



TUGAS AKHIR - RE 141581

**STUDI DISPERSI EMISI KARBON MONOKSIDA OLEH
PESAWAT KOMERSIL DARI SUMBER GARIS (*LINE
SOURCE*) DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL
JUANDA**

**GIBRAN MUHAMMAD FAWWAZ
3313 100 062**

**Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM.
19820119 200501 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - RE 141581

**DISPERSION STUDY OF CARBON MONOXIDE EMISSION
BY COMMERCIAL AVIATION FROM LINE SOURCE IN
INTERNATIONAL AIRPORT JUANDA**

**GIBRAN MUHAMMAD FAWWAZ
3313 100 062**

**Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM.
19820119 200501 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI DISPERSI EMISI KARBON MONOKSIDA OLEH PESAWAT KOMERSIL DARI SUMBER GARIS (LINE SOURCE) DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL JUANDA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

GIBRAN MUHAMMAD FAWWAZ

NRP: 3313100062

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Ir. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM

NIP: 19820804 200501 1 001



STUDI DISPERSI EMISI KARBON MONOKSIDA OLEH PESAWAT KOMERSIL DARI SUMBER GARIS (LINE SOURCE) DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL JUANDA

Nama Mahasiswa : Gibran Muhammad Fawwaz
NRP : 3313100062
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST.,
MEPM.

ABSTRAK

Bandar Udara Internasional Juanda merupakan salah satu bandar udara terbesar yang berada di Propinsi Jawa Timur, dengan jumlah penerbangan sebanyak 137.051 penerbangan selama tahun 2015. Semakin banyaknya penerbangan yang beroperasi akan berbanding lurus dengan polusi yang dihasilkan oleh mesin jet pesawat terbang. Dalam suatu penelitian didapatkan bahwa emisi yang dihasilkan dari hasil pembuangan mesin jet pesawat terbang dapat merusak lapisan ozon lebih parah dari pada CFC. Salah satu gas emisi dari pesawat adalah gas Karbon monoksida (CO). Gas karbon monoksida dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia bahkan juga dapat menyebabkan kematian. Oleh karena itu diperlukan metode untuk menghitung konsentrasi polutan dan persebarannya di lingkungan. Permodelan secara matematis dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi polutan dan memprediksikan persebarannya. Setelah diketahui besaran polutan selanjutnya melakukan pengendalian persebarannya agar tidak mengakibatkan dampak buruk bagi makhluk hidup ataupun lingkungan.

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan dengan menggunakan model *Gaussian Plume* untuk memprediksi persebaran konsentrasi CO yang dihasilkan dari pembakar mesin pesawat terbang yang beroperasi di Bandar Udara Internasional Juanda. Perhitungan model didasarkan pada jumlah dan jenis pesawat yang beroperasi (*take-off dan landing*) pada terminal 1 dan terminal 2. Pelaksanaan penelitian akan dilakukan pada waktu hari kerja dan hari libur serta dengan berbagai macam

kondisi atmosfer tertentu untuk memprediksi sebaran polutan yang dapat terjadi.

Dari hasil model *Gaussian Plume* didapatkan konsentrasi persebaran emisi karbon monoksida di berbagai titik. Dispersi emisi terbesar adalah $635,751 \mu\text{g}/\text{m}^3$.jam pada jarak 4,425 km dari sumber emisi. Walaupun masih dalam kategori baik, untuk mencegah terjadinya lonjakan emisi CO yang semakin besar di suatu hari nanti perlu adanya *monitoring* dan pengendalian emisi ambien yaitu dengan menggunakan Ruang Terbuka Hijau (RTH). RTH berfungsi sebagai pereduksi konsentrasi gas CO secara alami. Tumbuhan yang digunakan pada RTH adalah tumbuhan puring (*Codiaeum variegatum*) dengan jumlah sebanyak 27.622 buah dengan luasan $7805,977 \text{ m}^2$. Dengan menggunakan rumus *gaussian plume model* didapatkan performa konsentrasi persebaran CO 35% tentu saja ada banyak faktor yang menyebabkan angka tersebut relatif tidak stabil.

Kata Kunci : Airport, Dispersi emisi, Model *gaussian plume*, Dispersi CO, RTH.

DISPERSION STUDY OF CARBON MONOXIDE EMISSION BY COMMERCIAL AVIATION FROM LINE SOURCE IN INTERNATIONAL AIRPORT JUANDA

Name : Gibran Muhammad Fawwaz
NRP : 3313100062
Supervisor : Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM.

ABSTRACT

Juanda International Airport is one of the biggest airports in east Java, Indonesia with 137.051 flights in 2015. Each time the numbers of flight increase, it also increase the numbers of air pollution generated. In some research claim that emission from aircraft engine can damage ozone layers worse than CFC can do. One of gasses that emit from airplane's emission is Carbon Monoxide (CO). Carbon monoxide in high concentration may cause a harm to human health, it can also cause death. Therefore we need a method to calculate the concentration of CO in the air and its dispersion. A mathematics model can be used to determine and predict the concentration of pollutant. Afterward we can control from its dispersion, to make sure it didn't cause damage to living being or environment.

In this research, we conduct a calculation with gaussian plume model as basic formula to predict concentration of CO's Dispersion which emitted by aircraft especially aircraft that operated in international airport Juanda. The calculation itself based on the sum of aircraft and the types that operated (landing/take-off) in terminal 1 and terminal 2. The research took time in work day and in holiday with multiple atmospheric condition as comparison to predict as many dispersion may occur.

In the result, we get the concentration of CO in multiple point. The biggest emission may occur is $635,751 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{hour}$ at 4,425 Km from the source. Even though the value still in good category, we have to prevent it from any factor that can increase the value. One of the way is monitoring and controlling the emission with Green Openspace. The Green Openspace can reduce the concentration of CO naturally. The plant that we use in

green open space is *Codiaeum variegatum*, with total 27.622 in number and at least 7805,977 m² area that will used. Using gaussian plume model as formula we can get the concentration of CO with performace up tp 35%, also this number may change depent on many factors

Key Word : Airport, Emission dispersion, Gaussian plume model, Carbon Monoxide dispersion, Green Openspace.

KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur kehadirat Allah atas limpahan rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “Studi Dispersi Emisi Karbon Monoksida oleh Pesawat Komersil dari Sumber Garis (*Line Source*) di Bandar Udara Internasional Juanda” dengan lancar dan tepat waktu. Tugas akhir ini dibuat dalam rangka memenuhi persyaratan kelulusan serta mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada program studi S-1 Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam segala proses pembuatan laporan tugas akhir penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Dr. Eng. Arie Dipareza Syafe'i S.T. M.E.P.M selaku dosen pembimbing atas segala ilmu dan bimbingan yang diberikan.
2. Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T., Ir. Hari Wiko Indarjanto M.Eng., Arseto Yekti Bagastyo S.T., M.T., M.Phil, PhD. selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan, kritik dan sarannya.
3. Kepada orang tua yang telah memberikan dukungan selama ini, adik saya yang telah membantu.
4. Teman-teman kuil udara, teman-teman 2013 dan segala pihak yang telah memberikan bantuan dan motivasi selama pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas segala kekurangan yang ada pada tugas akhir ini. Kritik dan saran dari berbagai pihak sangat penulis harapkan.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karakteristik Pencemar	5
2.1.1 Karakteristik Fisik Dan Kimia.....	5
2.1.2 Sumber Dan Distribusi.....	6
2.1.3 Karakteristik <i>Plume</i> (Asap)	6
2.1.3 Dampak	6
2.1.4 Baku Mutu.....	7
2.2 Perhitungan Emisi Karbon Monoksida (CO)	8
2.3 Emisi Pesawat Terbang Komersial	9
2.4 Faktor Emisi.....	10
2.5 Pemodelan <i>Gaussian Plume</i>	13
2.6 Faktor yang Mempengaruhi Dispersi Udara.....	15
2.6.1 Pergerakan Udara	15
2.6.2 Temperatur	15
2.6.3 Tekanan Udara	15
2.6.4 Arah Dan Kecepatan Angin	15
2.6.5 <i>Plume Rise</i>	17
2.6.6 Stabilitas Atmosfer.....	21
2.7 Ruang Terbuka Hijau dalam Pengendalian Pencemaran Udara	22
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Tahap – Tahap Penelitian	26

3.2	Alat dan Bahan	30
3.3	Persiapan Penelitian.....	30
3.4	Pelaksanaan Penelitian	30
3.4.1	Pengumpulan Data	30
3.4.2	Analisis Data Sekunder	31
3.5	Penggunaan Model.....	31
3.6	Validasi Hasil Perhitungan.....	37
3.7	Pembuatan Kontur Dispersi.....	39
3.8	Penentuan Ruang Terbuka Hijau (RTH)	40
3.9	Analisis Hasil dan Pembahasan	40
BAB 4 PEMBAHASAN.....		41
4.1	Karakteristik Sumber emisi.....	41
4.2	Emisi CO.....	43
4.3	Arah Angin dan Kecepatan Angin	44
4.4	Titik Reseptor.....	45
4.5	Parameter dispersi.....	49
4.6	<i>Plume rise</i>	49
4.7	Konsentrasi di reseptor.....	52
4.8	Kontur dispersi.....	54
4.9	Validasi Hasil	73
4.10	Strategi Reduksi Dampak Emisi	75
4.10.1	Lokasi Konsentrasi Maksimum	75
4.10.2	Ruang Terbuka Hijau	76
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		80
5.1	Kesimpulan	81
5.2	Saran	81
DAFTAR PUSTAKA.....		83
LAMPIRAN		83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Siklus terbang standar pesawat	9
Gambar 2. 2 Persebaran Polutan dari Sumber	14
Gambar 2. 3 <i>Wind rose</i>	16
Gambar 3.1 Lokasi Kawasan Bandar Udara Internasional Juanda	25
Gambar 3. 2 Lokasi Titik Sampling	39
Gambar 4. 1 Arah gas buang arah horizontal	43
Gambar 4. 2 <i>Wind rose</i>	45
Gambar 4. 3 Titik Reseptor	457
Gambar 4. 4 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 1a	45
Gambar 4. 5 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 1b	45
Gambar 4. 6 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 1c	45
Gambar 4. 7 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 2a	62
Gambar 4. 8 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 2b	62
Gambar 4. 9 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 2c	64
Gambar 4. 10 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 3a	45
Gambar 4. 11 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 3b	66
Gambar 4. 12 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 3c	67
Gambar 4. 13 Jarak Antar Tumbuhan.....	78
Gambar 4. 14 Lokasi RTH.....	78

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku mutu karbon monoksida.....	8
Tabel 2. 2 Faktor emisi pesawat terbang	10
Tabel 2. 3 Profil kecepatan angin dari stabilitas angin.....	16
Tabel 2. 4 Jenis pesawat dan turbin yang digunakan.....	19
Tabel 2. 5 Kriteria Stability Class menurut Pasquill – Gifford.....	22
Tabel 2. 6 Nilai parameter untuk model	22
Tabel 2. 7 Tanaman yang Memiliki Daya Serap CO	23
Tabel 3. 1 Skenario Permodelan	32
Tabel 3. 2 Emisi CO oleh pesawat di Juanda tiap jamnya selama 1 minggu	35
Tabel 4. 1 Type pesawat komersil beserta karakteristik mesin...	42
Tabel 4. 2 Nilai emisi CO.....	43
Tabel 4. 3 <i>Bouyancy Flux</i> pesawat	50
Tabel 4. 4 Nilai <i>plume rise</i> tiap beban emisi CO	51
Tabel 4. 5 Tingkat pencemaran gas CO	54
Tabel 4. 6 Koordinat titik sampling ambien dan stabilitas atmosfer.....	73
Tabel 4. 7 Perbandingan hasil model dengan udara ambien.....	74

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	87
Lampiran B	108
Lampiran C	110
Lampiran D	114

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bandar Udara Internasional Juanda merupakan salah satu bandar udara terbesar di Propinsi Jawa Timur. Pada tahun 2015 tercatat total penerbangan sebanyak 137.051 kali, baik penerbangan domestik maupun non-domestik (Laporan Tahunan Angkasa Pura, 2015). Semakin banyak penerbangan yang beroperasi akan berbanding lurus dengan polusi yang dihasilkan. Maka, perlu diperhatikan dampak buruk dari polusi yang dihasilkan dari mesin pesawat terbang (*exhaust gas pollution*) terhadap lingkungan. Walaupun hanya menyumbang sekitar 3% dari total polusi udara dunia namun seiring dengan bertambahnya jumlah pesawat terbang komersil yang beroperasi dari hari ke hari maka dapat menyebabkan angka persentase tersebut semakin meningkat.

Polusi dari gas buangan pesawat terbang mengandung beberapa polutan diantaranya karbon dioksida, oksida nitrogen, uap air dan lain-lain. Namun, polutan tersebut belum menjadi perhatian utama penanggulangan polusi seperti yang dikutip dalam artikel "Polusi Udara Dari Pesawat Terbang". Hal ini kemudian diperkuat oleh penelitian tahun 1980-1990-an yang mengatakan bahwa emisi yang dihasilkan dari mesin jet pesawat terbang dapat merusak lapisan ozon. Bahkan efeknya berdampak lebih buruk dari pada gas yang menjadi penyebab utama rusaknya lapisan ozon, atau CFC (Chloro-Fluoro-Carbon). Di Amerika Serikat, gas CO merupakan penyebab utama dari kematian akibat keracunan. Tercatat sekitar 40.000 pasien pertahun pada unit gawat darurat di Amerika Serikat yang berhubungan dengan kasus intoksikasi gas CO. Bahkan kasus ini telah mengakibatkan kematian sekitar 500-600 pertahun di Amerika pada tahun 1990an (Louise W Kao, 2004). Berbeda dengan kondisi di Singapura, kasus intoksikasi gas CO tergolong jarang. Di Rumah Sakit Tan Tock Seng Singapura pernah dilaporkan hanya terjadi 12 kasus intoksikasi gas CO dalam 4 tahun (1999-2003). Di Indonesia sendiri belum didapatkan data kasus akibat keracunan yang terjadi akibat gas CO (PK Handa, 2005).

Udara yang di emisikan dari sumber tertentu, misalnya cerobong atau mesin apapun yang mengeluarkan gas sebagai hasil sampingan dari suatu proses akan mengalami persebaran gerak udara yang disebut dispersi. Dispersi merupakan suatu proses pergerakan udara dari suatu sumber emisi (*source of emission*) menyebar melalui suatu luas area wilayah tertentu. Pergerakan atau penyebaran udara terjadi secara vertikal maupun horizontal (Vesilind, 1994). Oleh karena itu, perlu adanya suatu metode untuk mengetahui konsentrasi persebaran emisi.

Gaussian Plume Model merupakan salah satu model dispersi. Keunggulan dari model ini adalah mudah, sederhana, dan efisien. Dimana pada model ini tidak dibutuhkan data yang banyak untuk selanjutnya dihitung dengan model matematis. Akurasi dari pemodelan ini cukup baik pada jarak kurang dari 10 km (Visscher, 2014). Melalui model dispersi, dapat diperkirakan konsentrasi polutan di berbagai titik sebagai fungsi ruang berdasarkan kondisi meteorologi daerah tersebut dengan menggunakan persamaan numeris (Hassan, 2000).

Ruang terbuka hijau (RTH) juga merupakan salah satu bentuk tindak lanjut dari pengendalian kualitas udara untuk pengelolaan lingkungan di lingkungan sekitar. Vegetasi pada RTH ini berfungsi sebagai penyaring udara yang memiliki kemampuan untuk menyerap beberapa macam polutan di udara (Fakhrian dkk, 2015). RTH umumnya diletakkan di batasan proyek, sebelum kawasan pemukiman (Anggareni, 2005). Dalam perencanaan ini, akan direncanakan lokasi ruang terbuka hijau berdasarkan dispersi polutan yang sudah dimodelkan. Untuk jenis vegetasi yang ditanam akan disesuaikan dengan polutan yang dihasilkan di area tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana sebaran CO di berbagai titik di sekitar bandar udara.
2. Bagaimana sebaran CO di berbagai titik dengan kondisi tertentu.
3. Bagaimana performa model.

4. Bagaimana perencanaan ruang terbuka hijau yang tepat.

1.3 Tujuan

Tujuan dari laporan tugas akhir ini adalah :

1. Menentukan konsentrasi dan sebaran CO berdasarkan rata-rata harian, perbedaan hari kerja dan akhir minggu, dan pengaruhnya pada lingkungan di dalam dan di luar bandar udara dengan metode *Gaussian Plume*.
2. Menentukan performa model *Gaussian Plume*.
3. Menentukan strategi pengurangan dampak emisi dari aktivitas penerbangan di Bandar Udara Juanda dengan ruang terbuka hijau.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari tugas akhir ini antara lain :

1. Metode yang digunakan berdasarkan Rumus Gauss yaitu pemodelan matematis dengan menggunakan data meteorologi dan data karakteristik emisi.
2. Jenis model dispersi yang digunakan adalah *Gaussian Plume*.
3. Parameter yang diteliti adalah Karbon Monoksida.
4. Objek penelitian ini dilakukan pada kawasan Bandar Udara Internasional Juanda serta kawasan perumahan warga sekitar meliputi Kecamatan Waru Kabupaten Sidoarjo dan Kota Surabaya.
5. Sumber emisi berasal dari kegiatan pesawat komersil di Bandar Udara Internasional Juanda Terminal 1 dan Terminal 2.
6. Pengambilan data primer sebagai validasi model.
7. Arah angin yang digunakan adalah arah angin yang dominan dalam setahun.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini antara lain :

1. Mendapatkan model persebaran kualitas udara pencemar CO pada kawasan Bandara Juanda, dimana dengan adanya visual persebaran ini maka otoritas

bandara dapat melakukan berbagai tindakan untuk mengurangi dampaknya terhadap pegawai dan ekosistem sekitarnya. Sebaliknya, bagi masyarakat sekitar kontur persebarannya dapat digunakan sebagai program lingkungan antara lain penanaman pohon atau barrier untuk mengurangi sebaran polutan ke daerah pemukiman.

2. Terjadinya penghematan biaya dengan pemakaian model dan bukan alat pengukur kualitas udara.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Menurut KBBI, dispersi merupakan pergerakan untuk perpindahan individual, atau dapat juga diartikan sebagai penguraian (Hasan, 2005). Sementara (Oxford, 2005) mendefinisikan dispersi secara umum sebagai kegiatan atau proses mendistribusikan sesuatu ke area lain yang luas. Proses dispersi sendiri merupakan menipisnya atau menghilangnya suatu zat. Ketika keluar dari sumbernya, emisi polutan akan bergerak mengikuti arah angin, dan menyebar ke arah samping dan vertikal. Konsentrasi polutan akan besar pada garis searah dengan arah sebaran, dan rendah di bagian tepi (Anggraeni, 2012). Proses dispersi menimbulkan pengenceran zat pencemar di udara dari suatu sumber. Proses ini menyebabkan emisi yang konsentrasinya besar ketika meninggalkan cerobong menjadi lebih rendah di lingkungan sekitar (Soedomo, 2001).

Permodelan kualitas udara sangat membantu dalam memprediksi dampak dari kegiatan yang mengemisikan polutan ke udara terhadap lingkungan. Suatu model kualitas udara dapat menyediakan gambaran mengenai persebaran polutan di udara dengan cepat dan murah, dibandingkan dengan pengamatan langsung di lapangan. Permodelan ini dapat membantu ketika tersedia data yang dibutuhkan dalam permodelan. Maka dari itu, model – model kualitas udara adalah salah satu alat untuk pemantauan kualitas udara (Putut, 2011).

2.1 Karakteristik Pencemar

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau yang dihasilkan dari proses pembakaran tidak sempurna dari material yang berbahan dasar karbon seperti kayu, batu bara, bahan bakar minyak dan zat-zat organik lainnya (Louise, 2004).

2.1.1 Karakteristik Fisik Dan Kimia

Karbon monoksida adalah suatu gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa, termasuk gas yang

beracun. karbon monoksida terdiri dari satu atom karbon dan satu atom oksigen yang memiliki ikatan kovalen koordinasi.

