untuk kecepatan angin 8 m/s, konsentrasinya mencapai batas aman pada jarak 188 meter.

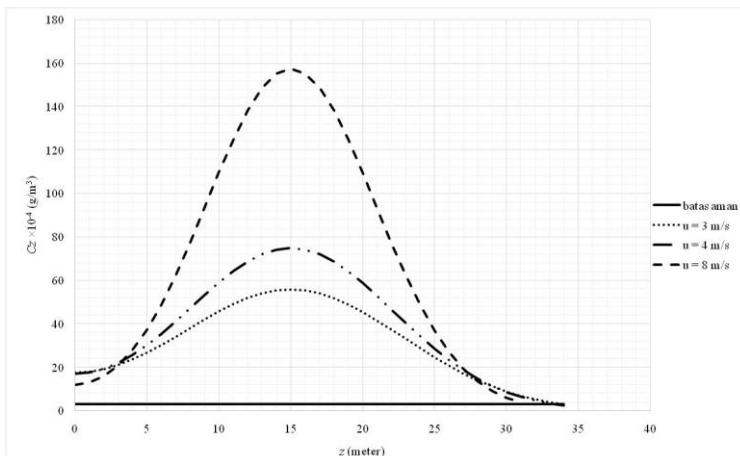
Menurut Crowl (2011), ketika kecepatan angin meningkat, maka partikel-partikel gas yang terbawa oleh angin akan terlarut dengan cepat oleh angin sehingga konsentrasi gasnya juga cepat menipis. Sebaliknya, semakin lambat kecepatan anginnya, maka gas yang terbawa oleh angin akan lama terlarut sehingga untuk mencapai konsentrasi batas

amannya akan membutuhkan jarak yang lebih panjang dibandingkan dengan kecepatan angin yang lebih tinggi.

Konsentrasi gas yang sebelumnya mengalami penurunan, kemudian mengalami kenaikan kembali sebelum akhirnya menurun kembali. Konsentrasi  $\text{SO}_2$  meningkat seperti pada *plume model* dengan *building downwash effect* di mana konsentrasi pada daerah *far-wake* lebih besar daripada konsentrasi di daerah permukaan bangunan.



Gambar IV.19. Grafik konsentrasi *puff* terhadap jarak pada *crosswind direction* (sumbu  $y$ ) dengan *building downwash effect*



Gambar IV.20. Grafik konsentrasi *puff* terhadap jarak pada *vertical direction* (sumbu *z*) dengan *building downwash effect*

Pada gambar IV.19 terlihat bahwa jarak untuk konsentrasi  $\text{SO}_2$  mencapai batas aman semakin besar berbanding terbalik dengan besar kecepatan anginnya. Terlihat bahwa pada kecepatan angin 3 m/s, jarak yang dibutuhkan lebih panjang daripada kecepatan 4 m/s dan 8 m/s.

Grafik pada gambar IV.20 menunjukkan bahwa konsentrasi gas  $\text{SO}_2$  mencapai pada kecepatan angin 3 m/s memiliki titik maksimum yang lebih besar daripada konsentrasi pada kecepatan 4 m/s dan 8 m/s. Akan tetapi, pada kecepatan 3 m/s, untuk mencapai batas aman memerlukan jarak sepanjang 34 meter, lebih jauh dari kedua variabel yang lain. Pada kecepatan 4 m/s membutuhkan jarak 33 meter dan pada kecepatan 8 m/s membutuhkan jarak 32 meter untuk mencapai batas amannya.