Berat molekul = 28.01

Titik didih (760 mmHg) = $-191.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-312.7\text{ }^{\circ}\text{F}$)

Titik beku = $-205\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-337\text{ }^{\circ}\text{F}$)

Spesifik gravitasi (air=1) = 1.25 pada $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($32\text{ }^{\circ}\text{F}$)

Massa jenis uap = 0.97

Tekanan uap = $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($68\text{ }^{\circ}\text{F}$), lebih dari 1 atm (760 mmHg)

Kelarutan = di dalam air, ethanol, methanol, dan beberapa senyawa organik (Holleman, 2001).

2.1.2 Sumber Dan Distribusi

CO banyak terdapat di sekitar lingkungan dan merupakan hasil produksi pembakaran yang tidak sempurna. Menurut Lioy dan Daisey (1987), karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar fosil. Manahan (1992) menambahkan, bahwa karbon monoksida adalah gas industri beracun yang diproduksi oleh pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar *carbonous*. Sedangkan Chahaya (2003) menyatakan bahwa waktu tinggal CO dalam atmosfer lebih kurang 4 bulan. Didalam laporan WHO (1992) dinyatakan paling tidak 90% dari karbon monoksida diudara perkotaan berasal dari emisi kendaraan bermotor.

2.1.3 Karakteristik Plume (Asap)

Plume adalah asap yang keluar dari suatu sumber (*stack*). Pertama kali *plume* dikeluarkan dari *stack* ke atmosfer, perilakunya mengikuti pola umum. *Plume* yang keluar terus menerus akan bergerak secara horizontal karena terbawa angin dan akan semakin berkurang sampai tersebar secara vertikal dan lateral (Andrew T. Allen, 1998).

2.1.3 Dampak

Kehadiran karbon monoksida di udara bebas yang melebihi kadarnya akan menyebabkan dampak yang buruk bagi makhluk hidup dan lingkungan sekitar. Beberapa dampak terhadap makhluk hidup dan lingkungannya yaitu :

1. Kesehatan Manusia

Sudah lama diketahui bahwa jika gas karbon monoksida (CO) dalam jumlah banyak atau konsentrasi tinggi dapat menyebabkan gangguan kesehatan bahkan juga dapat menimbulkan kematian. Karbon monoksida apabila terhirup ke dalam paru-paru akan mengikuti peredaran darah dan akan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan oleh tubuh. Hal ini dapat terjadi karena gas karbon monoksida bersifat racun, ikut bereaksi secara metabolis dengan darah. Ikatan karbon monoksida dengan darah atau karboksihemoglobin lebih stabil dari pada ikatan oksigen dengan darah atau oksihemoglobin.

Keadaan ini menyebabkan darah menjadi lebih mudah menangkap gas CO dan menyebabkan fungsi vital darah sebagai pengangkut oksigen terganggu. Dalam keadaan normal konsentrasi CO di dalam darah berkisar antara 0,2% sampai 1,0% dan rata-rata sekitar 0,5%. Disamping itu, kadar gas CO dalam darah dapat seimbang selama kadar gas CO di atmosfer tidak meningkat dan kecepatan pernafasan tetap konstan (H. J. Mukono, 1997).

Keracunan gas karbon monoksida dapat ditandai dari keadaan ringan, seperti pusing, rasa tidak enak pada mata, sakit kepala, dan mual. Keadaan yang lebih berat dapat berupa detak jantung meningkat, rasa tertekan di dada, susah bernafas, otot-otot melemah, gangguan pada sistem kardiovaskuler dan serangan jantung hingga kematian.

2. Ekosistem dan Lingkungan

Di udara, karbon monoksida (CO) dapat ditemui dalam jumlah yang sangat sedikit, yaitu sekitar 0,1 ppm. Di perkotaan dengan lalu lintas yang padat, konsentrasi gas CO antara 10-15 ppm. Telah lama diketahui bahwa gas CO dalam jumlah banyak (konsentrasi tinggi) dapat menyebabkan efek rumah kaca (Arya Wardhana, 2001).

2.1.4 Baku Mutu

Baku mutu maksimum Karbon Monoksida (CO) yaitu :

Tabel 2. 1 Baku mutu karbon monoksida

Nama Senyawa	Waktu Pengukuran	Baku Mutu		
		Nasional *		JawaTimur **
Karbon Monoksida	1 jam	30000 ug/m3	(26 ppm)	
	8 jam	10000 ug/m3	(9 ppm)	2260 ug/m3
	1 tahun			

Keterangan :

* PP No 41 Tahun 1999 tentang Baku Mutu Udara Ambien Nasional.

**Pergub Jatim No 10 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Udara Ambien dan Emisi Sumber Tidak Bergerak di Jawa Timur.

2.2 Perhitungan Emisi Karbon Monoksida (CO)

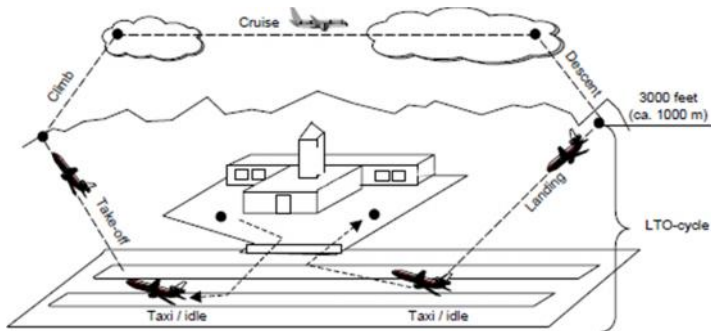
Dalam panduan IPCC terdapat beberapa metode perhitungan emisi yang disesuaikan dengan tingkat ketelitian (akurasi) dengan jumlah data yang dimiliki oleh peneliti ataupun instansi yang akan melakukan perhitungan emisi ataupun inventarisasi emisi. Pada penelitian ini akan digunakan ketelitian tingkat 2 (Tier 2).

Pada tingkat dua menurut perhitungan IPCC (2006) metode emisi dari pesawat terbang telah dipisah perhitungan antara perhitungan emisi pada saat (*landing take-Off*) LTO dan pada saat *cruise*. Maka dari itu dapat dibuat langkah - langkah perhitungan untuk perhitungan tingkat dua sebagai berikut :

1. Menghitung/menentukan jumlah total bahan bakar yang terpakai dalam penerbangan.
2. Menghitung/menentukan jumlah bahan bakar yang terpakai dalam proses LTO.
3. Menghitung/menentukan jumlah bahan bakar yang terpakai di dalam proses *cruise*.
4. Menghitung emisi dari proses LTO dan *cruise*.

Untuk menghitung emisi sendiri dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

Emisi LTO = jumlah pesawat melakukan LTO x Faktor emisi LTO(2.1)
 Berikut gambar siklus terbang pesawat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Siklus terbang pesawat
 Sumber : (Rypdal, 2000)

Pada gambar tersebut, diketahui bahwa kondisi LTO terjadi saat pesawat berada di bawah 1000 m yaitu saat pesawat *landing*, *taxi/ idle*, dan *take-off*.

2.3 Emisi Pesawat Terbang Komersial

Emisi dari pesawat terbang berasal dari pembakaran mesin jet pesawat. Pesawat terbang mengeluarkan emisi yang terdiri dari 70 persen CO_2 , dan sisa 30 persen kurang terdiri dari H_2O dan kurang dari 1 persen terdiri dari NO_x , CO , SO_2 . Emisi dihasilkan dari turbin mesin pesawat pada saat terbang maupun saat mesin siaga. Emisi pesawat juga ditentukan berdasarkan dari tipe yang digunakan, efisiensi dari mesin pesawat, serta berdasarkan dari jenis bahan bakar yang digunakan. Emisi yang keluar berbeda pada saat LTO, hanya 10 persen dari total emisi mesin pesawat terbang, sisanya terbuang pada saat *cruise* (IPCC, 2006).

Emisi paling penting yang dikeluarkan oleh pesawat terbang dalam bentuk gas rumah kaca dari hasil pembakaran bahan bakar adalah CO_2 dan NO_x . Namun, ada juga hasil sampingan seperti metana, N_2O dan gas lain. Emisi dari bahan bakar dapat dipengaruhi oleh bahan bakar, tipe pesawat, dan

mesin pesawat yang digunakan, maupun beban pesawat dan ketinggian terbang dari pesawat tersebut (Rypdal, 2000).

2.4 Faktor Emisi

Faktor emisi adalah emisi yang dihasilkan oleh suatu proses ataupun kegiatan dengan rentang waktu ataupun jumlah dari bahan bakar yang telah dikonsumsi. Dalam *Intergovernmental Panel On Climate Change* (IPCC), terdapat berbagai jenis faktor emisi yang dapat dijadikan panduan untuk menghitung emisi dan menjadi dasar untuk menghitung emisi yang dihasilkan dari berbagai sektor. Faktor emisi dari pesawat terbang tergolong dalam sektor energi di kategori transportasi. Faktor emisi dalam IPCC dapat dijadikan dasar dalam melakukan perhitungan emisi. Tabel 2.2 berikut berasal dari IPCC yang menunjukkan faktor emisi dari jenis jenis pesawat yang umum digunakan dalam penerbangan komersil.

Jenis Pesawat	Faktor emisi pada saat Landing Take-Off (kg/LTO)					Konsumsi bahan bakar saat LTO
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Nox	CO	
A300	5450	0,12	0,2	25,86	14,8	1720
A310	4760	0,63	0,2	19,46	28,3	1510
A319	2310	0,06	0,1	8,73	6,35	730
A320	2440	0,06	0,1	9,01	6,19	770
A321	3020	0,14	0,1	16,72	7,55	960
A330-200/300	7050	0,13	0,2	35,57	16,2	2230
A340-200	5890	0,42	0,2	28,31	26,19	1860
A340-300	6380	0,39	0,2	34,81	25,23	2020
A340-500/600	10660	0,01	0,3	64,45	15,31	3370
707	5890	9,75	0,2	10,96	92,37	1860

Lanjutan Tabel 2.2. Faktor emisi pesawat terbang

Jenis Pesawat	Faktor emisi pada saat Landing Take-Off (kg/LTO)					Konsumsi bahan bakar saat LTO
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Nox	CO	
717	2140	0,01	0,1	6,68	6,78	680
727-100	3970	0,69	0,1	9,23	24,44	1260
727-200	4610	0,81	0,1	11,97	27,16	1460
737-100/200	2740	0,45	0,1	6,74	16,04	870
737-300/400/500	2480	0,08	0,1	7,19	13,03	780
737-600	2280	0,1	0,1	7,66	8,65	720
737-700	2460	0,09	0,1	9,12	8	780
737-800/900	2780	0,07	0,1	12,3	7,07	880
747-100	10140	4,84	0,3	49,17	114,59	3210
747-200	11370	1,82	0,4	49,52	79,78	3600
747-300	11080	0,27	0,4	65	17,84	3510
747-400	10240	0,22	0,3	42,88	26,72	3240
757-200	4320	0,02	0,1	23,43	8,08	1370
757-300	4630	0,01	0,1	17,85	11,62	1460
767-200	4620	0,33	0,1	23,76	14,8	1460
767-300	5610	0,12	0,2	28,19	14,47	1780
767-400	5520	0,1	0,2	24,8	12,37	1750
777-200/300	8100	0,07	0,3	52,81	12,76	2560
DC-10	7290	0,24	0,2	35,65	20,59	2310
DC-8-50/60/70	5360	0,15	0,2	15,62	26,31	1700
DC-9	2650	0,46	0,1	6,16	16,29	840
L-1011	7300	7,4	0,2	31,64	103,33	2310

Lanjutan Tabel 2.2. Faktor emisi pesawat terbang

Jenis Pesawat	Faktor emisi pada saat Landing Take-Off (kg/LTO)					Konsumsi bahan bakar saat LTO
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Nox	CO	
MD-11	7290	0.24	0.2	35.65	20.59	2310
MD-80	3180	0.19	0.1	11.97	6.46	1010
MD-90	2760	0.01	0.1	10.76	5.53	870
TU-134	2930	1.8	0.1	8.68	27.98	930
TU-154-M	5960	1.32	0.2	12	82.88	1890
TU-154-B	7030	11.9	0.2	14.33	143.05	2230
RJ-RJ85	1910	0.13	0.1	4.34	11.21	600
BAE 146	1800	0.14	0.1	4.07	11.18	570
CRJ-100ER	1060	0.06	0.03	2.27	6.7	330
ERJ-145	990	0.06	0.03	2.69	6.18	310
Fokker 100/70/28	2390	0.14	0.1	5.75	13.84	760
BAC111	2520	0.15	0.1	7.4	13.07	800
Dornier 328 Jet	870	0.06	0.03	2.99	5.35	280
Gulfstream IV	2160	0.14	0.1	5.63	8.88	680
Gulfstream V	1890	0.03	0.1	5.58	8.42	600
Yak-42M	2880	0.25	0.1	10.66	10.22	910
Cessna 525/560	1070	0.33	0.03	0.74	34.07	340
Beech King Air	230	0.06	0.01	0.3	2.97	70
DHC8-100	640	0	0.02	1.51	2.24	200
ATR72-500	620	0.03	0.02	1.82	2.33	200

Sumber : IPCC,2010

Dari Tabel 2.2, maka dapat dilanjutkan perhitungan sesuai dengan tingkat ketelitiannya nanti. Data yang dihimpun dari IPCC sudah terbukti valid dan dapat dijadikan dasaran prediksi emisi yang dikeluarkan oleh suatu proses ataupun kegiatan (IPCC, 2010).

2.5 Pemodelan Gaussian Plume

Distribusi polutan secara vertikal dan lateral dapat digambarkan dengan menggunakan model *Gaussian Plume*. *Gaussian Plume* Model merupakan salah satu model dispersi. Keunggulan dari model ini adalah mudah, sederhana, dan efisien. Dimana pada model ini tidak dibutuhkan data yang banyak untuk selanjutnya dihitung dengan model matematis. Akurasi dari pemodelan ini cukup baik pada jarak kurang dari 10 km (Visscher, 2014) Perkiraan konsentrasi dilakukan dengan rata-rata pergerakan angin. Pada persamaan *Gaussian Plume*, menganggap bahwa laju emisi konstan dengan kecepatan angin dan arah angin yang konstant secara terus menerus (*continue*). Parameter σ_z , σ_y merupakan suatu standard deviasi dari distribusi gauss yang menunjukkan persebaran *plume* kearah horizontal maupun vertikal. Persebaran tersebut akan terus meningkat sesuai dengan jarak reseptor. Persamaan Gauss untuk konsentrasi dispersi pada keadaan *absence of boundaries* adalah :

$$C = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{z-H}{\sigma_z}\right) \quad (2.2)$$

- C = Konsentrasi Pencemaran udara pada titik, g/m³
- Q = Laju emisi / laju pancaran, g/det
- u = Kecepatan angin di tinggi efektif, m/det
- σ_z , σ_y = Koefisien dispersi arah vertikal, Horizontal, m
- H = Tinggi buangan emisi efektif (m), h+ h
- z = Tinggi penerima (reseptor)
- y = Jarak reseptor, m.

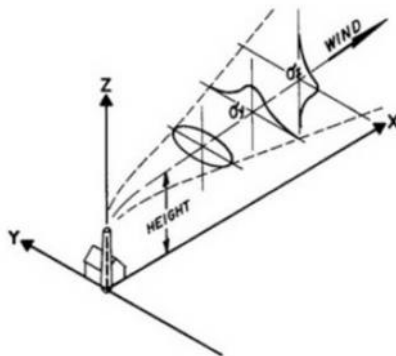
Ketika *plume* dari suatu ketinggian tertentu telah menyentuh tanah, *plume* tersebut akan dipantulkan kembali oleh tanah membentuk suatu *mirror-image* sehingga membentuk suatu *boundaries*. Berikut persamaan saat ada *boundaries* yaitu :

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \cdot \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right]\right) \right\} \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{z-H}{\sigma_z}\right]^2\right) + \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{z+H}{\sigma_z}\right]^2\right) \right\} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\Delta h = 0,175 Q_h^{0,5} u^{-3/4} \dots\dots\dots (2.4)$$

- h = Tinggi *plume*, m
- u = Kecepatan angin, m/det
- Q_h = Laju panas emisi, =33,5 (Visscher,2014).

Skema *plume* dengan dispersi Gauss dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut



Gambar 2. 2 Persebaran Polutan dari Sumber

2.6 Faktor yang Mempengaruhi Dispersi Udara

Karakteristik dari sumber emisi dan kondisi meteorologi mempengaruhi dalam persebaran polutan di udara. Berikut adalah beberapa faktor dari emisi dan meteorologi yang berpengaruh dalam dispersi udara.

2.6.1 Pergerakan Udara

Pergerakan massa udara dapat terjadi secara global, benua, regional, maupun lokal. Menurut kondisi geografisnya pergerakan tersebut dapat dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Pergerakan udara macroscale yakni melibatkan pola sirkulasi planet.
2. Pergerakan udara mesoscale yakni dipengaruhi oleh topografi suatu daerah lautan, pegunungan, hutan, dan daerah perkotaan.
3. Pergerakan udara microscale yakni pola pergerakannya <10 km.

2.6.2 Temperatur

Temperatur merupakan faktor penting dikarenakan berperan sebagai katalis utama kondisi iklim dan dapat menentukan stabilitas udara. Energi panas di udara berasal dari radiasi sinar matahari.

2.6.3 Tekanan Udara

Tekanan udara merupakan faktor penting, karena udara memiliki berat sehingga seluruh udara tertekan ke bawah. Distribusi tekanan digambarkan secara isobar. Garis tekanan rendah atau tinggi juga akan mempengaruhi keadaan cuaca.

2.6.4 Arah Dan Kecepatan Angin

Angin merupakan pergerakan udara. Arah angin ditentukan dari tekanan rendah maupun tinggi. Pada mesoscale dan microscale, topografi ikut mempengaruhi arah. Kecepatan angin diukur dengan anemometer. Angin dapat mencairkan polutan dan membawanya jauh dari sumber. Proses pencairan polutan dianggap memiliki kecepatan rata - rata sama dengan kecepatan angin yang melewati asap. Angin juga membuat pusaran yang dapat menaikkan dispersi asap.

Kecepatan angin yang dekat dengan permukaan tanah pada umumnya lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan angin yang melewati permukaan yang lebih tinggi. Pada hal ini, hubungan antara ketinggian dengan kecepatan angin dapat ditunjukkan dengan rumus :

$$u = U_0 \frac{z^p}{Z_0^p} \dots \dots \dots (2.5)$$

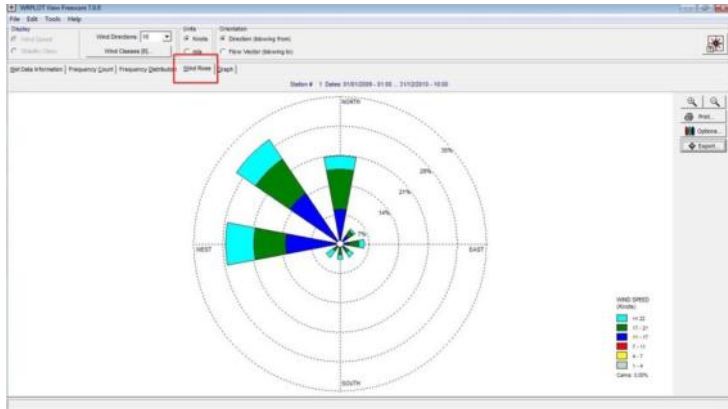
- u = Kecepatan angin pada ketinggian titik pantau
- u₀ = Kecepatan angin pada ketinggian Z₀ yang diketahui
- z = Ketinggian titik pantau
- Z₀ = Ketinggian pada kecepatan yang diketahui
- P = Eksponen dengan nilai antara 0 sampai 1, fungsi stabilitas (Andrew T. Allen. 1998).