# BAB V

## KESIMPULAN DAN SARAN

### V.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan simulasi ini, persebaran konsentrasi gas dapat diprediksi dengan cepat sehinggaantisipasi jika ada bahaya kebocoran bisa cepat dilakukan.
2. *Plume model* dan *puff model* memiliki persebaran gas yang berbeda. Pada persebaran tanpa *building downwash effect*, konsentrasi *plume model* maksimum pada jarak yang lebih dekat dibandingkan dengan *puff model*.
3. Pada *plume model*, semakin besar kecepatan angin, jarak searah *downwind* yang dibutuhkan untuk mencapai batas aman akan semakin panjang. Sedangkan pada *puff model*, semakin besar kecepatan angin, jarak searah *downwind* yang dibutuhkan untuk mencapai batas aman akan semakin pendek.
4. Dengan adanya simulasi dengan *software* NI LabVIEW ini, selain konsentrasi gas dapat diprediksi dengan cepat, penggunaannya juga mudah (*user friendly*).

### V.2. Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian yang telah dilakukan ini, sebagai berikut:

1. Persebaran konsentras gas akan terlihat lebih baik dan menarik dengan grafik tiga dimensi (3D) dan empat dimensi (4D).

2. Pada alat-alat industri kimia, perlu ditambahkan alat bantu berupa sensor deteksi gas yang dihubungkan dengan program ini di NI LabVIEW untuk memudahkan pekerja di industri kimia dalam memprediksi persebaran konsentrasi gas dan antisipasi bahaya yang terjadi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bo, Xu; Li Yan; Gong Peng; He Ning. 2008. *GIS-Based Toxic-Gas-Vessel Leakage, Dispersion and Simulations*. Vol. XXXVII Part B4. Beijing: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
- Cheng, H. and Liu D. 2010. *3D CFD Simulation of Manufactured Gas Pipeline Leakage and Dispersion in Urban Areas*. 978-1-935968-37-2. Fushun: The Second China Energy Scientist Forum.
- Crowl, D. A. and Joseph F. L. 2011. *Chemical Process Safety, Fundamentals with Applications 3<sup>rd</sup> edition*. Boston: Pearson Education, Inc.
- Departement of Health, Administrator. 2000. *Nitrogen Dioxide Hazardous Substance Fact Sheet*. New Jersey: New Jersey Departement of Health.
- Departement of Health, Administrator. 1989. *Sulphur Dioxide Hazardous Substance Fact Sheet*. New Jersey: New Jersey Departement of Health.
- EPCONSULT, Administrator. 2005. *Process Hazard Analysis*. <http://www.epconsult.com>. Diakses pada Senin, 26 Januari 2015, pukul 09.00 WIB.
- Gifford, F.A. 1961. *Use of Routine Meteorological Observations for Estimating Atmospheric Dispersion*. 2(4): 47.
- Gozan, M. 2010. *K3 dalam Industri Kimia*. <http://www.staff.ui.ac.id>. Diakses pada hari Minggu, tanggal 25 Januari 2015 pukul 09.37 WIB.
- Harjanto, N.T; Suliyanto; Endang S.I. 2011. *Manajemen Bahan Kimia Berbahaya dan Beracun Sebagai Upaya*

*Keselamatan dan Kesehatan Kerja serta Perlindungan Lingkungan*. No. 08/ Tahun IV. Jakarta: Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir BATAN.

National Instrument, Administrator. 2011. *Visualizing Data with the LabVIEW Math Plots*. <http://www.ni.com/white-paper/9388/en/>. Diakses pada hari Senin, tanggal 26 Januari 2015 pukul 19.26 WIB.

Novianti, N. and Edwin S. 2008. *Kebocoran Gas di Bhopal, 3000 Warga Tewas*. <http://dunia.news.viva.co.id>. Diakses pada hari Minggu, tanggal 25 Januari 2015 pukul 11.56 WIB.

OSHA, U.S. Departement of Labor Administrator. 2015. *Sulphur Dioxide FactSheets*. <http://www.osha.gov>. Diakses pada Sabtu, 24 Januari 2015, pukul 18.30 WIB.

Sampoerna, E.P. 2012. *Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada Industri Kimia*. <http://www.wbcscement.org>. Diakses pada hari Minggu, tanggal 25 Januari 2015 pukul 10.54 WIB.