Nilai P dapat diketahui dari Tabel 2.3 berikut :

Tabel 2. 3 Profil kecepatan angin dari stabilitas angin

Stabilitas Kategori	Urban Exponent
A	0,15
B	0,15
C	0,2
D	0,25
E	0,3
F	0,3

Dalam penelitian ini akan digunakan arah angin yang dominan. Untuk mengetahui arah angin dominan, maka perlu dibuat *wind rose*. *Wind rose* adalah sebuah grafik yang memberikan gambaran tentang bagaimana arah dan kecepatan angin terdistribusikan di sebuah lokasi dalam periode tertentu. *Wind rose* merupakan representasi yang bermanfaat karena dapat mengolah data yang banyak menjadi sebuah diagram. Contoh penyajian *wind rose* seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Wind rose

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa arah angin dominan kearah barat dan barat laut dengan kecepatan rata-rata ditunjukkan oleh skala hijau yaitu 17-21 knot.

2.6.5 Plume Rise

Plume rise dan tinggi efektif cerobong adalah parameter penting dalam perhitungan dispersi polutan di atmosfer. *Plume rise* sendiri merupakan jarak di atas cerobong yang mengemisikan polutan dimana gas akan bergerak ke atas sebelum menyebar secara horizontal (Cora, 2003). *Plume rise* terjadi ketika gas meninggalkan cerobong karena dua hal yaitu buoyancy dan momentum. Buoyancy adalah pemuain gas karena perbedaan temperatur, sedangkan momentum terjadi karena kecepatan gas yang tinggi ketika keluar dari cerobong (Viessher, 2014). Berikut adalah beberapa perhitungan yang dapat digunakan untuk memprediksi tinggi *plume rise* dari polutan. Pertama, ditentukan parameter buoyancy flux (Fb).

$$Fb = \frac{g \cdot ws \cdot ds^2 (Ts - Ts)}{4 \cdot Ts} \dots \dots \dots (2.6)$$

Fb = Buoyancy Flux, m⁴/s³
g = Percepatan gravitasi, m/s²

- ws = Kecepatan keluar gas dari cerobong, m/s
- ds = Diameter cerobong, m
- Ts = Temperatur udara emisi, °K
- Ta = Temperatur udara ambien, °K.

Atau rumus lain :

$$Fb = g.w.s.ds^2 \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

- s = Densitas gas buang,
- ρ = Densitas udara ambien, (EPA, 1995).

Setiap pesawat memiliki turbin/ mesin yang berbeda-beda sehingga untuk diameter cerobong, temperatur udara emisi serta kecepatan gas buang akan berbeda - beda tiap pesawat. Pada penelitian ini, akan diasumsikan karakteristik turbin untuk jenis pesawat yang sama dianggap memiliki karakter turbin yang sama, walaupun pada kenyataannya untuk jenis pesawat yang sama belum tentu memiliki karakteristik turbinyang sama pula. Berikut Tabel 2.4 yang menunjukkan data pesawat komersil yang beroperasi di Bandar Udara Internasional Juanda.

Tabel 2. 4 Jenis pesawat dan turbin yang digunakan

No	ID Pesawat	Manufacturer	Role	Jenis Turbin	Seri turbin
1	A319	Airbus	Narrow-body jet airliner	Turbofan	CFM International CFM56-5
2	A320	Airbus	Narrow-body jet airliner	Turbofan	CFM International CFM56-5
3	A332 (330-200)	Airbus	Wide-body jet airliner	Turbofan	Pratt & Whitney Canada PW4000
4	A333 (330-300)	Airbus	Wide-body jet airliner	Turbofan	Pratt & Whitney Canada PW4000
5	ATR72	ATR	Regional Airliner	Turboprop	Pratt & Whitney Canada PW127
6	B733 (737-300)	Boeing	short range, narrow-body jet airliners	Turbofan	CFM International CFM56-3
7	B735 (737-500)	Boeing	short range, narrow-body jet airliners	Turbofan	CFM International CFM56-3
8	B738 (737-800)	Boeing	medium-range, narrow-body jet airliners	Turbofan	CFM International CFM56-7
9	B739 (737-900)	Boeing	medium-range, narrow-body jet airliners	Turbofan	CFM International CFM56-7
10	B744 (747-400)	Boeing	Wide-body jet airliner	Turbofan	Pratt & Whitney PW4056
11	CRJ1000	Bombardier Aerospace	Regional Jet	Turbofan	General Electric CF34-8C1
12	H25B (Hawker800)	Hawker Beechcraft	Mid-Size business jet	Turbofan	Honeywell TFE731

Sumber : Snecma.2011; Pratt & whitney commercial brocur. 2011; Martins. 2015; ATR. 2014; GE aviation 2008; Honeywell 2005

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

Selanjutnya adalah menghitung tinggi *plume rise*. Berikut adalah persamaan untuk memprediksi tinggi *plume rise* :

$$\Delta h = \frac{1,6 Fb^{1/3} \cdot x^{2/3}}{u} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

- h = Tinggi *plume rise*, m
- Fb = *Buoyancy Flux*, m⁴/s³
- x = Jarak dimana turbulensi atmosfer mulai mendominasi, m
- u = Kecepatan angin rata-rata di ketinggian cerobong, m/s (Li, 2008).

Nilai x dari persamaan di atas merupakan nilai jarak dimana turbulensi atmosfer mulai mendominasi. Jarak ini merupakan jarak vertikal dari cerobong dimana *plume* tidak akan bergerak keatas namun stabil pada tinggi tertentu sehingga pada jarak ini merupakan ketinggian akhir dari *plume rise*.

Berikut adalah rumus yang dapat digunakan untuk menghitung nilai x, dimana Fb merupakan nilai *Buoyancy Flux*.

$$X = 49 Fb^{5/8} \text{ Untuk } Fb < 55 \frac{m^4}{s^3} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$X = 119 Fb^{5/8} \text{ Untuk } F > 55 \frac{m^4}{s^3} \dots \dots \dots (2.10)$$

2.6.6 Stabilitas Atmosfer

Parameter dispersi yaitu nilai z dan y, berkaitan erat dengan kondisi cuaca di lokasi emisi. Kebanyakan perhitungan dispersi udara didasarkan atas *stability class*. Klasifikasi stabilitas atmosfer yang paling banyak digunakan adalah klasifikasi yang dikembangkan oleh Pasquill dan Gifford. Dalam klasifikasi tersebut, terbagi atas 6 kelas yaitu :

- A = Sangat tidak stabil
- B = Cukup tidak stabil
- C = Agak tidak stabil
- D = Netral
- E = Agak Stabil
- F = Stabil (Visscher, 2014).

Pada Tabel 2.5 menunjukkan data kriteria stability class menurut Pasquill – Gifford.

Tabel 2. 5 Kriteria Stability Class menurut Pasquill – Gifford

Kecepatan Angin(m/s)	Siang			Malam	
	Radiasi Sinar Matahari			Tutupan Awan	
	Kuat	Sedang	Rendah	Berawan (4/8)	Cerah (3/8)
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Keterangan :

Selalu gunakan kelas D untuk kondisi mendung (Koehn, 2013).

Sedangkan Tabel 2.6 di bawah ini merupakan nilai parameter untuk model :

Tabel 2. 6 Nilai parameter untuk model

Stability Class	y	z
A-B	$0.32x(1+0.0004x)^{-0.5}$	$0.24x(1+0.0001x)^{0.5}$
C	$0.22x(1+0.0004x)^{-0.5}$	0.2x
D	$0.16x(1+0.0004x)^{-0.5}$	$0.14x(1+0.0003x)^{-0.5}$
E-F	$0.11x(1+0.0004x)^{-0.5}$	$0.08x(1+0.0015x)^{-0.5}$

Keterangan :

x adalah jarak *downwind* dari sumber dalam satuan meter (Visscher, 2014).

2.7 Ruang Terbuka Hijau dalam Pengendalian Pencemaran Udara

Ruang Terbuka Hijau (RTH), adalah area memanjang/jalur dan atau mengelompok, yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh tanaman

secara alamiah maupun yang sengaja ditanam (Permen PU, 2008). Vegetasi memiliki beberapa fungsi di lingkungan beberapa diantaranya adalah sebagai penurun suhu udara, meminimasi banjir dan badai, meningkatkan keanekaragaman hayati, mengurangi dampak kebisingan dan juga menyerap polutan di udara. Daun pada vegetasi memiliki luas permukaan yang cukup luas yang merupakan permukaan efektif dalam menyerap polutan (Salmond dkk, 2012). Pada Tabel 2.7 berikut adalah data tanaman yang memiliki daya serap CO.

Tabel 2. 7 Tanaman yang Memiliki Daya Serap CO

No	Tumbuhan	Nama Latin	Daya Serap CO (ppm/hari)
1	Puring	<i>Cordia alliodora</i>	125
2	Kacang Merah	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120
3	Sirih Belanda	<i>Epipremnum aureum</i>	113
4	Angsana	<i>Pterocarpus indicus</i>	109

Sumber : Santoso, 2011.

Proses penyerapan polutan terhadap tanaman yaitu gas di udara akan didifusikan ke dalam daun melalui stomata pada proses fotosintesis atau terdeposisi oleh air hujan kemudian didifusikan oleh akar tanaman. Kemudian polutan terlarut dalam air permukaan sel-sel daun.

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

BAB 3 METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian tentang pemodelan dispersi polutan karbon monoksida (CO) dari Bandar Udara Internasional Juanda. Kawasan Bandar Udara Juanda ini terletak di Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo. Dalam satu kawasan ini terdapat 2 terminal. Gambar 3.1 merupakan gambaran lokasi penelitian yaitu kawasan Bandar Udara Internasional Juanda dan sekitarnya.

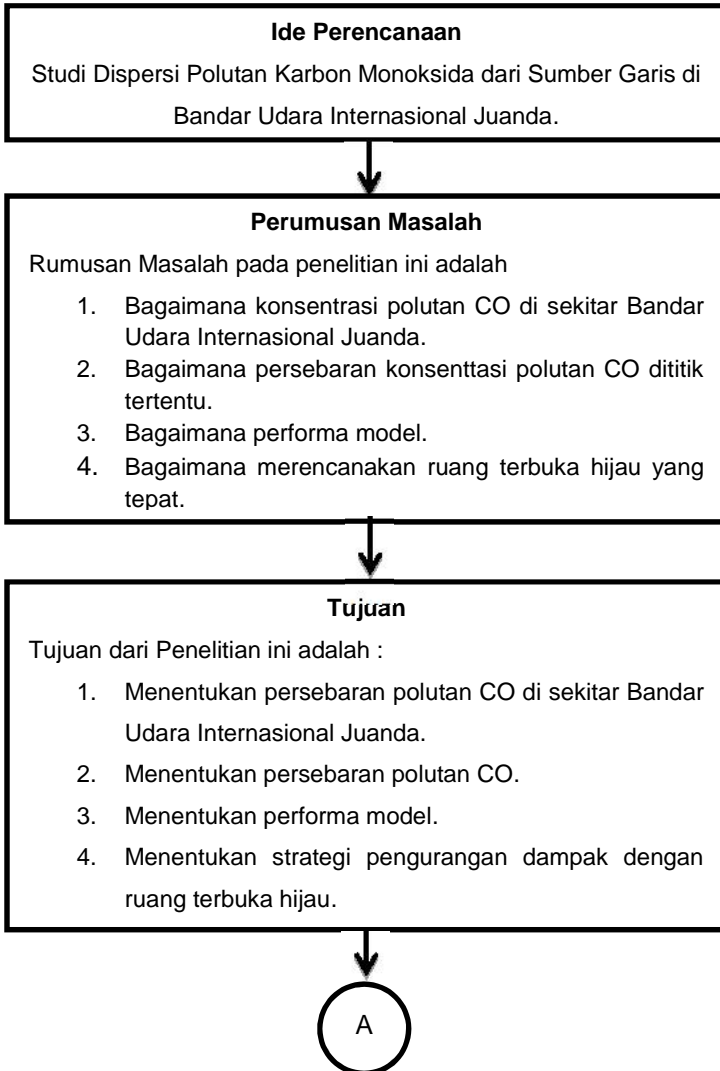


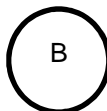
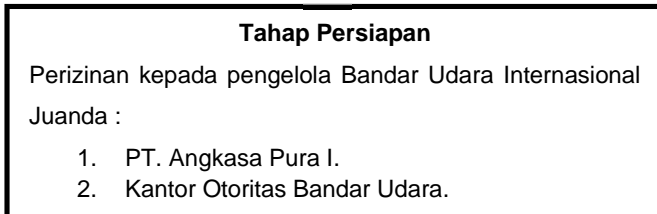
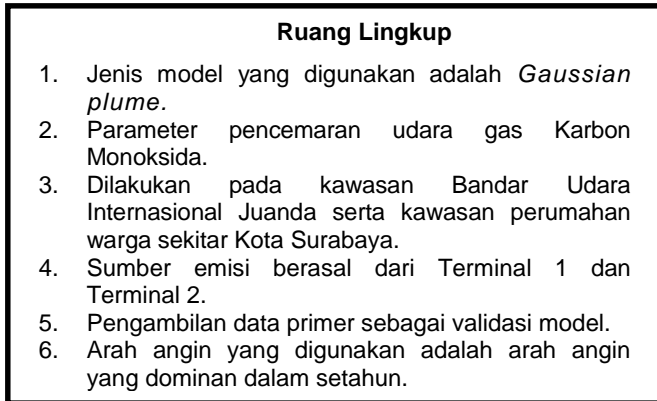
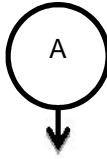
Gambar 3. 1 Lokasi Kawasan Bandar Udara Internasional Juanda

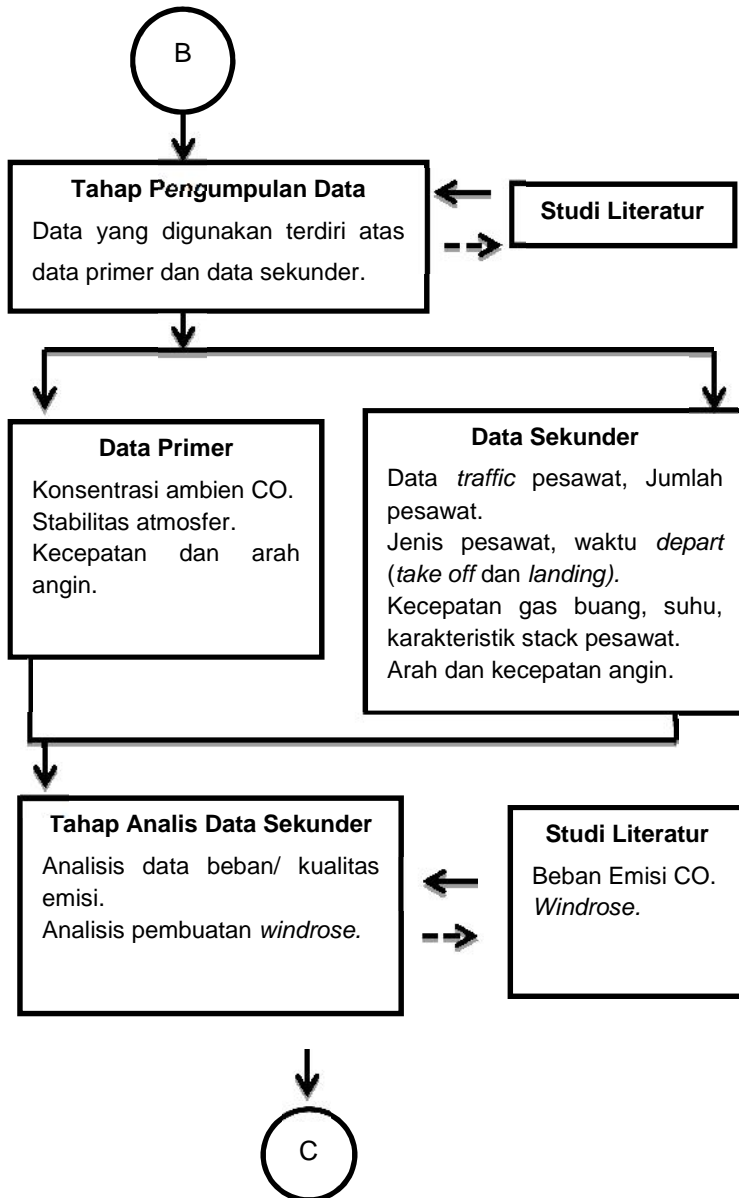
Dalam pemodelan ini, digunakan persamaan Gaussian *Plume* dengan sumber *line source* untuk mengetahui konsentrasi polutan di berbagai titik di sekitar kawasan Bandar Udara Internasional Juanda. Untuk polutan yang dimodelkan dispersinya adalah CO dengan total 9 skenario. Selanjutnya hasil pemodelan dibandingkan dengan pengukuran udara (sampling) udara ambien di dalam kawasan bandar udara dan di kawasan pemukiman sekitar. Dari penelitian ini akan diketahui konsentrasi sebaran CO serta jarak dimana konsentrasi maksimum terjadi. Selanjutnya direncanakan ruang terbuka hijau sebagai upaya pengendalian pencemaran udara.

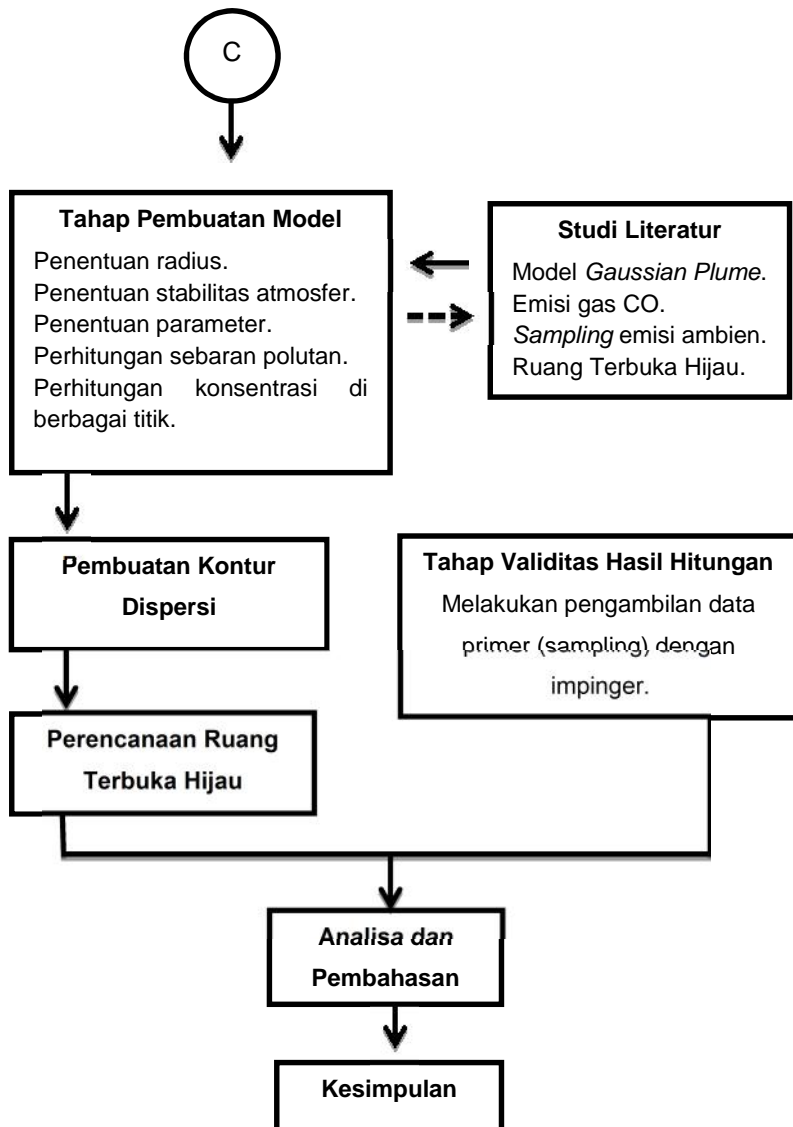
3.1 Tahap – Tahap Penelitian

Penelitian ini bermula dari munculnya permasalahan dari ide penelitian. Untuk menjawab permasalahan tersebut, maka direncanakan tahapan penelitian yang akan digunakan. Berikut tahapan dalam penelitian ini.