Scire, J.S.; David G.S.; and Robert J.Y. 2000. *A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model Version 5*. Germany: Earth Tech, Inc, Concord, MA.

Sculman, L.L.; David G.S.; and Joseph S.S. 1982. *Development and Evaluation of the PRIME Plume Rise and Building Downwash Model*. Germany: Earth Tech, Inc. Concord, MA.

Summers, A.E. 2002. *Introduction To Layer of Protection Analysis*. Texas: SIS-TECH Solutions, Inc.

Supriyono. 2010. *Aplikasi Komputer Untuk Visualisasi Pola Sebaran Konsentrasi Gas Dari Sumber Titik Instan Dalam Fluida Diam dan Medium Anisotrop*. JFN Vol. 4 No. 1. Jakarta: BATAN.

Turner, D.B. 1970. *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates*. North Carolina: Environmental Protection Agency.

Weiner, R.F. and Robin A.M. 2003. *Environmental Engineering Fourth Edition*. New York: Butterworth Heinemann.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

**APPENDIKS A**  
**PERMODELAN MATEMATIS UNTUK MODEL**  
***PLUME* DAN *PUFF***

**A.1. Penurunan Persamaan Konsentrasi Untuk Model *Plume***

Kasus kedua dari model *plume* dengan sumber yang kontinyu dan *steady-state* pada ketinggian  $H_r$  di atas permukaan tanah dan gerakan angin pada arah  $x$  dan kecepatan  $u$  konstan memiliki persamaan II-20.

$$\begin{aligned} \langle C \rangle(x, y, z) &= \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \\ &\quad \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \end{aligned} \quad (\text{II-20})$$

Penurunan untuk mencari konsentrasi pada jarak  $y$  pada  $x$  tertentu dengan asumsi  $z = 0$ , maka dari persamaan II-20 diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \langle C \rangle(x, y, 0) &= \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \\ &\quad \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{0+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{0-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \\ \langle C \rangle(x, y, 0) &= \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \\ &\quad \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \\ \langle C \rangle(x, y, 0) &= \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ 2 \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \end{aligned} \quad (\text{A-1})$$

Sedangkan dari persamaan II-22, diperoleh model matematis konsentrasi pada arah jarak  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  dengan

menurunkan persamaan tersebut. Untuk konsentrasi pada jarak  $x$ , dimana dengan asumsi  $y = 0$  dan  $z = 0$ , sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \langle C \rangle(x, 0, 0) &= \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{0}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \\
 &\quad \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{0+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{0-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \\
 \langle C \rangle(x, 0, 0) &= \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot 1 \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \\
 \langle C \rangle(x, 0, 0) &= \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot \left\{ 2 \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \\
 \langle C \rangle(x, 0, 0) &= \frac{Q_m}{\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}
 \end{aligned} \tag{A-2}$$

Penurunan untuk mencari konsentrasi pada jarak  $z$  pada  $x$  tertentu dengan asumsi  $y = 0$ , maka dari persamaan II-20 diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \langle C \rangle(x, 0, z) &= \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{0}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \\
 &\quad \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \\
 \langle C \rangle(x, 0, z) &= \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot 1 \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \\
 \langle C \rangle(x, 0, z) &= \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}
 \end{aligned} \tag{A-3}$$

## A.2. Penurunan Persaman Konsentrasi Untuk Model *Puff*

Model *puff* dengan sumber yang mendadak pada ketinggian  $H_r$  di atas permukaan tanah dan gerakan angin pada arah  $x$  dan kecepatan  $u$  konstan memiliki persamaan II-22.

$$\begin{aligned}
 \langle C \rangle(x, y, z, t) &= \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z} \times \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-ut}{\sigma_x}\right)^2\right] \times \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \\
 &\quad \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}
 \end{aligned} \tag{II-22}$$