3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Microsoft Excel.
2. Surfer.
3. AutoCAD.
4. WRPLOT.
5. Impinger.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Data *traffic* pesawat.
2. Data jenis pesawat.
3. Data arah dan kecepatan angin.
4. Data karakteristik gas buang pesawat, suhu, kecepatan dan diameter.

3.3 Persiapan Penelitian

Tahapan persiapan disini meliputi perizinan yang harus dilakukan untuk pengumpulan data. Berikut adalah perusahaan yang akan dimintai izin :

1. PT. Angkasa Pura I.
2. Kantor Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Pada tahap pelaksanaan penelitian ini terdapat dua tahapan. Yang pertama adalah tahapan pengumpulan data. Selanjutnya adalah tahap analisis data sekunder.

3.4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada tahap ini meliputi data sekunder. Untuk data yang dibutuhkan disini meliputi data kondisi meteorologi daerah dan data mengenai jumlah pesawat yang ada di Bandara Juanda. Data kondisi meteorologi meliputi arah dan kecepatan angin harian yang didapatkan dari kantor BMKG. Sedangkan data sumber emisi meliputi :

1. Jumlah penerbangan di Bandar udara dari terminal 1 dan 2 dari hasil rekaman selama 3 bulan.
2. Jenis pesawat yang beroperasi di Bandar Udara dari terminal 1 dan 2 dari hasil rekaman selama 3 bulan.

Untuk data emisi CO didapatkan dari hasil perhitungan pendekatan dengan pedoman yang ada pada IPCC.

3.4.2 Analisis Data Sekunder

Untuk analisis data sekunder disini dilakukan untuk menentukan data yang akan dimasukkan dalam proses pemodelan. Untuk analisis data disini dilakukan untuk data emisi CO dan meteorologi.

1. Analisis Data Emisi CO. Untuk analisis data emisi CO ini, akan dilakukan dengan menggunakan perhitungan dengan mengacu kepada panduan dalam IPCC pada *Tier 2*. Dengan kebutuhan data bahan bakar yang terpakai, dan model pesawat terbang yang melakukan *take off*, dan *landing* di Bandar Udara Internasional Juanda. Data diolah menggunakan rumus (2.1). Setelah itu data dihitung sesuai dengan data yang didapatkan dan dibuat grafik untuk mendapatkan sebaran emisi berdasarkan waktu, dan dapat ditentukan berapa emisi maksimum, minimum dan rata-rata dari jumlah keseluruhan pesawat di bandara juanda. Data ini akan digunakan untuk acuan beban emisi dalam model.
2. Analisis Data Meteorologi dan Pembuatan Windrose. Data meteorologi yang sudah didapatkan, selanjutnya diolah menjadi data berupa windrose sehingga didapatkan arah angin dominan melalui hasil windrose. Selanjutnya untuk menentukan kecepatan angin rata – rata digunakan perhitungan rata – rata aritmatik melalui software Excel.

3.5 Penggunaan Model

Model yang dibuat pada penelitian ini meliputi: 3 skenario saat weekend (emisi CO maksimum) dan hari normal (emisi CO minimum) serta rata rata harian (emisi CO rata rata) dengan stabilitas atmosfer tertentu; dan 3 skenario ketika stabilitas atmosfer tidak stabil (stabilitas A-B), Netral (Stabilitas C-D), dan tidak stabil (stabilitas E-F) untuk gas CO. Skenario pemodelan ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Skenario Permodelan

No	Skenario	Deskripsi
1	1.a.	- Emisi CO Maksimum (Hari Libur) - Stabilitas Tidak Stabil (A)
2	1.b.	- Emisi CO Rata-rata (Rata-rata harian) - Stabilitas Tidak Stabil (A)
3	1.c.	- Emisi CO Minimum (Hari Kerja) - Stabilitas Tidak Stabil (A)
4	2.a.	- Emisi CO Maksimum (Hari Libur) - Stabilitas Netral (C)
5	2.b.	- Emisi CO Rata-Rata (Rata-rata harian) - Stabilitas Netral (C)
6	2.c.	- Emisi CO Minimum (Hari Kerja) - Stabilitas Netral (C)
7	3.a.	- Emisi CO Maksimum (Hari Libur) - Stabilitas Stabil (F)
8	3.b.	- Emisi CO rata-rata(Rata-rata harian) - Stabilitas Stabil (F)
9	3.c.	- Emisi CO Minimum (Hari Kerja) - Stabilitas Stabil (F)

Pembuatan model disini terdiri dari 2 tahap, yaitu tahap perhitungan konsentrasi di berbagai titik dan pembuatan kontur dispersi. Untuk perhitungan konsentrasi ke berbagai titik reseptor. Dilakukan akumulasi emisi CO pada landasan pacu Bandara Juanda yang menjadi sumber garis yang akan dibuat persebaran emisinya. Berikut adalah penjelasan mengenai tahapan pemodelan.

1. Perhitungan Konsentrasi di Berbagai Titik

a) Perhitungan Konsentrasi

Perhitungan konsentrasi CO dihitung berdasar persamaan 2.3 dimana data inputnya adalah emisi CO (Q), koefisien dispersi horizontal (σ_y), koefisien dispersi vertikal (σ_z), jarak reseptor (y) yang dihitung berdasarkan jarak terdekat terhadap arah angin, tinggi penerima (z) serta ketinggian buangan emisi (H) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8. Untuk nilai emisi CO (Q) diukur dengan melakukan counting

pesawat yang beroperasi selama 1 minggu kemudian dilakukan perhitungan keluaran CO tiap pesawat perjamnya selama 1 minggu yang digunakan sebagai acuan emisi CO maksimum, minimum maupun emisi CO rata - rata. Di Tabel 3.2 berikut rangkuman emisi CO pesawat yang beroperasi selama 1 minggu mulai tanggal 1 Maret 2017 – 7 Maret 2017. Untuk lebih detailnya dapat dilihat di lampiran A 1a -2b.

b) Penentuan Titik Reseptor

Titik reseptor ini merupakan titik penerima dari polutan yang akan dihitung konsentrasinya. Pada penelitian ini akan ditentukan titik reseptor yang mengelilingi Bandar Udara Juanda agar dapat membentuk kontur dengan radius maksimum 10 km dari titik *runway* Bandar Udara Juanda. Radius maksimal 10 km diambil untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari emisi pesawat terbang pada pemukiman terdekat yang ada di sekitar Bandar Udara Juanda. Jumlah titik yang akan dihitung sebanyak 1680 untuk dapat menggambar kontur sebaran dispersi CO.

c) Penentuan Stabilitas Atmosfer

Stabilitas atmosfer di penelitian ini ditentukan berdasarkan Kriteria Stability Class menurut Pasquill – Gifford (Tabel 2.5). Dalam Tabel 2.5, penentuan stabilitas didasarkan pada kecepatan angin dan radiasi sinar matahari atau tutupan awan. Data kecepatan angin didapatkan dari analisis data angin, dan radiasi sinar matahari didapat dari BMKG. Data ini akan divariasikan menjadi beberapa skenario.

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

Tabel 3. 2 Emisi CO oleh pesawat di Juanda tiap jamnya selama 1 minggu

Jam	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
05.00-05.59	89,81	84,64	59,71	90,46	71,89	107,41	100,4
06.00-06.59	105,81	113,11	162,64	140,81	135,5	149,01	174,68
07.00-07.59	134,36	89,27	91	111,93	122,49	137,51	110,33
08.00-08.59	128,8	103,06	144,12	101,81	106,92	120,69	167,92
09.00-09.59	145,98	141,97	134,48	130	124,61	86,59	124,1
10.00-10.59	119,95	98,17	119,24	142,84	111,29	117,48	152,66
11.00-11.59	137,04	103,98	146,7	124,84	107,19	103,1	83,08
12.00-12.59	138,08	121,3	111,76	163,12	114,24	134,33	115,58
13.00-13.59	74,78	76,96	104,49	101,91	101,24	98,03	131,01
14.00-14.59	113,15	92,17	84,46	93,62	101,62	75,33	88,39
15.00-15.59	125,4	86,22	118,33	139,97	179,83	123,64	128,57
16.00-16.59	76,08	134,52	123,34	90,15	104,87	93,97	139,57
17.00-17.59	112,31	105,16	111,43	117,85	113,11	140,14	100,74
18.00-18.59	115,13	101,95	128,1	142,53	116,6	127,22	157,4
19.00-19.59	60,39	86,91	156,25	97,42	129,76	60,62	81,83
20.00-20.59	60,11	53,92	131,83	98,78	98,13	78,68	142,91
21.00-21.59	72,18	84,56	52,16	84,56	101,95	66,6	53,92

Ket: Jam kerja pukul 05.00 – 22.00 WIB.
 Beban emisi dalam g/jam.
 Hari kerja (Senin – Kamis.)
 Hari libur (Jumat – Minggu).

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

e) **Perhitungan Konsentrasi di Berbagai Titik**

Nilai konsentrasi polutan di berbagai titik ini dihitung dengan persamaan Gauss untuk *line source* yaitu rumus (2.1) untuk *runway* dengan akumulasi beban yang telah dihitung sebelumnya. Perhitungan konsentrasi ini dilakukan untuk semua titik reseptor yang direncanakan di tahap "a". Untuk memudahkan perhitungan, digunakan Microsoft Excel. Selanjutnya nilai polutan pada setiap titik akan diakumulasikan.

3.6 **Validasi Hasil Perhitungan**

Validasi hasil perhitungan di penelitian ini bertujuan untuk menentukan hasil perhitungan yang akan dibuat kontur untuk melihat apakah hasil perhitungan sesuai dengan kondisi aslinya. Dalam validasi ini dibandingkan antara data kualitas udara ambien dan nilai dari perhitungan dengan kondisi *Real-Time*. Arah dan kecepatan angin serta emisi CO yang terjadi disesuaikan dengan kondisi pada saat itu. Kemudian dibandingkan hasil pemodelan *Real Time* dengan hasil pengukuran di lapangan.

Dalam perhitungan model *Real Time* digunakan parameter dispersi berdasarkan Air Dispersion modeling (Visscher, 2014). Dari hasil validasi ini akan diketahui skenario dengan parameter dispersi mana yang paling mendekati dengan kondisi sebenarnya. Berikut beberapa tahapan untuk menentukan titik sampling.

1. **Kriteria Lokasi Pengambilan Sampel**

Titik pemantauan kualitas udara ambien ditetapkan dengan mempertimbangkan :

- a) Faktor meteorologi (arah dan kecepatan angin).
- b) Faktor geografi seperti topografi.
- c) Tata guna lahan.

Kriteria berikut dapat dipakai dalam penentuan suatu lokasi pemantauan kualitas udara :

- a) Area dengan konsentrasi pencemaran tinggi. Daerah yang didahulukan untuk dipantau hendaknya daerah-daerah dengan konsentrasi pencemar tinggi.

- b) Area dengan kepadatan penduduk tinggi. Daerah-daerah dengan kepadatan penduduk tinggi, terutama ketika terjadi pencemaran udara yang berat.
- c) Di daerah sekitar lokasi penelitian diperuntukkan kawasan studi maka stasiun pengambilan contoh uji perlu ditempatkan di sekeliling daerah/kawasan.
- d) Di daerah proyeksi. Untuk menentukan efek akibat perkembangan mendatang di lingkungannya.
- e) Mewakili seluruh wilayah studi. Informasi kualitas udara di seluruh wilayah studi harus diperoleh agar kualitas udara diseluruh wilayah dapat dipantau (dievaluasi).

2. Persyaratan pemilihan lokasi pengambilan sampel

Beberapa petunjuk yang dapat digunakan dalam pemilihan titik pengambilan contoh uji adalah:

- a) Hindari tempat yang dapat merubah konsentrasi akibat adanya absorpsi, atau adsorpsi (seperti dekat dengan gedung-gedung atau pohon-pohonan).
- b) Hindari tempat dimana pengganggu kimia terhadap bahan pencemar yang akan diukur dapat terjadi: emisi dari kendaraan bermotor yang dapat mengotori pada saat mengukur ozon, amoniak dari pabrik *refrigerant* yang dapat mengotori pada saat mengukur gas-gas asam.
- c) Hindari tempat dimana pengganggu fisika dapat menghasilkan suatu hasil yang mengganggu pada saat mengukur debu (*particulate matter*) tidak boleh dekat dengan insinerator baik domestik ataupun komersial, gangguan listrik terhadap peralatan pengambil contoh uji dari jaringan listrik tegangan tinggi.
- d) Letakkan peralatan di daerah dengan gedung/bangunan yang rendah dan saling berjauhan.
- e) Apabila pemantauan bersifat kontinyu, maka pemilihan lokasi harus mempertimbangkan perubahan kondisi peruntukan pada masa datang.

Sedangkan peralatan pengambil sampel ditempatkan dengan persyaratan sebagai berikut:

- a) Letakkan peralatan pengambil contoh uji pada daerah yang aman.

- b) Penempatan pengambil contoh uji di atap bangunan dapat lebih baik untuk daerah dengan kepadatan penduduk/bangunan menengah sampai tinggi.
- c) Letakkan di atap bangunan yang bersih dan tidak terpengaruh oleh emisi gas buang dari dapur, insinerator atau sumber lokal lainnya.

Berikut titik sampling jika arah angin menuju ke timur sesuai dengan anak panah putih, dan titik sampling ditunjukkan pada titik kuning di Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Lokasi Titik Sampling

3.7 Pembuatan Kontur Dispersi

Setelah mengetahui konsentrasi di berbagai titik, selanjutnya dibuat kontur dispersi dalam jarak 5 km persebaran. Gambaran ini akan memberikan informasi mengenai persebaran polutan di area penelitian dengan garis kontur yang menghubungkan antar nilai polutan yang sama. Kontur dispersi ini dibuat dengan *software* Surfer. Data yang dimasukkan di *software* ini adalah data titik – titik perhitungan konsentrasi dan hasil perhitungan konsentrasi polutan. Selain menghubungkan nilai polutan yang sama, dalam kontur ini juga akan diberi warna – warna. Warna ini yang akan mewakili nilai konsentrasi dari kondisi udara.

3.8 Penentuan Ruang Terbuka Hijau (RTH)

Setelah didapatkan hasil sebaran konsentrasi terbesar emisi karbon monoksida (CO), kemudian direncanakan penanaman ruang terbuka hijau yang dapat menyisihkan dari total emisi CO yang terbentuk. Perencanaan ruang terbuka hijau dilakukan dengan menambah RTH di lokasi tertentu dengan berdasarkan kemampuan serap CO suatu tanaman.

3.9 Analisis Hasil dan Pembahasan

Setelah didapatkan hasil dari konsentrasi yang didapatkan dengan model, kemudian akan dibandingkan dengan pengukuran data primer untuk validasi data dan ketepatan model yang digunakan untuk mengukur performa model. Penentuan RTH juga dihitung berdasarkan kemampuan tanaman menyerap polutan khususnya CO.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam permodelan ini, dibuat dengan menggunakan 9 buah skenario. Skenario yang digunakan meliputi kondisi ketika terjadi emisi CO minimum, maksimum dan juga rata rata, serta parameter stabilitas atmosfer saat kondisi stabil, tidak stabil dan netral sesuai dengan Tabel 3.1. Perlu diperhatikan juga bahwa arah landing dan take-off pesawat tidak selalu sama, terkadang arahnya akan berganti. Hal tersebut tergantung kondisi arah angin. Pesawat terbang akan lepas landas (*take-off*) dan *landing* berlawanan dengan arah angin. Namun pada penelitian ini menggunakan rumus Gauss dimana keadaan cuaca khususnya arah angin dianggap sama. Pada bab pembahasan akan membahas tentang karakteristik sumber emisi, penentuan nilai emisi CO, arah angin dan kecepatan angin dominan, titik reseptor, parameter dispersi yang digunakan, penentuan *plume rise*, perhitungan konsentrasi di tiap reseptor, penggambaran persebaran emisi, serta strategi pengurangan dampak emisi.

4.1 Karakteristik Sumber emisi

Karakteristik gas buang (emisi) dari satu pesawat akan berbeda dengan pesawat lain. Hal tersebut dipengaruhi oleh jenis mesin pesawat yang digunakan terutama pada cerobong pembuangannya. Perbedaan karakteristik cerobong khususnya pada diameter cerobong, kecepatan gas buang (Exhaust Gas Velocity) serta suhu gas buang (Exhaust gas Temperature) akan menghasilkan *bouyancy flux* yang berbeda. Oleh karena itu, perlu adanya inventarisasi tentang jenis pesawat yang beroperasi serta karakteristik mesin pesawat. Berikut Tabel 4.1 mengenai karakteristik mesin pesawat komersil yang beroperasi di Bandar Udara Internasional Juanda.

Tabel 4. 1 Type pesawat komersil beserta karakteristik mesin

Type	Suhu (°C)	Kecepatan gas buang (m/s)		Diameter (m)
		Horizontal	Vertikal	
A319	622	307	40,63	0,75
A320	622	307	40,63	0,75
A332 (330-200)	434	437	57,837	1,2
A333 (330-300)	434	437	57,837	1,2
ATR72	396	166	21,97	0,5
B733 (737-300)	622	307	40,63	0,75
B735 (737-500)	622	307	40,63	0,75
B738 (737-800)	652	307	40,63	0,75
B739 (737-900)	652	307	40,631	0,75
CRJ1000	459	299.6	39,65	0,65
A332 (330-200)	434	337	44,60	1,2
H25B (Hawker800)	353	187	24,749	0,5
B744 (747-400)	434	337	44,60	1,4

Sumber : (Bilien J, 1989); (EASA, 2012); (EASA, 2013); (Chase D.L, 2001); (GE, 2006); (GE, 2014); (Gallagher D. et al, 2004); (Martin R, 2015); (Baklacioglu T., 2016) (<http://theflyingengineer.com/flightdeck/pw1100g-gtf/>); (<https://booksite.elsevier.com/9780340741528/appendices/data-b/table-3/default.htm>).

Gas buang pesawat dikeluarkan dengan arah horizontal/menyamping. Namun pada kecepatan gas buang dalam rumus (2.8) gas buang yang dimaksud adalah gas buang yang dikeluarkan secara vertikal/ke atas. Oleh karena itu perlu dihitung kembali kecepatan gas buang dengan rumus:

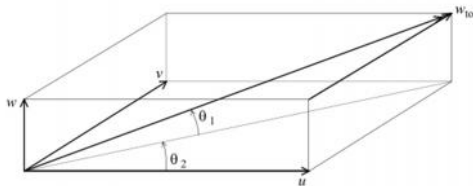
$$w_s = w_{tot} \cdot \sin$$

Dimana :

w_{tot} = Kecepatan gas buang saat vertikal.

\sin = Derajat kemiringan dari sumbu x saat posisi sumber (turbin) mendarat (asumsi kemiringan = 15°).

Berikut merupakan Gambar 4.1 mengenai arah gas buang saat horizontal.



Gambar 4. 1 Arah gas buang arah horizontal

4.2 Emisi CO

Nilai emisi CO ditentukan berdasarkan perhitungan emisi pesawat yang beroperasi seperti pada Tabel 3.2. Pada tabel tersebut merupakan rekaman dari *traffic counting* pada tanggal 1 Maret 2017 – 7 Maret 2017. Kemudian dari tabel tersebut diambil suatu 3 poin emisi yang akan digunakan untuk perhitungan model, yaitu saat emisi CO maksimum, saat emisi CO minimum dan rata-rata emisi CO. Tabel 4.2 merupakan simpulan emisi CO yang digunakan :

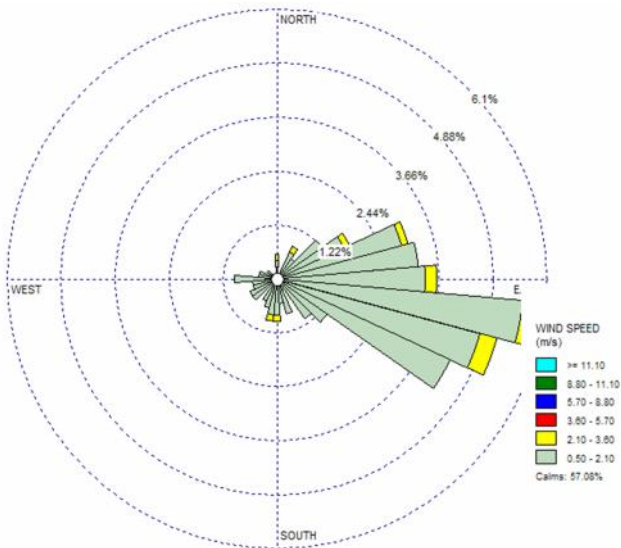
Tabel 4. 2 Nilai emisi CO

Emisi CO	Konsentrasi ($g/m^3 \cdot jam$)	Terjadi pada Hari
Maksimum	179,83	Jumat Pukul 15.00
Minimum	52,16	Rabu Pukul 21.00
Rata - rata	111,38	Rabu Pukul 17.00

Dari Tabel 4.2 di atas diketahui bahwa emisi maksimum terjadi pada hari libur yaitu hari Jumat pada jam 15.00 - 15.59 dengan total emisi CO. Dari data dari lampiran tersebut diambil total emisi pesawat yang beroperasi pada pukul 15.00-15.59. Emisi minimum terjadi pada hari kerja yaitu hari Rabu pada jam 21.00 - 21.59 dapat dilihat pada lampiran A 1a dan 1b yaitu total emisi yang dikeluarkan pesawat yang beroperasi pada pukul 21.00-21.59. Sedangkan untuk emisi rata rata harian diambil dari nilai terdekat dari rata rata penerbangan dalam 1 minggu. Dalam 1 minggu didapatkan rata rata sebesar $111,43 \text{ g/m}^3 \cdot \text{jam}$ sehingga dipilih emisi CO perjamnya yang mendekati angka tersebut. Pada hari rabu pukul 17.00-17.59 digunakan sebagai acuan beban rata-rata karena emisi CO pada waktu tersebut adalah $111,38 \text{ g/m}^3 \cdot \text{jam}$. Data emisi CO pada hari rabu pukul 17.00-17.59 dapat dilihat pada lampiran A 1a dan 1b pada pukul 17.00-17.59.

4.3 Arah Angin dan Kecepatan Angin

Data mengenai arah angin dan kecepatan didapatkan dari data BMKG dan menggunakan data pada bulan April 2016. Data tersebut dipakai karena menunjukkan bagaimana pergerakan angin tepat 1 tahun lalu serta digunakan sebagai acuan prediksi pergerakan angin pada tahun ini. Selanjutnya data tersebut diolah dengan menggunakan software WRPLOT seri 8.0.0 untuk memplot *wind rose*. Dari data *wind rose* tersebut akan digunakan arah angin dan kecepatan angin dominan dalam pembuatan model. Pada Gambar 4.2 mengenai *wind rose* diketahui bahwa arah angin dominan dari arah timur ke arah barat atau 280° ke arah barat, dan kecepatan angin sebesar $0,52 \text{ m/s}$ pada elevasi 1 meter di atas permukaan tanah. Kecepatan angin yang akan digunakan pada pemakaian model Gauss adalah saat ketinggian 3 meter yaitu ketinggian cerobong gas buang pesawat dari tanah.



Gambar 4. 2 *Wind rose*

Selanjutnya dengan menggunakan rumus (2.5) didapatkan nilai kecepatan udara pada 3 meter di atas permukaan tanah sesuai dengan ketinggian cerobong gas buang pesawat dari tanah berikut contoh perhitungannya :

$$u = U_0 \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^p$$

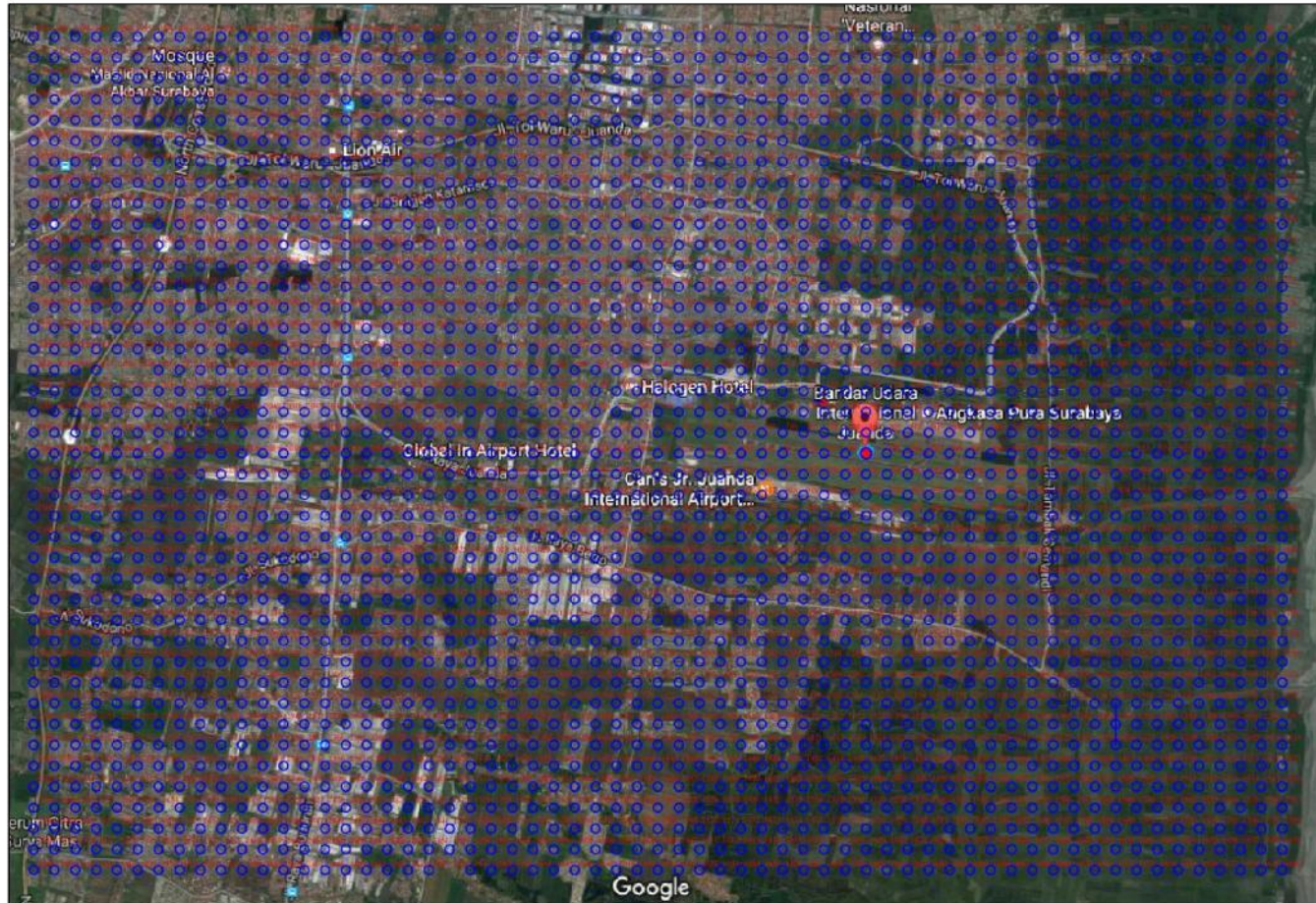
$$u = 0,52 \left(\frac{3}{1} \right)^{0,15}$$

$$u = 0,6131 \text{ m/s}$$

4.4 Titik Reseptor

Pada penelitian ini akan dihitung sebanyak 2500 titik reseptor dengan radius maksimum 10 km. Berikut lokasi titik –titik reseptor pada Gambar 4.3.

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Judul Tugas Akhir	Judul Gambar	Nama Mahasiswa	Dosen Pembimbing	Skala
Studi Dispersi Emisi Karbon Monoksida oleh Pesawat Komersil dari Sumber Garis (<i>Line Source</i>) di Bandar Udara Internasional Juanda	Gambar 4.3 Titik Reseptor	Gibran Muhammad Fawwaz 3313100062	Dr. Eng. Arie Dipareza S. S.T., MEPM.	1 : 7000
				Halaman
				47

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

4.5 Parameter dispersi

Perhitungan parameter dispersi ini dihitung berdasarkan stabilitas atmosfer/ keadaan cuaca. Suhu udara dan tutupan awan dalam proses dispersi zat pencemar akan mempengaruhi stabilitas udara. Gradien perubahan suhu udara akan berpengaruh sangat kuat terhadap kestabilan atmosfer. Pada proses dispersi stabilitas udara akan mempengaruhi tipe atau bentuk polutan ke daerah penerima, sehingga menyebabkan persebaran CO berbeda-beda. Stabilitas atmosfer yang digunakan adalah saat kondisi Stabil (A-B), Netral (C) dan kondisi Tidak stabil (E-F) seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6. Berikut contoh perhitungan parameter dispersi :

Diketahui : Stabilitas Atmosfer A

Jarak Downwind (x) = 1000 m.

$$y = 0,32 * x * (1 + 0,0004x)^{-0.5}$$

$$y = 0,32 * 1000 * (1 + 0,0004 * 1000)^{-0.5}$$

$$y = 270,4494 \text{ m}$$

$$z = 0,24 * x * (1 + 0,0001x)^{-0.5}$$

$$z = 0,24 * 1000 * (1 + 0,0001 * 1000)^{-0.5}$$

$$z = 228,831 \text{ m}$$

Selanjutnya dengan cara yang sama dapat dihitung y dan z pada setiap stabilitas atmosfernya.

4.6 Plume rise

Angka besarnya *plume rise* untuk tiap - tiap jenis pesawat akan berbeda - beda. Oleh karena itu pada penelitian ini, akan menggunakan rata - rata *plume rise* terhadap pesawat yang beroperasi pada saat emisi CO maksimum, minimum, dan rata rata. Perhitungan *plume rise* menggunakan persamaan (2.8) dimana besarnya *bouyancy flux* akan mempengaruhi nilai *plume rise*. *Bouyancy flux* sendiri akan berbeda - beda tergantung dengan karakteristik gas buang, sedangkan gas buang pesawat memiliki karakteristik berbeda beda - sesuai dengan mesin yang digunakan. Berikut contoh perhitungan *bouyancy flux* pesawat A320:

$$F_b = \frac{g \cdot w \cdot d \cdot s^2 \cdot (T_s - T_a)}{4T_s}$$

$$= \frac{9,81.40,63.0,75^2.(622-30)}{4.622} = 53,349 \text{ m}$$

Selanjutnya dihitung untuk semua jenis pesawat yang beroperasi dengan cara yang sama. Berikut Tabel 4.3 mengenai nilai *bouyancy Flux* tiap masing masing jenis pesawat. Untuk detailnya dapat dilihat pada lampiran B.

Tabel 4. 3 *Bouyancy Flux* pesawat

Type	Manufacture	Fb (m)
A319	Airbus	53,349
A320	Airbus	53,349
A332 (330-200)	Airbus	190,14
A333 (330-300)	Airbus	190,14
ATR72	ATR	12,45
B733 (737-300)	Boeing	53,349
B735 (737-500)	Boeing	53,349
B738 (737-800)	Boeing	53,47
B739 (737-900)	Boeing	53,47
CRJ1000	Bombardier Aerospace	38,40
A332 (330-200)	Airbus	146,629
H25B (Hawker800)	Hawker Beechcraft	13,885
B744 (747-400)	Boeing	199,579

Setelah diketahui berapa besar *bouyancy flux* selanjutnya dihitung *plume rise* (h). Berikut contoh perhitungan *plume rise* pesawat Airbus A320 pada skenario 1.a & ATR 72 pada skenario 2.b dengan rumus (2.8) (2.9) atau (2.10).

Airbus A332 Skenario 1.a

Fb < 55 maka,

$$\begin{aligned} X &= 119 * Fb^{5/8} \\ &= 119 * 190,14^{5/8} \end{aligned}$$

$$= 3162,043$$

U saat beban maksimum (skenario 1.a) adalah 2.2352 m/s

$$\Delta h = \frac{1,6 Fb^{1/3} \cdot X^{2/3}}{u}$$

$$\Delta h = \frac{1,6 * 53,349^{1/3} * 3162,043^{2/3}}{2,2352 \frac{m}{s}} = 738,969 \text{ m}$$

ATR 72 Skenario 2.b

$$\begin{aligned} X &= 49 * Fb^{5/8} \\ &= 49 * 12,45^{5/8} \\ &= 236,962 \end{aligned}$$

U saat emisi CO rata-rata (skenario 2.b) adalah 2.682 m/s

$$\Delta h = \frac{1,6 Fb^{1/3} \cdot X^{2/3}}{u}$$

$$\Delta h = \frac{1,6 * 12,45^{1/3} * 236,962^{2/3}}{2,682 \frac{m}{s}} = 52,94 \text{ m.}$$

Setelah di dapatkan *plume rise* (Δh) masing - masing jenis pesawat, selanjutnya dengan cara yang sama dihitung *plume rise* rata - rata perjamnya untuk setiap pesawat yang beroperasi pada saat emisi CO maksimum (Jumat 15.00), minimum (Rabu 21.00) dan emisi CO rata rata (Rabu 17.00). Berikut adalah Tabel 4.4 mengenai nilai *plume rise* tiap beban emisi CO.

Tabel 4. 4 Nilai *plume rise* tiap beban emisi CO

h Saat Emisi CO Minimum	
Pesawat yang beroperasi	h (m)
A320	244.187
B738	244.613
B739	244.613
Rata Rata	244.471

h Saat Emisi CO Maksimum	
Pesawat yang beroperasi	h (m)
A320	284.884
A332	886.762
AT72	63.5302
B738	342.459
B739	342.459
CRK	147.865
Rata Rata	344.66

h Saat Emisi CO Rata rata	
Pesawat yang beroperasi	h (m)
A320	284.884
A333	738.969
B733	284.884
B738	285.382
B739	285.382
Rata Rata	375.9

4.7 Konsentrasi di reseptor

Perhitungan konsentrasi dilakukan ke semua titik reseptor dari semua sumber emisi. Untuk perhitungan konsentrasi menggunakan persamaan Gauss sesuai dengan persamaan (2.1). Berikut adalah contoh perhitungan konsentrasi di titik 747 yang berjarak 3,779 km dari sumber dengan kemiringan 8° dari sumber, sesuai dengan Gambar 4.3 dengan menggunakan emisi CO maksimum yaitu $179,83 \text{ g/ m}^3 \cdot \text{jam}$ sesuai pada Tabel 4.2 (skenario 1.a) dan contoh perhitungan di Titik 970 yang berjarak 1,902 km dari sumber dengan kemiringan 23° dari sumber pada emisi CO rata rata yaitu $111,3828 \text{ g/ m}^3 \cdot \text{jam}$ (skenario 1.b).

Titik 747 Skenario 1.a

Emisi CO	=	$179,83 \text{ g/ m}^3 \cdot \text{jam}$	
u'	=	$0,763828 \text{ m/s}$	
x	=	3038 m	
y	=	15.315 m	
y	=	653.2244	
z	=	638.6037	
z	=	1 m	
h	=	308.8854 m	
H_s	=	3 m	
H	=	$h + h_s$	= 311.8854 m.

$$C = \frac{Q}{2\pi u \sigma y \sigma z} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \left| \frac{y^2}{\sigma y^2} \right| \right) \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{z-H^2}{\sigma z}\right) + \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{z+H^2}{\sigma z}\right)$$

$$C = \frac{179,83}{2.3,14.0,76.653,2244.638,6037} \cdot \left\{ \exp\left(\frac{1}{2} \frac{15,315^2}{653,2244^2}\right) \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{1-310,8854^2}{638,6037}\right) + \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{2+310,8854^2}{310,8854}\right) \right\}$$

$$C = 159,6097 \cdot 10^{-6} \text{ g/m}^3 \cdot \text{jam}$$

$$C = 159,6097 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \cdot \text{jam}$$

Titik 970 Skenario 1.b

$$\text{Emisi CO} = 111,3828 \text{ g/m}^3 \cdot \text{jam}$$

$$u' = 0,763828 \text{ m/s}$$

$$x = 1850 \text{ m}$$

$$y = 442,43 \text{ m}$$

$$y = 448,7746$$

$$z = 407,8512$$

$$z = 1 \text{ m}$$

$$h = 317,6391 \text{ m}$$

$$H_s = 3 \text{ m}$$

$$H = h + h_s = 320,6391 \text{ m}$$

$$C = \frac{Q}{2\pi u \sigma y \sigma z} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \left| \frac{y^2}{\sigma y^2} \right| \right) \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{z-H^2}{\sigma z}\right) + \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{z+H^2}{\sigma z}\right)$$

$$C = \frac{111,38}{2.3,14.0,76.448,77.407,85} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{442,43^2}{407,85^2}\right) \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{2-319,63^2}{407,85}\right) + \exp\left(\frac{1}{2} \frac{2+310,88^2}{407,85}\right)$$

$$C = 114,825 \cdot 10^{-6} \text{ g/m}^3 \cdot \text{jam}$$

$$C = 114,825 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \cdot \text{jam}$$

Dengan perhitungan yang sama, dihitung semua konsentrasi di titik reseptor. Selanjutnya diperoleh 2500 nilai konsentrasi dan akumulasi 9 skenario yang berbeda - beda. Dari data konsentrasi yang didapat per skenario, kemudian dibuat kontur grafik persebaran konsentrasi.

4.8 Kontur dispersi

Dari nilai konsentrasi masing masing titik reseptor dari 9 skenario, selanjutnya digambarkan persebarannya dengan menggunakan software *surfer*. Pada software ini nilai x dan y menggunakan koordinat pada peta (*google earth*) sedangkan nilai z menggunakan hasil konsentrasi model. Kontur dispersi akan digambarkan dengan skenario 1.a; 1.b; 1.c; 2.a; 2.b; 2.c; 3.a; 3.b; dan 3.c. Sedangkan tingkat pencemaran CO ditunjukkan dengan Tabel 4.5 Tingkat pencemaran gas CO berdasarkan Kep. Bapedal No. 107 tahun 1997 sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Tingkat pencemaran gas CO

Kategori	Konsentrasi gas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Baik	0 – 5000
Sedang	5000 – 10000
Tidak Sehat	10000 – 17000
Sangat Tidak Sehat	17000 – 34000
Berbahaya	>34000

A. Skenario 1.a.

Skenario 1.a. merupakan skenario emisi CO maksimum (saat hari libur) dan stabilitas atmosfer tidak stabil (A-B) pada Gambar 4.4 terlihat bahwa persebaran cenderung kearah barat sesuai dengan arah angin dominan. Persebaran pada skenario ini mencakup area yang cukup luas dengan konsentrasi persebaran yang cukup tinggi di titik reseptor, sehingga walaupun jaraknya jauh, konsentrasi persebarannya masih tersisa. Warna merah menunjukkan titik terjadinya persebaran gas CO dengan konsentrasi tertinggi. Pada skenario ini persebaran konsentrasi gas CO berkisar antara 0-635 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam. Pada Gambar 4.4 dapat diketahui juga bahwa dispersi emisi terbesar terdapat pada titik reseptor 619 dengan konsentrasi sebesar 635,751 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam

serta berjarak 4,425 km dari sumber. Pada kondisi ini tingkat konsentrasi CO masih di bawah baku mutu dan aman bagi kesehatan manusia.