Untuk mendapatkan persamaan konsentrasi pada jarak  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ , maka dilakukan penurunan persamaan matematis II-24. Sedangkan untuk mendapatkan persamaan konsentrasi *puff model* pada jarak  $y$  pada  $x$  tertentu ( $z = 0$ ), maka persamaan II-24 diubah menjadi:

$$\begin{aligned} \langle C \rangle(x, y, 0, t) &= \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 \right] \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \times \\ &\quad \left\{ \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{0-H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{0+H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \\ \langle C \rangle(x, y, 0, t) &= \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 \right] \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \times \\ &\quad \left\{ \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{-H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \\ \langle C \rangle(x, y, 0, t) &= \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 \right] \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \\ &\quad \times \left\{ 2 \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \end{aligned} \quad (A-4)$$

Sedangkan konsentrasi pada jarak  $x$  dimana  $y = 0$  dan  $z = 0$ , maka persamaan II-22 menjadi:

$$\begin{aligned} \langle C \rangle(x, 0, 0, t) &= \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 \right] \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{0}{\sigma_y} \right)^2 \right] \times \\ &\quad \left\{ \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{0-H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{0+H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \\ \langle C \rangle(x, 0, 0, t) &= \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 \right] \cdot \left\{ \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{-H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \right. \\ &\quad \left. \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \\ \langle C \rangle(x, 0, 0, t) &= \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 \right] \cdot \left\{ 2 \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \end{aligned} \quad (A-5)$$

Penurunan untuk mencari konsentrasi *puff model* pada jarak  $z$  pada  $x$  tertentu dengan asumsi  $y = 0$ , maka dari persamaan II-22 diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \langle C \rangle(x, 0, z, t) &= \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 \right] \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{0}{\sigma_y} \right)^2 \right] \times \\ &\quad \left\{ \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{z-H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{z+H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \\ \langle C \rangle(x, 0, z, t) &= \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 \right] \cdot \left\{ \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{z-H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right. \\ &\quad \left. + \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{z+H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \end{aligned} \quad (\text{A-6})$$

### A.3. Perhitungan Analitis Untuk Jarak Konsentrasi Maksimum pada *Plume Model Tanpa Building Downwash Effect*

Persebaran *plume model* tanpa *building downwash effect* salah satunya dilakukan terhadap jarak dengan arah *downwind* (searah dengan arah angin). Pada simulasi tersebut memiliki hasil bahwa konsentrasi maksimum diperoleh pada jarak  $x$  tertentu dari pusat kebocoran. Dari persamaan A-1, dapat dilakukan perhitungan analitis untuk mencari jarak  $x$  pada saat konsentrasi maksimum. Persamaan konsentrasi saat arah *downwind* (persamaan A-1) sebagai berikut:

$$\langle C \rangle(x, 0, 0) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \cdot \left\{ \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad (\text{A-1})$$

dimana, dari persamaan A-1 dapat dimisalkan  $g(x) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u}$ ,  $h(x) = -\frac{1}{2} \left( \frac{H_r}{\sigma_z} \right)^2$  maka persamaan di atas menjadi,

$$\langle C \rangle(x, 0, 0) = g(x) \cdot \{ \exp[h(x)] \}$$

Bila  $\frac{dC}{dx} = C' = 0$ , maka penurunan diferensial persamaan di atas adalah,

$$\langle C' \rangle(x, 0, 0) = 0$$

$$g'(x) \cdot h'(x) \cdot \{\exp[h(x)]\} = 0$$

$$\{\exp[h(x)]\} = 0$$

$$\{\exp[h(x)]\} = \exp(1)$$

$$h(x) = -\frac{1}{2} \left( \frac{H_r}{\sigma_z} \right)^2 = 1$$

$$\frac{H_r}{\sigma_z} = \sqrt{-2}$$

Karena  $\sqrt{-2}$  adalah bilangan imajiner dan koefisien dispersi memberikan angka yang positif maka (-2) diabsolutkan menjadi bilangan positif yaitu  $\sqrt{|-2|} = \sqrt{2}$ , sehingga menjadi,

$$\frac{H_r}{\sigma_z} = \sqrt{2}$$

$$\sigma_z = \frac{H_r}{\sqrt{2}}$$

(A-7)