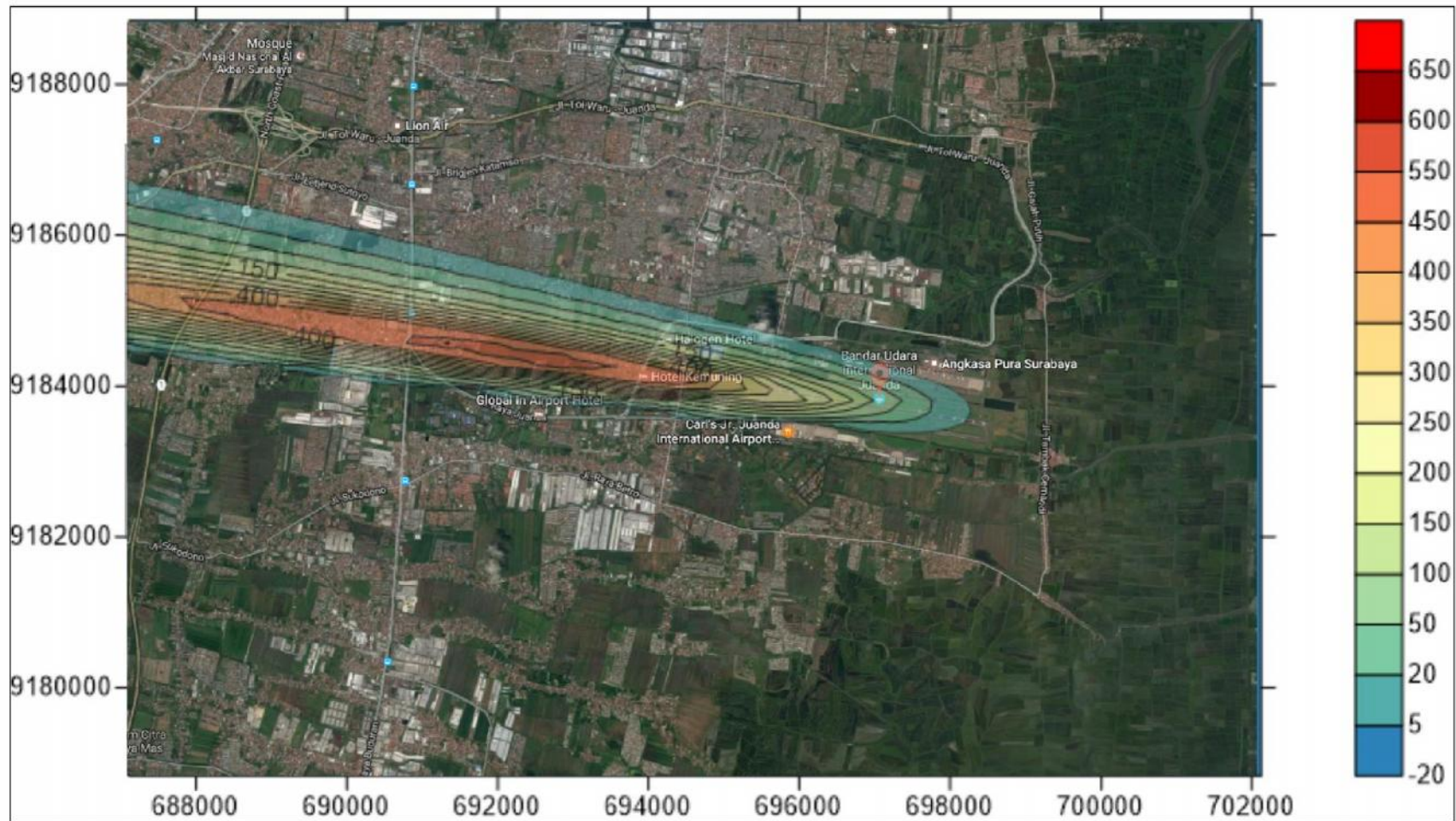
B. Skenario 1.b.

Skenario 1.b. merupakan skenario emisi CO rata-rata harian dan stabilitas atmosfer tidak stabil (A-B). Sama seperti kondisi sebelumnya persebaran cenderung mengikuti arah angin dominan yaitu ke arah barat pada Gambar 4.5. Namun yang membedakannya adalah emisi COnya lebih kecil dibandingkan skenario 1.a. sehingga konsentrasi persebaran di titik reseptor lebih kecil juga. Pada skenario ini persebaran konsentrasi gas CO berkisar antara 0-330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam. Pada Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa dispersi emisi terbesar terdapat pada titik reseptor 1963 dengan konsentrasi 334,209 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam serta berjarak 5,936 km dari sumber. Pada kondisi ini tingkat konsentrasi CO masih di bawah baku mutu dan aman bagi kesehatan manusia.

C. Skenario 1.c.

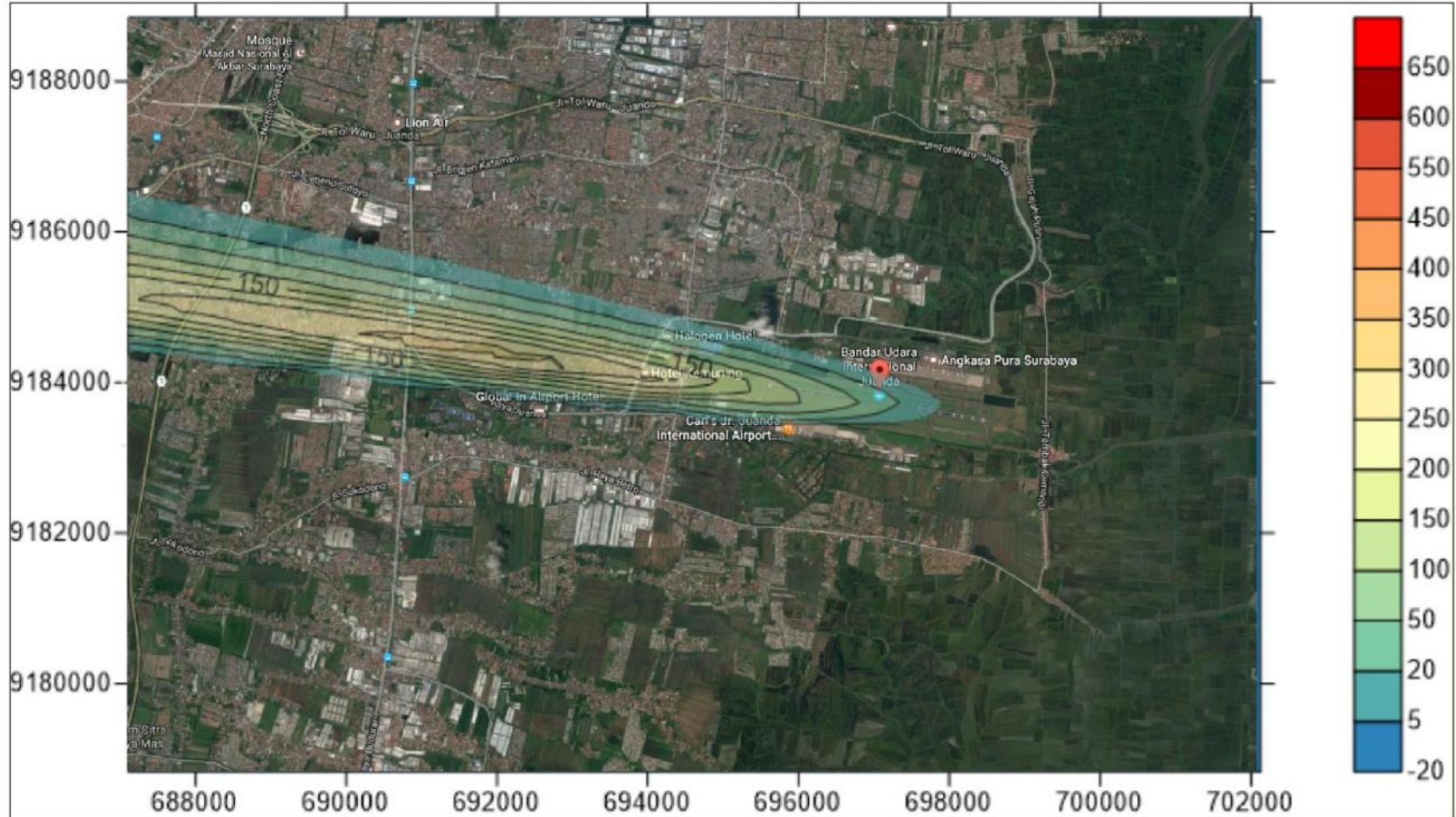
Skenario 1.c. merupakan skenario emisi CO minimum (hari kerja) dan stabilitas atmosfer tidak stabil (A-B). Sama seperti skenario sebelumnya arah persebaran cenderung kearah barat searah dengan arah angin dominan pada Gambar 4.6. Namun pada skenario ini sedikit berbeda dengan yang lain karena persebarannya lebih luas walaupun emisi COnya paling kecil, hal ini disebabkan oleh perbedaan *plume rise*. Pada skenario emisi CO rendah (skenario c) didapatkan *plume rise* yang jauh lebih rendah dari pada skenario a dan b, sehingga pada ketinggian reseptor konsentrasi titik reseptor yang berlawanan dengan arah angin dominan masih terbaca. Persebaran konsentrasi gas CO pada reseptor berkisar 0-175 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam. Pada Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa dispersi emisi terbesar terdapat pada titik reseptor 1963 dengan konsentrasi 176,966 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam dan berjarak 5,936 km dari sumber. Pada kondisi ini tingkat konsentrasi CO masih di bawah baku mutu dan aman bagi kesehatan manusia.

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”



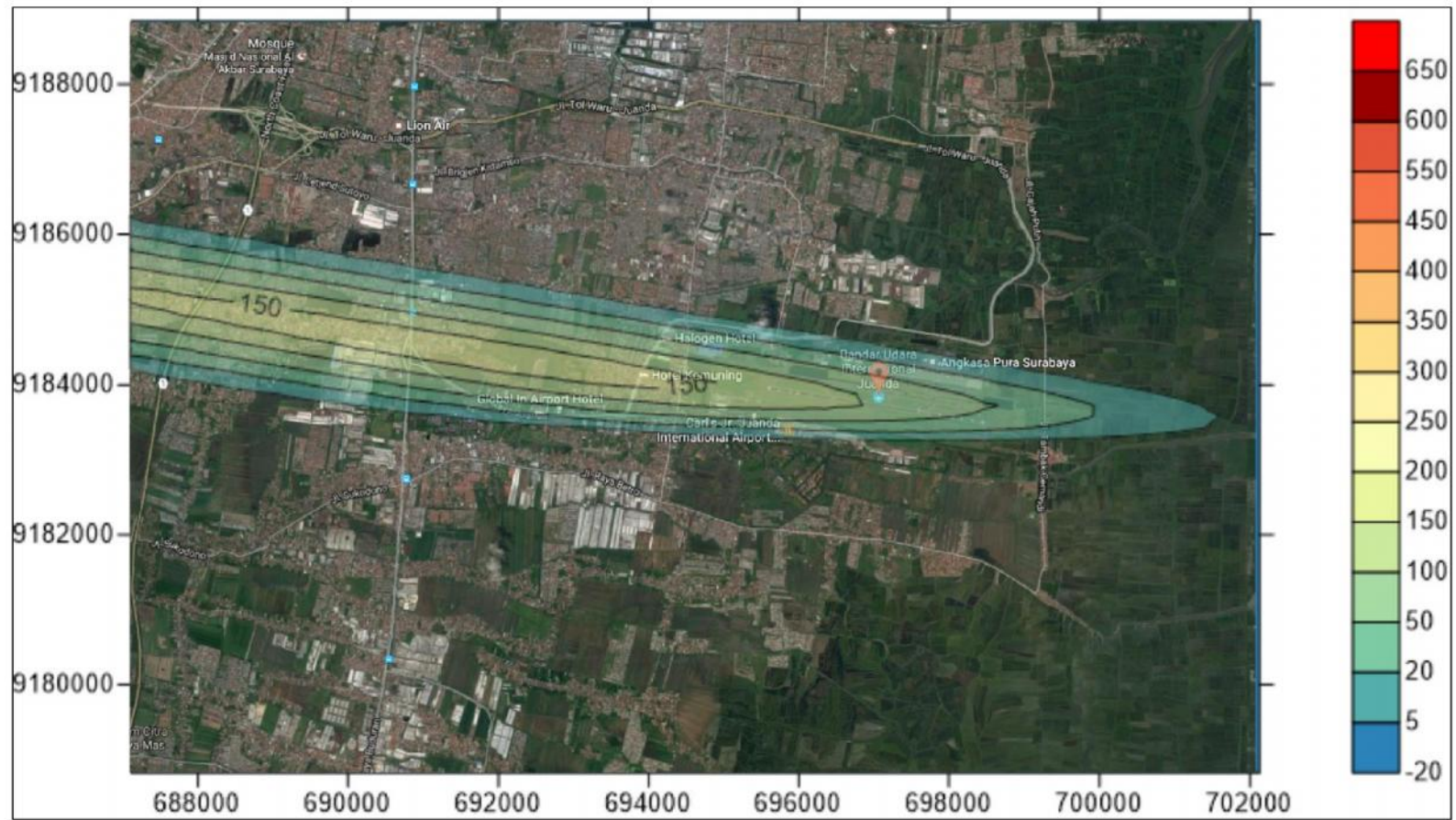
Departemen Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya

Judul Tugas Akhir	Judul Gambar	Nama Mahasiswa	Dosen Pembimbing	Skala
Studi Dispersi Emisi Karbon Monoksida oleh Pesawat Komersil dari Sumber Garis (Line Source) di Bandar Udara Internasional Juanda	Gambar 4.4 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 1.a	Gibran Muhammad Fawwaz 3313100062	Dr. Eng. Arie Dipareza S. S.T., MEPM.	1 : 7000
				Halaman
				57



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Judul Tugas Akhir	Judul Gambar	Nama Mahasiswa	Dosen Pembimbing	Skala
Studi Dispersi Emisi Karbon Monoksida oleh Pesawat Komersil dari Sumber Garis (<i>Line Source</i>) di Bandar Udara Internasional Juanda	Gambar 4.5 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 1.b	Gibran Muhammad Fawwaz 3313100062	Dr. Eng. Arie Dipareza S. S.T., MEPM.	1 : 7000
				Halaman
				58



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Judul Tugas Akhir	Judul Gambar	Nama Mahasiswa	Dosen Pembimbing	Skala
Studi Dispersi Emisi Karbon Monoksida oleh Pesawat Komersil dari Sumber Garis (<i>Line Source</i>) di Bandar Udara Internasional Juanda	Gambar 4.6 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 1.c	Gibran Muhammad Fawwaz 3313100062	Dr. Eng. Arie Dipareza S. S.T., MEPM.	1 ; 7000
				Halaman
				59

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

D. Skenario 2.a.

Skenario 2.a. merupakan skenario emisi CO maksimum (hari libur) dan stabilitas atmosfer netral (C). Sama seperti skenario 1, persebaran emisi cenderung ke arah barat searah arah angin dominan pada Gambar 4.7. Namun pada skenario ini menggunakan stabilitas atmosfer netral dimana persebaran tidak terlalu meluas sehingga persebarannya terakumulasi di suatu titik. Persebaran konsentrasi gas CO pada reseptor berkisar antara 0-480 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam Pada Gambar 4.7 dapat diketahui juga bahwa dispersi emisi terbesar terdapat pada titik reseptor 666 dengan konsentrasi sebesar 478,376 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam serta berjarak 2,923 km dari sumber. Pada kondisi ini tingkat konsentrasi CO masih di bawah baku mutu dan aman bagi kesehatan manusia.

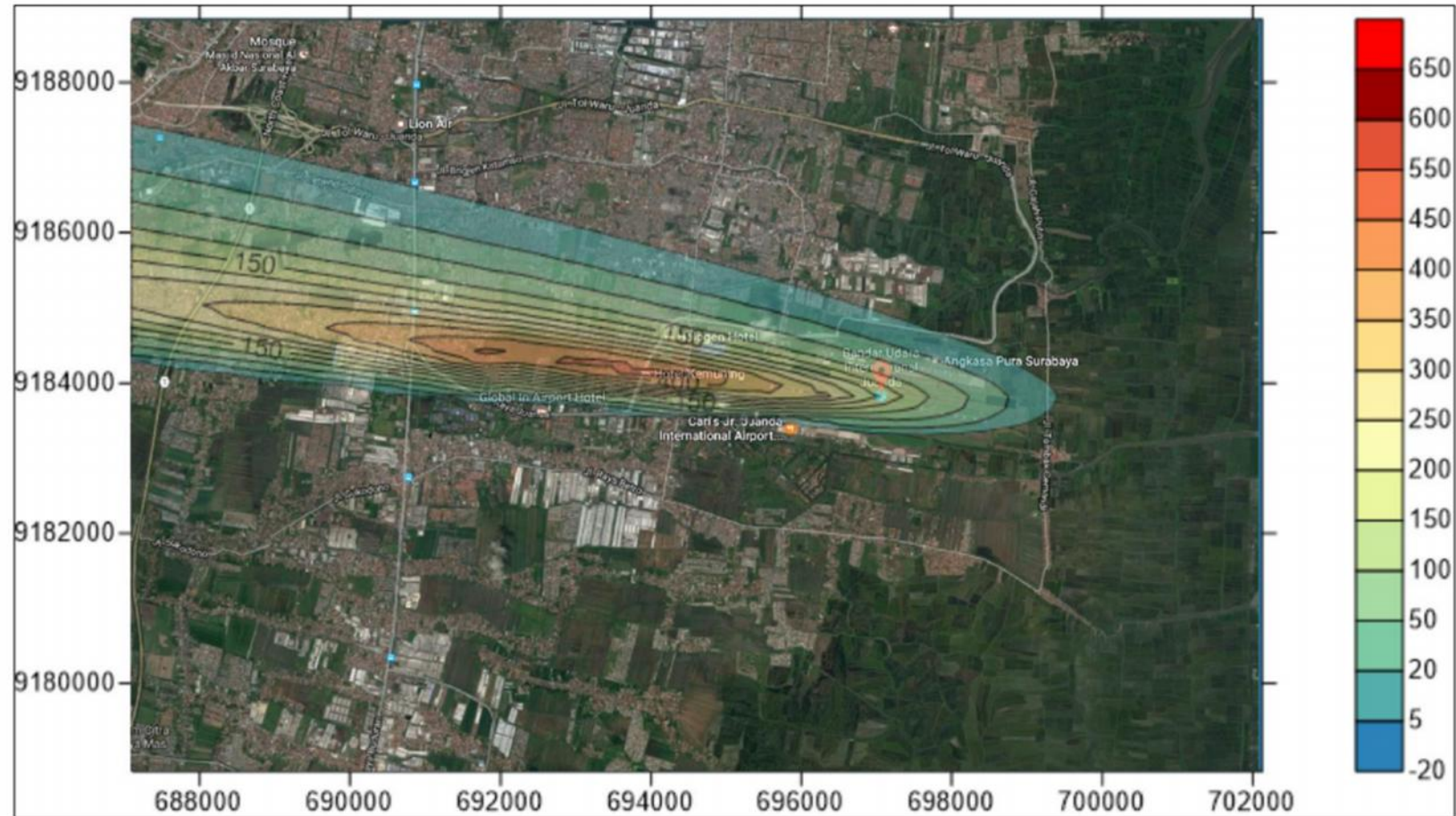
E. Skenario 2.b.

Skenario 2.b. merupakan skenario emisi CO rata-rata harian dan stabilitas atmosfer netral (C). Persebaran konsentrasi CO cenderung ke arah barat searah dengan arah angin dominan pada Gambar 4.8. Persebaran konsentrasi gas CO pada skenario 2.b cenderung sama seperti skenario 2.a yang membedakan adalah emisi CO nya dan *plume rise* lebih rendah, walaupun perbedaan *plume rise* tidak terlalu jauh. Persebaran konsentrasi gas CO pada reseptor berkisar antara 0-256 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam. Pada Gambar 4.8 diketahui bahwa dispersi emisi terbesar terdapat pada titik reseptor 666 dengan konsentrasi 256,585 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam serta berjarak 2,923 km dari sumber. Pada kondisi ini tingkat konsentrasi CO masih di bawah baku mutu dan aman bagi kesehatan manusia.

F. Skenario 2.c.

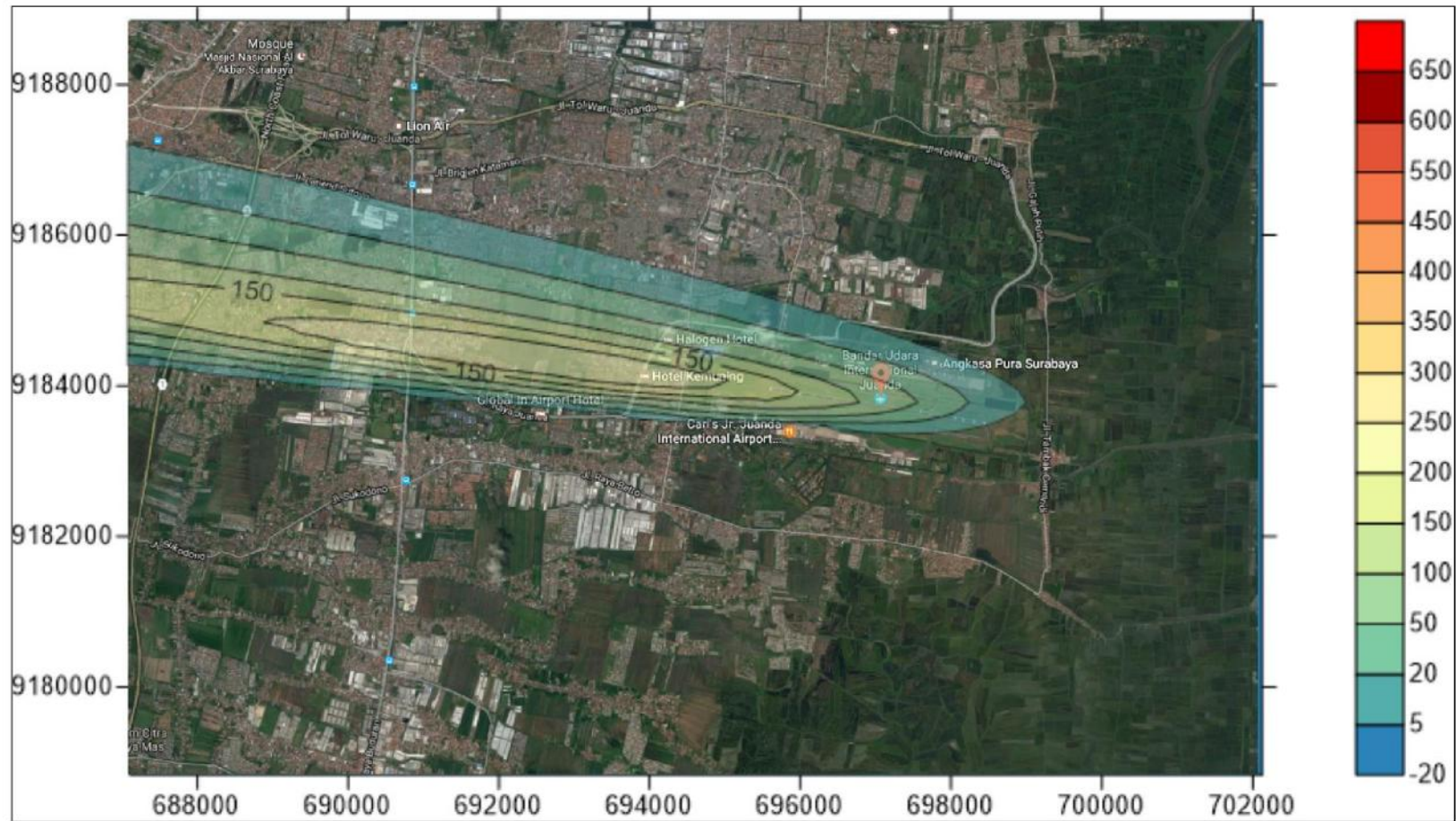
Skenario 2.c. merupakan skenario emisi CO minimum (hari kerja) dan stabilitas atmosfer netral (C) persebaran sesuai dengan arah angin dominan yaitu ke arah barat pada Gambar 4.9. Sama pada skenario 1.c *plume rise* pada skenario ini lebih rendah sehingga pada ketinggian reseptor masih terbaca. Persebaran konsentrasi gas CO pada reseptor berkisar antara 0-177 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam Pada Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa dispersi emisi terbesar terdapat pada titik reseptor 666 dengan konsentrasi 176,237 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam dan berjarak 2,923 km dari sumber. Pada kondisi ini tingkat konsentrasi CO masih di bawah baku mutu dan aman bagi kesehatan manusia.

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”



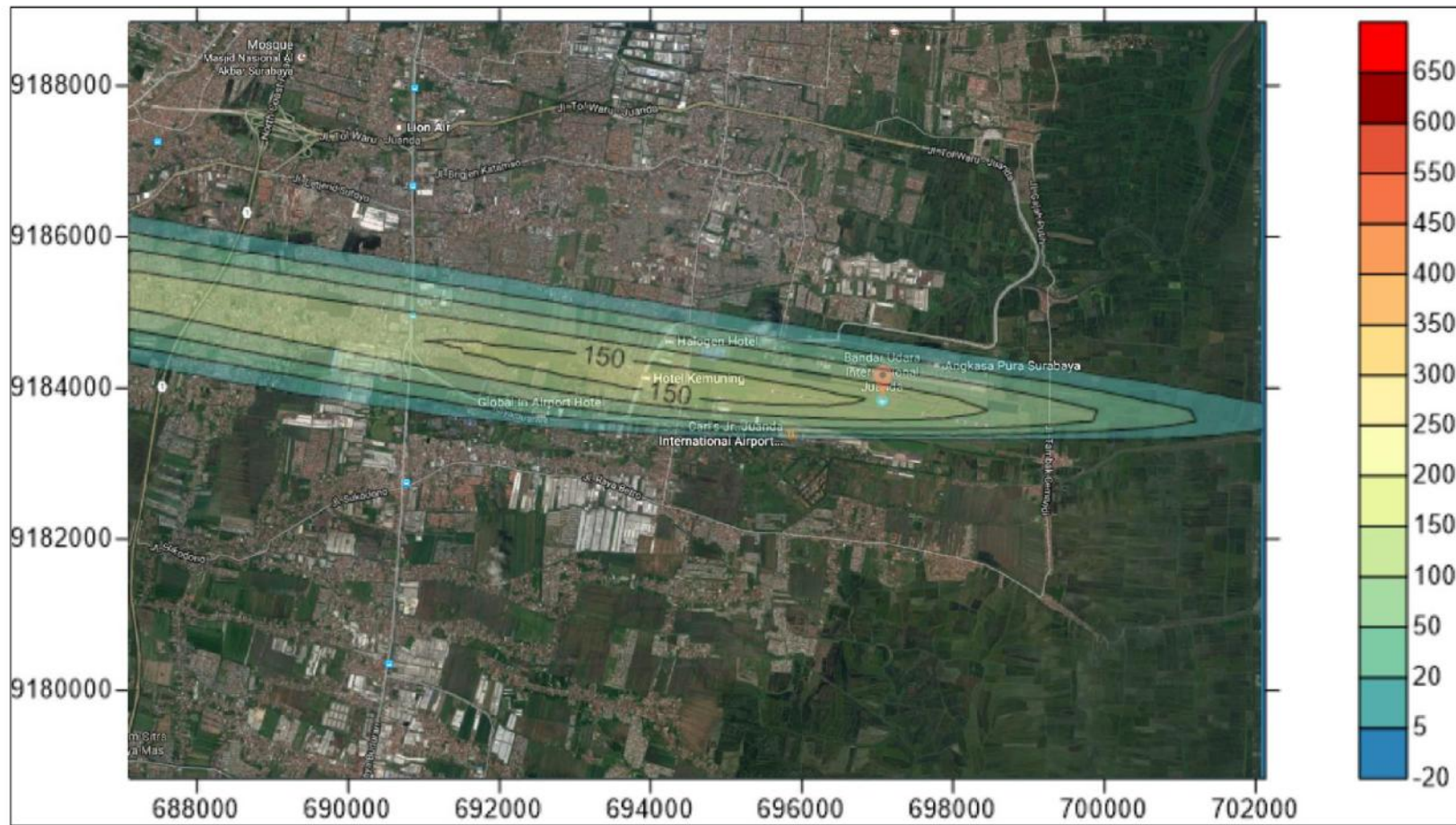
Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Judul Tugas Akhir	Judul Gambar	Nama Mahasiswa	Dosen Pembimbing	Skala
Studi Dispersi Emisi Karbon Monoksida oleh Pesawat Komersil dari Sumber Garis (<i>Line Source</i>) di Bandar Udara Internasional Juanda	Gambar 4.7 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 2.a	Gibran Muhammad Fawwaz 3313100062	Dr. Eng. Arie Dipareza S. S.T., MEPM.	1 : 7000
				Halaman
				63



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Judul Tugas Akhir	Judul Gambar	Nama Mahasiswa	Dosen Pembimbing	Skala
Studi Dispersi Emisi Karbon Monoksida oleh Pesawat Komersil dari Sumber Garis (<i>Line Source</i>) di Bandar Udara Internasional Juanda	Gambar 4.7 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 2.b	Gibran Muhammad Fawwaz 3313100062	Dr. Eng. Arie Dipareza S. S.T., MEPM.	1 : 7000
				Halaman
				64



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Judul Tugas Akhir	Judul Gambar	Nama Mahasiswa	Dosen Pembimbing	Skala
Studi Dispersi Emisi Karbon Monoksida oleh Pesawat Komersil dari Sumber Garis (<i>Line Source</i>) di Bandar Udara Internasional Juanda	Gambar 4.8 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 2.c	Gibran Muhammad Fawwaz 3313100062	Dr. Eng. Arie Dipareza S. S.T., MEPM.	1 ; 7000
				Halaman
				65

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

G. Skenario 3.a.

Skenario 3.a. merupakan skenario emisi CO maksimum (hari libur) dan stabilitas atmosfer stabil (E-F) Persebaran gas CO kearah barat sesuai dengan arah dominan. Pada stabilitas atmosfer stabil, persebarannya cenderung tetap di satu titik sehingga pada reseptor terbaca kecil. Persebaran gas CO pada reseptor berkisar 0-0,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam. Pada Gambar 4.10 diketahui bahwa dispersi emisi terbesar terdapat pada titik reseptor 1920 dengan konsentrasi 1,73702 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam dan berjarak 10,239 km dari sumber. Pada kondisi ini tingkat konsentrasi CO masih di bawah baku mutu dan aman bagi kesehatan manusia.

H. Skenario 3.b.

Skenario 3.b. merupakan skenario emisi CO rata - rata harian dan stabilitas atmosfer stabil (E-F). Persebaran emisi kearah barat sesuai dengan arah angin dominan. Sama seperti skenario 3.a, dimana stabilitas atmosfer stabil menyebabkan persebaran cenderung tetap disatu titik, sehingga konsentrasi pada titik reseptor hanya terbaca kecil. Sebaran gas CO pada reseptor berkisar 0-0,0047 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam Pada Gambar 4.11 diketahui bahwa dispersi emisi terbesar terdapat pada titik reseptor 1900 dengan konsentrasi 0,27951 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam dan berjarak 10,297 km dari sumber. Pada kondisi ini tingkat konsentrasi CO masih di bawah baku mutu dan aman bagi kesehatan manusia.

I. Skenario 3.c.

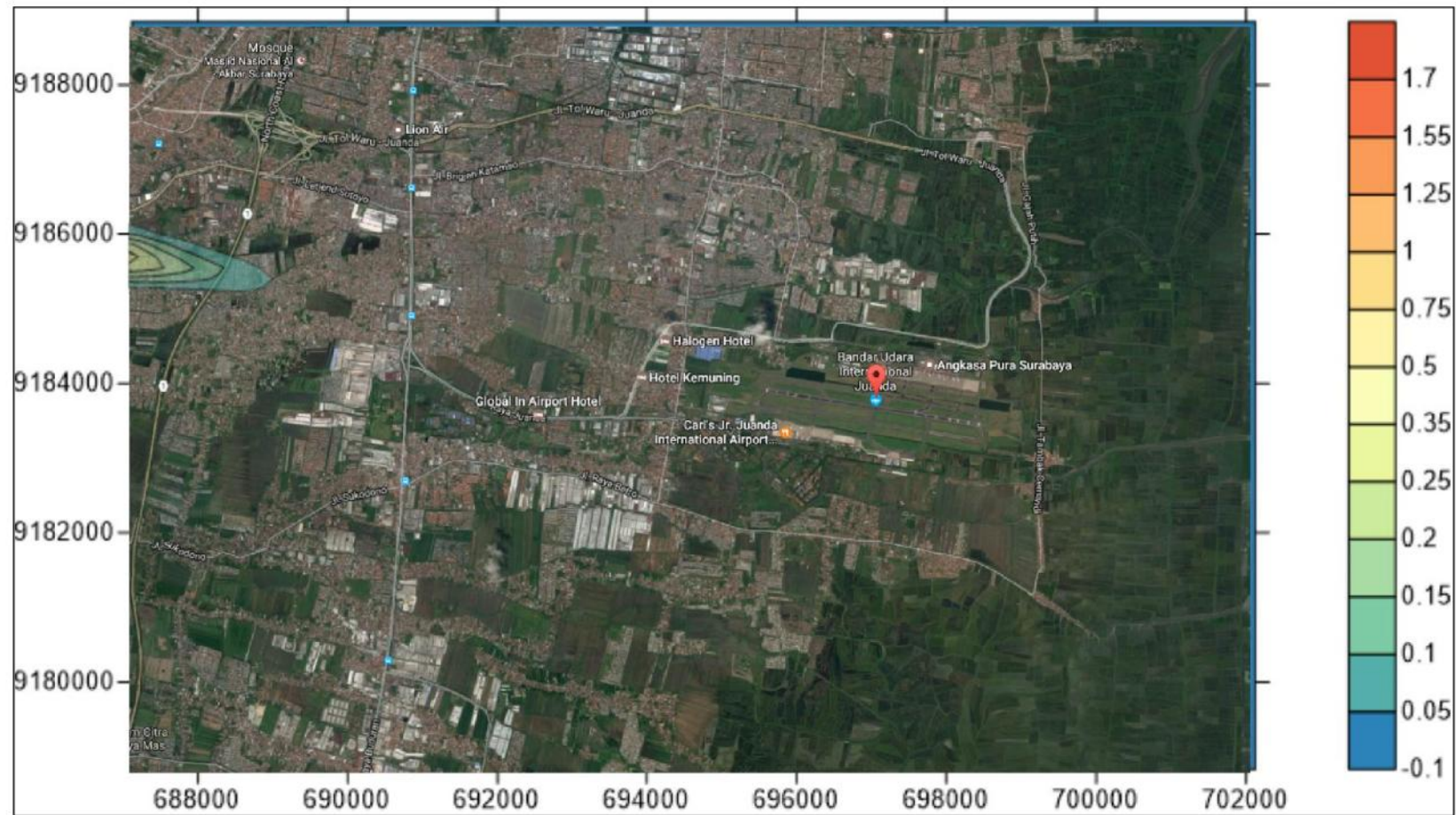
Skenario 3.c. merupakan skenario emisi CO minimum dan stabilitas atmosfer stabil (E-F). Persebaran emisi searah dengan arah angin dominan yaitu ke arah barat. Sama seperti skenario 1c dan 2c, angka *plume rise* lebih rendah sehingga pada titik reseptor persebaran emisinya masih terbaca. Persebaran konsentrasi gas CO pada reseptor berkisar antara 0-88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam Pada Gambar 4.12 diketahui bahwa dispersi emisi terbesar terdapat pada titik reseptor 1920 dengan konsentrasi 156,054 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.jam dan berjarak 10,297 km dari sumber. Pada kondisi ini tingkat konsentrasi CO masih di bawah baku mutu dan aman bagi kesehatan manusia.

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”



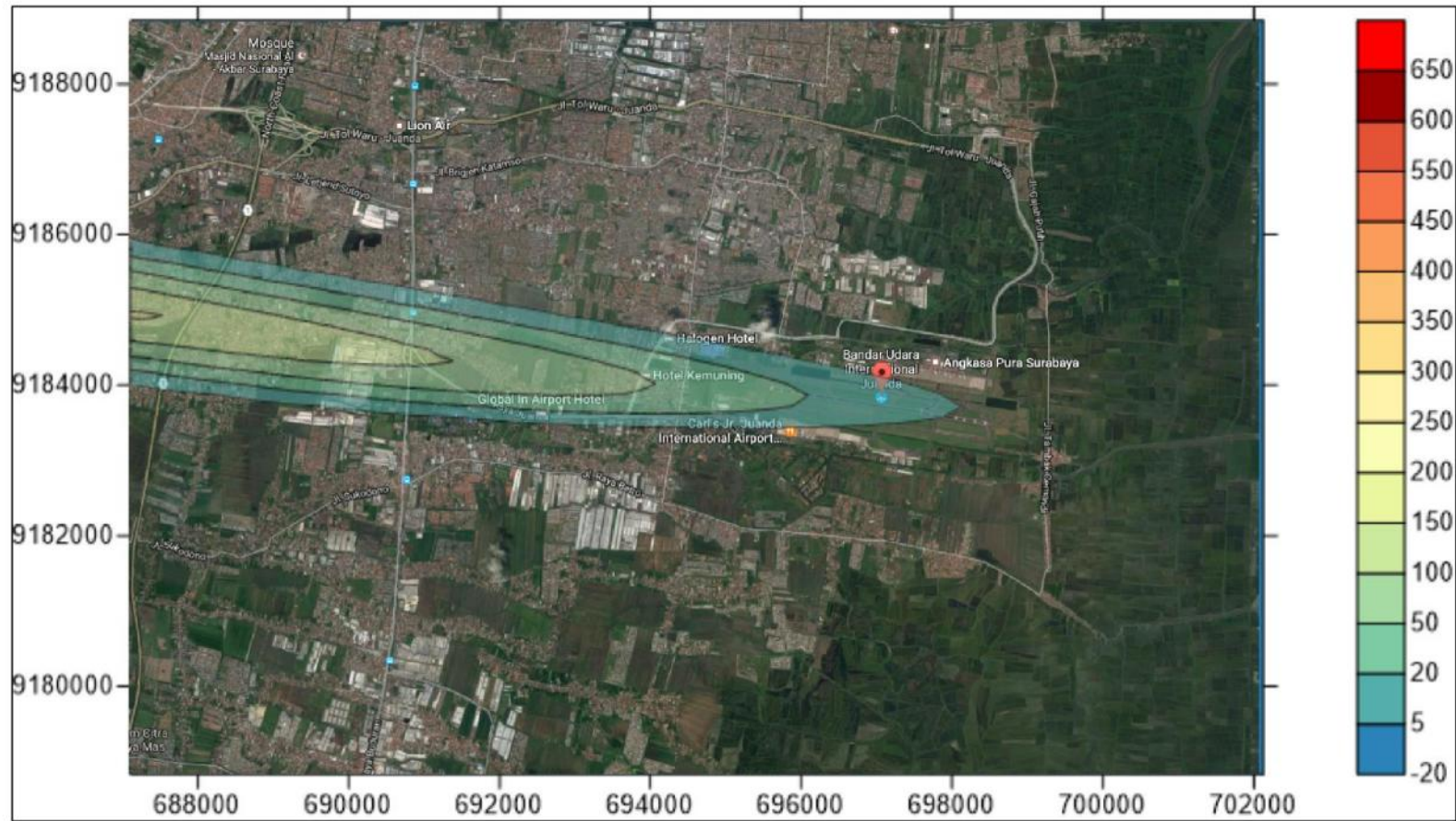
Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Judul Tugas Akhir	Judul Gambar	Nama Mahasiswa	Dosen Pembimbing	Skala
Studi Dispersi Emisi Karbon Monoksida oleh Pesawat Komersil dari Sumber Garis (<i>Line Source</i>) di Bandar Udara Internasional Juanda	Gambar 4.10 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 3.a	Gibran Muhammad Fawwaz 3313100062	Dr. Eng. Arie Dipareza S. S.T., MEPM.	1 : 7000
				Halaman
				69



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Judul Tugas Akhir	Judul Gambar	Nama Mahasiswa	Dosen Pembimbing	Skala
Studi Dispersi Emisi Karbon Monoksida oleh Pesawat Komersial dari Sumber Garis (<i>Line Source</i>) di Bandar Udara Internasional Juanda	Gambar 4.11 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 3.b	Gibran Muhammad Fawwaz 3313100062	Dr. Eng. Arie Dipareza S. S.T., MEPM.	1 : 7000
				Halaman
				70



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Judul Tugas Akhir	Judul Gambar	Nama Mahasiswa	Dosen Pembimbing	Skala
Studi Dispersi Emisi Karbon Monoksida oleh Pesawat Komersil dari Sumber Garis (<i>Line Source</i>) di Bandar Udara Internasional Juanda	Gambar 4.12 Persebaran Karbon Monoksida pada Skenario 3.c	Gibran Muhammad Fawwaz 3313100062	Dr. Eng. Arie Dipareza S. S.T., MEPM.	1 ; 7000
				Halaman
				71

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

Dari semua skenario di atas, konsentrasi terbesar terjadi pada skenario 1.a. dimana saat terjadi beban maksimum dan stabilitas atmosfer tidak stabil. Dari gambar di atas juga dapat diketahui bahwa sebaran CO cenderung ke pemukiman warga yang berjarak 4-5 Km dari sumber. Walaupun konsentrasi CO tertinggi berada pada daerah pemukiman, konsentrasi ambien gas CO untuk semua skenario masih di bawah baku mutu menurut PP No 41 Tahun 1999 tentang Baku Mutu Udara Ambien Nasional dan dalam kategori “baik” sesuai dengan Kep. Bapedal No. 107 tahun 1997 sehingga aman bagi manusia.