Persamaan A-7 yang diperoleh menunjukkan bahwa koefisien dispersi merupakan fungsi dari ketinggian sumber. Dengan kasus yang dicobakan pada penelitian ini dimana ketinggian sumber ( $H_r$ ) setinggi 15 meter, kecepatan angin 4 m/s dengan kondisi *night overcast* di *urban area* maka diperoleh,

$$\sigma_z = \frac{15}{\sqrt{2}} = 10,607 \text{ m}$$

Kelas *atmospheric stability* pada *night overcast* dan kecepatan angin 4 m/s adalah kelas D. Maka persamaan koefisien dispersi  $\sigma_z$  pada urban area adalah,

$$\sigma_z = 0,14x (1 + 0,0003x)^{-1/2} \quad (\text{A-8})$$

Apabila persamaan A-8 dimasukkan ke dalam hasil  $\sigma_z$  maka,

$$10,607 = 0,14x (1 + 0,0003x)^{-1/2}$$

$$x = 76,6 \text{ meter} \approx 77 \text{ meter}$$

Maka ketika kasus di atas dicobakan ke dalam simulasi, maka diperoleh pada jarak 77 meter konsentrasi SO<sub>2</sub> mencapai titik maksimumnya.

#### A.4. Perhitungan Analitis Untuk Jarak Konsentrasi Maksimum pada *Puff Model Tanpa Building Downwash Effect*

Persebaran *puff model* tanpa *building downwash effect* salah satunya dilakukan terhadap jarak dengan arah *downwind* (searah dengan arah angin). Pada simulasi tersebut memiliki hasil bahwa konsentrasi maksimum diperoleh pada jarak  $x$  tertentu dari pusat kebocoran. Dari persamaan A-4, dapat dilakukan perhitungan analitis untuk mencari jarak  $x$  pada saat konsentrasi maksimum.

$$\langle C \rangle(x, 0, 0, t) = \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 \right] \cdot \left\{ 2 \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad (\text{A-4})$$

Dari persamaan A-4, bila dimisalkan  $g(x) = \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z}$ ,

$h(x) = -\frac{1}{2} \left( \frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2$ , dan  $j(x) = -\frac{1}{2} \left( \frac{H_r}{\sigma_z} \right)^2$ . Sehingga persamaan A-4 menjadi,

$$\langle C \rangle(x, 0, 0, t) = g(x) \cdot \exp[h(x)] \cdot \{2 \cdot \exp[j(x)]\}$$

*Puff model* selain fungsi jarak juga merupakan fungsi waktu.  $h(x)$  merupakan fungsi waktu dan jarak. Konsentrasi maksimum diperoleh bila  $\exp(h(x)) = 1$  maka,

$$\exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 \right] = 1$$

$$-\frac{1}{2} \left( \frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 = 0$$

$$x = ut \quad (A-9)$$

Maka pada kasus yang dicobakan, ketika kecepatan udara 4 m/s dan waktu persebaran *puff* 60 detik maka diperoleh,

$$x = u \cdot t$$

$$x = 4 \cdot 60 = 240 \text{ m}$$

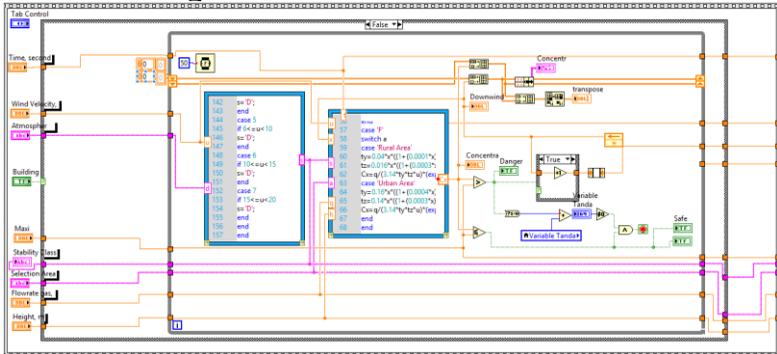
Maka ketika kasus di atas dicobakan ke dalam simulasi, maka diperoleh pada jarak 240 meter konsentrasi SO<sub>2</sub> mencapai titik maksimumnya.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

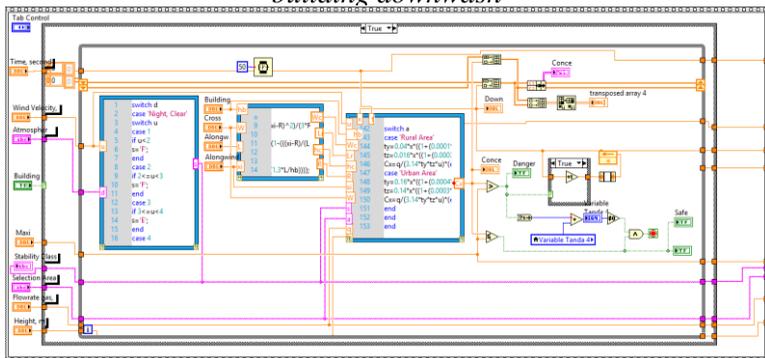
# APPENDIKS B

## BLOK DIAGRAM PROGRAM LABVIEW 2013 DAN LABVIEW MATHSCRIPT

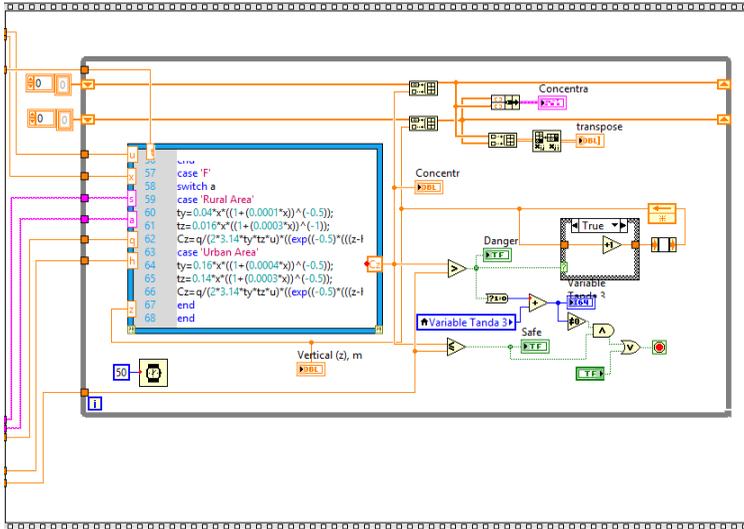
### B.1. Blok Diagram Program LabVIEW 2013 Untuk Perhitungan Konsentrasi *Plume Model*



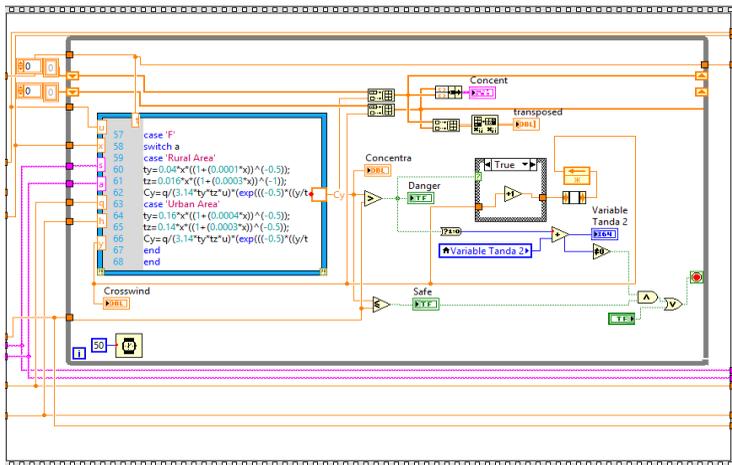
Gambar B.1. Blok diagram program LabVIEW 2013 untuk perhitungan konsentrasi *Plume Model* pada jarak  $x$  tanpa efek *building downwash*



Gambar B.2. Blok diagram program LabVIEW 2013 untuk perhitungan konsentrasi *Plume Model* pada jarak  $x$  dengan efek *building downwash*

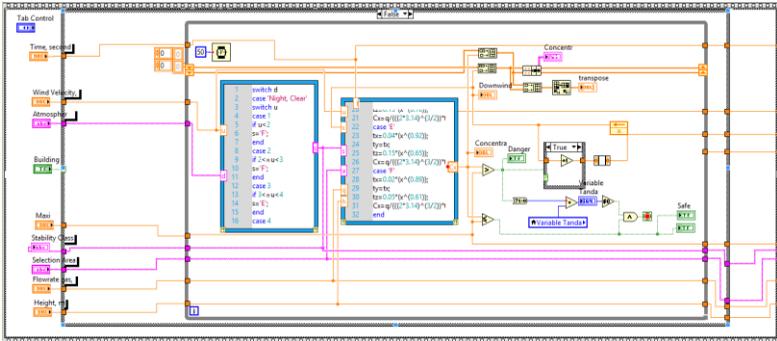


Gambar B.3. Blok diagram program LabVIEW 2013 untuk perhitungan konsentrasi *Plume Model* pada jarak  $y$

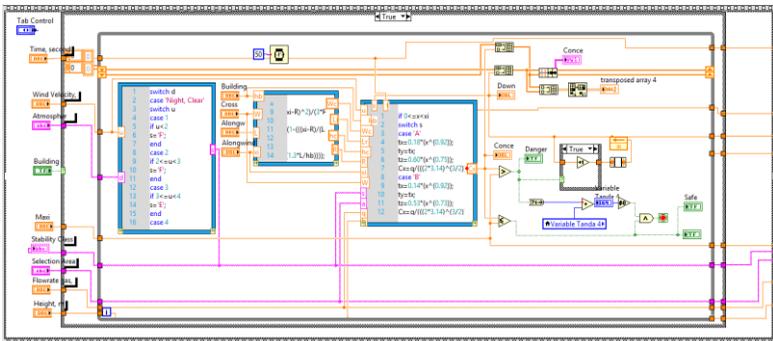


Gambar B.4. Blok diagram program LabVIEW 2013 untuk perhitungan konsentrasi *Plume Model* pada jarak  $z$

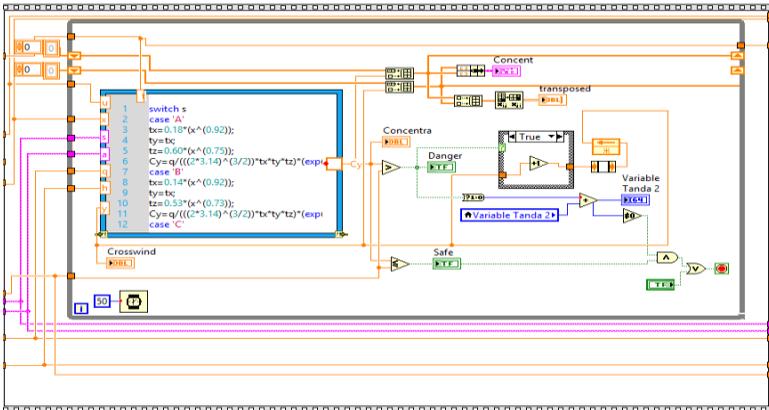
## B.2. Blok Diagram Program LabVIEW 2013 Untuk Perhitungan Konsentrasi *Puff Model*



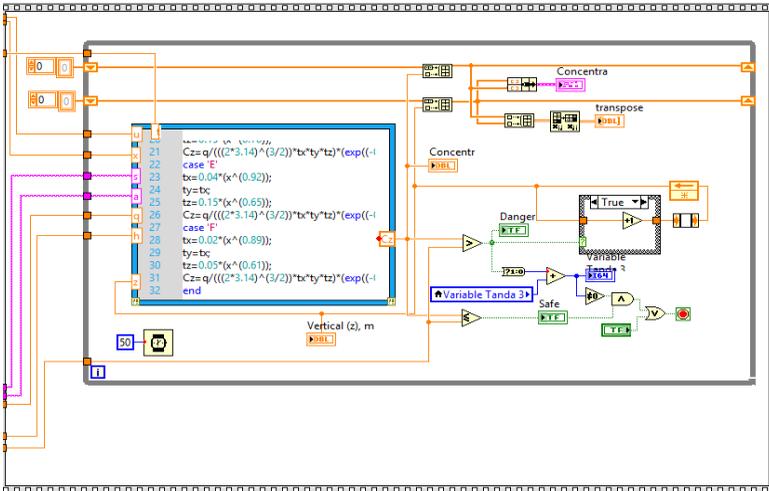
Gambar B.5. Blok diagram program LabVIEW 2013 untuk perhitungan konsentrasi *Puff Model* pada jarak  $x$  tanpa efek *building downwash*



Gambar B.6. Blok diagram program LabVIEW 2013 untuk perhitungan konsentrasi *Puff Model* pada jarak  $x$  dengan efek *building downwash*



Gambar B.7. Blok diagram program LabVIEW 2013 untuk perhitungan konsentrasi *Puff Model* pada jarak  $y$



Gambar B.8. Blok diagram program LabVIEW 2013 untuk perhitungan konsentrasi *Puff Model* pada jarak  $z$

# DAFTAR RIWAYAT HIDUP

## Penulis 1



Rasdiana Rahma Nur, merupakan anak pertaman dari dua bersaudara, lahir di Ambon, 22 Oktober 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal di MI Islamiyah 03 Madiun, SMP Negeri 1 Madiun, dan SMA Negeri 2 Madiun. Pada tahun 2011, setelah lulus dari jenjang SMA, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Kimia, FTI – ITS melalui jalur SNMPTN tertulis.

Selama duduk di bangku kuliah, penulis pernah menjabat menjadi Staf Departemen Sosial Masyarakat BEM FTI-ITS periode 2012/2013. Selanjutnya periode 2013/2014 menjabat sebagai Kepala Biro Pengabdian Masyarakat Departemen Sosial Masyarakat BEM FTI-ITS. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT Semen Indonesia, Pabrik Tuban, Biro Pengendalian Proses dengan judul tugas khusus “Neraca Massa dan Energi Proses Produksi Semen”.

**Email:** [rasdiana.rahma@gmail.com](mailto:rasdiana.rahma@gmail.com)

## Penulis 2



Firda Dwi Hartanti, merupakan anak kedua dari empat bersaudara, lahir di Tuban, 27 Maret 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Kutorejo 1 Tuban, SMP Negeri 1 Tuban, dan SMA Negeri 1 Tuban. Pada tahun 2011, setelah lulus dari jenjang SMA, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Kimia, FTI – ITS melalui jalur SNMPTN tertulis.

Selama duduk di bangku kuliah, penulis pernah menjabat menjadi *Secretary of Chemical Engineering English Club* (CEEC) selama dua periode, 2012/2013 dan 2013/2014, *Head of Chemical Engineering Scientific Community* (PACIFIC) 2013/2014, dan hingga buku ini diselesaikan, penulis tercatat sebagai *Manager of IT Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses*. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT Semen Indonesia, Pabrik Tuban, Biro Pengendalian Proses dengan judul tugas khusus “Neraca Massa dan Energi Proses Produksi Semen”.

**Email:** [hartanti.firda@gmail.com](mailto:hartanti.firda@gmail.com)