4.9 Validasi Hasil

Perhitungan konsentrasi di titik reseptor pada ke-9 skenario menghasilkan hasil konsentrasi yang berbeda - beda. Hal tersebut dapat dilihat dari pembahasan kontur dispersi semua skenario pada pembahasan sebelumnya. Selanjutnya untuk mengetahui performa model Gauss, dibandingkan antara hasil model dengan pengukuran kualitas udara di lapangan. Untuk validasi ini digunakan data pengukuran kualitas udara ambien pada tanggal 16 Maret 2017 dan 26 Maret 2017 sesuai dengan titik sampling pada Gambar 3.2. Tabel 4.6 berikut adalah koordinat lokasi pemantauan udara ambien.

Tabel 4.6 Koordinat titik sampling ambien dan stabilitas atmosfer

ID	Titik Sampling	Tanggal	Stabilitas Atmosfer	Koordinat (UTM)	
				X	Y
A	1	Kamis, 16 Maret 2017	A	699612,12	9183472,81
B	2	Kamis, 16 Maret 2017	A	694415,12	9184565,78
C	3	Kamis, 16 Maret 2017	A	694371,46	9184384,69
D	1	Minggu, 26 Maret 2017	B	699612,45	9183472,75

Lanjutan Tabel 4.7 Koordinat titik sampling ambien dan stabilitas atmosfer

ID	Titik Sampling	Tanggal	Stabilitas Atmosfer	Koordinat (UTM)	
E	2	Minggu, 26 Maret 2017	B	694415,12	9184565,78
F	3	Minggu, 26 Maret 2017	B	694371,46	9184384,69

Keterangan : Stabilitas atmosfer ditentukan dengan cara mengamati cuaca.

Selanjutnya dibuat perhitungan dispersi menggunakan pada hari dimana dilakukan pengambilan data udara ambien (*sampling*) yaitu hari Kamis dan Minggu menggunakan data emisi CO dan stabilitas atmosfer sesuai dengan keadaan di lokasi. Parameter stabilitas yang diamati yaitu kecepatan angin dan radiasi matahari, kemudian ditentukan stabilitas atmosfernya dengan acuan Tabel 2.5. Pada hari Kamis, 16 Maret 2017 arah angin dominan timur ke barat dengan kecepatan 0,683 m/s, keadaan matahari cerah tidak berawan, sehingga digunakan stabilitas atmosfer A (tidak stabil). Sedangkan pada tanggal 26 Maret 2017 arah angin dominan timur ke barat dengan kecepatan 1,667 m/s, keadaan matahari cerah berawan, sehingga digunakan stabilitas atmosfer B (tidak stabil). Tabel 4.7 merupakan perbandingan antara nilai konsentrasi model dengan konsentrasi saat sampling.

Tabel 4. 8 Perbandingan hasil model dengan udara ambien

ID	Ambien	Model	Selisih	%
A	1031.8	0.017495	1031.783	0.001696
B	562.8	193.1285	369.6715	34.31566
C	670	159.6526	510.3474	23.82875
D	1929.6	0.211049	1929.389	0.010937
E	1045.2	60.94012	984.2599	5.830475
F	951.4	50.26702	901.133	5.283479

Pada perhitungan tersebut seharusnya ambien untuk titik 1 paling kecil karena pada titik 1 berlawanan dengan arah angin. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada saat pesawat *take-off*, pesawat melewati lokasi sampling selain itu ada juga pencemar lain yang mempengaruhi hasil sampling ambien. Tabel 4.7 di atas merupakan lanjutan dari Tabel 4.6 dari titik koordinat sampling didapatkan konsentrasi CO di lokasi tersebut. Pada Tabel 4.7 menyatakan bahwa terdapat selisih antara hasil dari perhitungan dan konsentrasi ambien aktual dari semua titik untuk semua parameter. Angka tersebut masih tergolong rendah karena pada permodelan dengan model *Gaussian Plume* memiliki ketelitian yang baik pada jarak di bawah 10 km. Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi perbedaan tersebut, antara lain adalah karena model dispersi Gauss sendiri tidak mempertimbangkan turbulensi angin yang mungkin terjadi seperti perubahan arah dan kecepatan angin (Visscher, 2014). Dalam perhitungan di atas dianggap bahwa sumber emisi hanya dari gas buangan pesawat. Pada kondisi sebenarnya terdapat aktivitas lain di sekitar lokasi sampling yang juga merupakan sumber emisi, seperti kendaraan bermotor. Hal ini yang dapat menjadikan hasil perhitungan cenderung lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi ambien aktual. Sedangkan hasil perhitungan yang lebih besar dari konsentrasi aktual juga dapat disebabkan karena adanya penyerap emisi seperti tanaman di dekat titik sampling. Tanaman sendiri dapat mengurangi polusi udara melalui penyerapan gas dan partikel dari permukaan daun (Faizal, 2004).

4.10 Strategi Reduksi Dampak Emisi

Pada penelitian ini, strategi reduksi dampak emisi akan menggunakan barrier alami (RTH) berupa jenis tanaman serta luasannya. Untuk mendapatkan hasil tersebut dilakukan pendekatan konsentrasi maksimum di lokasi tertentu serta kemampuan serap tanaman untuk mereduksi gas CO.

4.10.1 Lokasi Konsentrasi Maksimum

Dari pembahasan di atas, didapatkan lokasi dimana terjadi konsentrasi maksimum polutan. Dari semua skenario, konsentrasi maksimum jatuh di kisaran titik reseptor 619 dengan

konsentrasi sebesar $635,751 \mu\text{g}/\text{m}^3$.jam serta berjarak 4,425 km dari sumber. Lokasi ini searah dengan arah angin yang terjadi yaitu bertiup dari timur ke barat. Angin merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam persebaran polutan. Konsentrasi polutan akan lebih besar di daerah yang searah dengan arah angin dibandingkan dengan yang tidak searah (Faizal, 2004). Titik ini berlokasi di Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo dengan koordinat (692872,16 m dan 9185086,51 m). Sekitar titik tersebut merupakan lokasi pemukiman warga sehingga perlu adanya monitoring serta pengendalian bila diperlukan.

Dalam penelitian ini, pada lokasi titik maksimum konsentrasi dari CO masih dalam ambang batas aman. Batas aman ini mengacu pada baku mutu. Kondisi tersebut tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan ataupun nilai estetika. Tetapi apabila di masa mendatang terjadi emisi CO yang lebih besar, maka perlu dilakukan upaya pengendalian pencemaran udara. Emisi CO yang lebih besar ini dapat disebabkan karena bertambahnya bahan bakar yang digunakan akibat penambahan kapasitas produksi (KLH, 2012). Salah satu upaya yang bisa dilakukan adalah dengan pembuatan Barrier (RTH) untuk menyerap/mereduksi konsentrasi pencemar.

4.10.2 Ruang Terbuka Hijau

Ruang Terbuka Hijau (RTH) merupakan salah satu bentuk pengendalian pencemaran udara di sekitar sumber emisi. Penyusun dari area hijau ini berupa vegetasi yang dapat menyerap gas CO di udara ambien. Tujuan dari penyediaan RTH disini adalah untuk mengurangi dampak dari pencemaran udara di daerah – daerah yang terkena konsentrasi yang cukup besar akibat aktivitas pesawat terbang. Untuk perhitungan RTH jenis tanaman yang akan digunakan adalah jenis puring. Puring (*Codiaeum variegatum*) dipilih karena merupakan tumbuhan perdu dengan tinggi mencapai 1,5 – 3 meter (Steenis, 2006). Selain itu, puring juga merupakan flora yang mampu menyerap polutan yang berbahaya (Dewi dan Hapsari, 2012) serta tidak melanggar Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP). Berikut perhitungan rencana RTH :

Emisi ambien CO terbesar = $635,751 \mu\text{g}/\text{m}^3$.jam

Emisi ambien CO terbesar = 0,01055 g/m³.hari

Emisi CO tersebut dipilih dari emisi CO terbesar pada Tabel perhitungan model. Emisi ambien CO terbesar dipilih agar dapat mencegah terjadinya dampak CO saat terjadi emisi yang besar. Kemudian, dengan mengasumikan nilai emisi ambien CO terbesar sebagai acuan emisi ambien pada wilayah pemukiman.

Luas Pemukiman yang terpapar ambien CO = 241.878 m²

Total Ambien CO pada daerah pemukiman = 0,01055 * 241878
= 2551,81 g/m³.hari

Kemampuan serap puring (*Codiaeum variegatum*) berdasarkan Santoso (2011) yaitu 125 ppm/pohon.hari. dari satuan ppm akan dikonversi kan menjadi g/m³ dengan anggapan bahwa kondisi *Standart Temperature and Pressure* (STP). Berikut merupakan contoh perhitungannya :

$$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = \frac{\text{ppm} * \text{Berat molekul CO} * 10^3}{\text{L/mol}}$$

$$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = \frac{125 \text{ ppm} * 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 10^3}{22,4 \text{ L/mol}}$$
$$= 156.250 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = 0,15625 \text{ g/m}^3$$

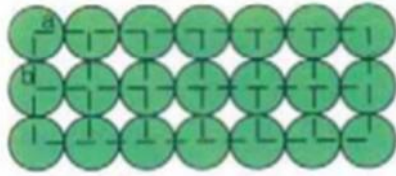
Tanaman puring yang diperlukan dihitung dengan membagi emisi CO yang terjadi dengan kemampuan serap tanaman puring. Sehingga didapatkan angka :

$$\text{Jumlah Pohon} = \frac{\text{Total emisi CO}}{\text{Kemampuan serap tanaman}}$$

$$\text{Jumlah Pohon} = \frac{2.551,81 \text{ g/m}^3}{0,15626 \text{ g/m}^3}$$

Jumlah Pohon = 16.330,54 pohon = 16.331 pohon

Penanaman tumbuhan perdu menggunakan sistem bujur sangkar sesuai dengan permen PU No 5 Tahun 2012 tentang pedoman penanaman pohon pada sistem jaringan jalan. Penanaman tumbuhan puring antar tajuk pohon bersinggungan satu sama lain, sehingga luas lahan untuk 1 tumbuhan puring yaitu sebesar luas lingkaran diameternya. Diameter tumbuhan puring dapat mencapai 5-30 cm (Huxley,1992).



Gambar 4. 13 Jarak Antar Tumbuhan

Ket : Sistem Tanam Bujur Sangkar Jarak titik tanam.

$a = \emptyset$ tajuk pohon/perdu (tajuk bersinggungan)

$a = b$

Luas lahan untuk 1 tanaman puring

$$= r^2$$

$$= 3,14 * (0,3 \text{ m})^2$$

$$= 0,2826 \text{ m}^2$$

Sehingga didapatkan luas untuk semua tanaman. Yaitu luas 1 tanaman puring dikalikan dengan total tanaman puring yang dibutuhkan

Luas = Jumlah puring yang diperlukan * Luas 1 tanaman puring

$$= 16.331 * 0,2826 \text{ m}^2$$

$$= 4615,14 \text{ m}^2$$

Selanjutnya penanaman tumbuhan puring dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut :



Gambar 4. 14 Lokasi RTH

Dari Gambar 4.14 tersebut penanaman RTH berada pada daerah kuning, di sekitar jalan inspeksi dan disekitar pemukiman warga yang memiliki konsentrasi pencemar CO tertinggi pada perhitungan model. Pada sekitar jalan inspeksi dipilih karena pada daerah tersebut merupakan awal persebaran emisi CO dan juga merupakan tanah milik angkasa pura sehingga dapat dilakukan pencegahan sebelum meluas.

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dari semua skenario persebaran CO dengan menggunakan arah angin dominan, didapatkan nilai konsentrasi CO tertinggi yaitu $635,751 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Persebaran CO dominan ke arah daerah perumahan yaitu 4-5 Km dari sumber. Angka persebaran CO di sekitar bandar udara internasional Juanda masih tergolong baik dan di bawah angka baku mutu yang ditetapkan sehingga masih aman bagi masyarakat sekitar.
2. Performa model menggunakan persamaan *Gaussian Plume* mencapai 34%. Angka tersebut masih tergolong rendah sehingga perlu evaluasi model terutama terhadap keadaan atmosfer.
3. Strategi untuk mereduksi emisi dengan menggunakan Ruang Terbuka Hijau dimana akan ditanam tanaman puring (*Codiaeum variegatum*) sebanyak 27.622 buah dengan luasan $7805,977 \text{ m}^2$.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini antara lain

1. Perlunya pemodelan dispersi dengan persamaan Gauss yang memperhatikan perubahan arah angin, kecepatan angin serta *plume rise*.
2. Perlu adanya penelitian lanjutan dengan mempertimbangkan semua sumber emisi yang ada di kawasan Bandara Internasional Juanda seperti transportasi atau sumber lain.

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, A.T. 1998. **Atmospheric Dispersion Models. Air Quality Control Handbook.** New York: McGraw-Hill.
- Anonim, 2015. **Pengembangan Perusahaan Pengelolaan Bandar Udara Berkinerja Tinggi.** Laporan Tahunan 2015 Annual Report. PT. Angkasa Pura
- Anggraeni, D. 2012. **Pola Keruangan Emisi Karbondioksida Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Provinsi Banten.** Jakarta : FMIPA UI
- Arya Wardana, Wisnu. 2001. **Dampak pencemaran lingkungan.** Yogyakarta. Penerbit Andi.
- ATR. 2014. **ATR-500 Series.** Blagnac Cedex – France. ATR DC/E Marketing
- Bakar, A.A.M. 2006. **Persebaran Kualitas Udara pada Daerah Industri Migas Studi Kasus di PT Pertamina UP VI Balongan.** Skripsi. Depok : Departemen Geografi FMIPA UI
- Baklacioglu T. 2016. **Metaheuristic and Machine Learning Models for TFE-731-2, PW 4056 and JT8D-9 Cruise Thrust.** NewYork. NewYork University Bobst Library Technical Services.
- Bilien J, Matta R. 1989. **The CFM56 Venture.** Ohio. The American Institute of Aeronautics and Astronautics
- Chahaya I. 2003. **Pengendalian Pencemaran Udara Melalui Penanganan Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor.** Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatra Utara. Medan
- Chase D.L, Kohoe P.T. 2001. **GE Combined-Cycle Product Line and Performance.** NewYork. General Electric
- Cora, M. G. dan Yung Tse Hung. 2003. **Air Dispersion Modelling : A Tool for Environmental Evaluation and Improvement.** Wiley Interscience
- Crutcher, H.L.. 1956. **On The Standard Vector-Deviation Wind Rose.** Jurnal Of Meteorology. Vol. 14. Hal 28-33. United States.

- EPA. 1995. **User's Guide for The Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Model (Volume II – Description of Model Algorithms)**. North Carolina : U.S. EPA
- EASA, 2012. **Type-Certificate Data Sheet : Pratt & Whitney PW4000 Series**. USA. European Aviation Safety Agency
- EASA, 2013. **Type-Certificate Data Sheet : Honeywell International Inc**. USA. European Aviation Safety Agency
- Faizal. 2004. **Evaluasi Penggunaan Model Gaussian pada Ruas Jalan Prof. Dr. Soepomo Jakarta terkait dengan Keberadaan Pohon di Pinggir Jalan**. Semarang :Program MagisterIlmu Lingkungan Universitas Diponegoro.
- Gallagher D. et al. 2004. **Airport Adaptive Transport -100**. Virginia. Team Bacchus:AAat Series.
- GE. 2006. **CF34-8C Turbofan Propulsion System**. Ohio. General Electric:www.ge.com/aviation
- GE. 2014. **The GE90 - An Introduction**. New York. General Electric.
- Hassan, H. dkk . 2000. **Application of a line source air quality model to the study of traffic carbon monoxide in Brunei Darussalam**. ASEAN Journal on Science and Technology for Development, Vol. 17 No 1
- Holleman, A. F. dan Wiberg, E. 2001. **Inorganic Chemistry**. San Diego. Academic Press: 200. ISBN 0-12-352651-5.
- Honeywell. 2005. **N1 Digital Electronic Engine Control for the TFE731 turbofan engine**. Tempe, Arizona. Honeywell International Inc.
- <https://booksite.elsevier.com/9780340741528/appendices/data-b/table-3/default.htm> diakses pada 24 Februari 2017 19:24 WIB
- <http://theflyingengineer.com/flightdeck/pw1100g-gtf/> diakses pada 25 Februari pukul 15.18 WIB
- Huxley, A., ed. 1992. **New RHS Dictionary of Gardening 1: 665**. Macmillan

- Koehn, A.C. 2013. **Comparison Of Atmospheric Stability Methods for Calculating Ammonia and Methane Emission Rates With Windtrax**. American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 2151-0032
- Li, Xiangyi S dkk. 2008. **Plume Rise and Ground-Level Concentration of Emission from a Distributed Power Generation Unit: Field Observations and Water Channel Modeling**. Laboratory for Environmental Flow Modeling University of California at Riverside, Riverside, California, USA
- Lioy P.J., Daisey, J.M. 1987. **Toxic Air Pollution**. Lewsi Pub. Chelsea. Mi 294.
- Louise W Kao, Kristine A Nanagas. 2004. **Carbon Monoxide Poisoning**. Emerg MedClin N Arn 22 (2004) 985-1018
- Macdonald, R. 2003. **Theory and Objectives of Air Dispersion Modelling**. MME 474A Wind Engineering
- Martin R. 2015. **Off-Design Performance Prediction of the CFM56-3 Aircraft Engine**. Lisboa. Instituto Superior Technico Portugal
- Mukono, H. J. 2005. **Toksikologi Lingkungan**. Airlangga University Press. Surabaya
- Nauli, T. 2002. **Pola Sebaran Polutan dari Cerobong Asap**. Bandung : Puslit Informatika - LIPI
- Oxford Advanced Learner's Dictionary**. 2005. Oxford: Oxford University Press
- PK Handa, DYH Tai. 2005. **Carbon Monoxide Poisoning: A Five-year Review at Tan Tock Seng Hospital**. Singapore. Ann Acad Med Singapore 2005;34:611-4.
- Rahmawati, F. 2003. **Aplikasi Model Dispersi Gauss untuk Menduga Pencemaran Udara Kawasan Industri**. Bogor : Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor
- Republik Indonesia. 1999. **Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Baku Mutu Udara Ambien Nasional**. Sekretariat Negara. Jakarta

- Republik Indonesia. 2009. **Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 10 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Udara Ambien dan Emisi Sumber Tidak Bergerak di Jawa Timur**. Gubernur Jawa Timur
- Rypdal, K. 2000. **Aircraft Emissions in Background paper IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventory**.
- Putut, E. dan Basuki W. 2011. **Simulasi Model Dispersi Polutan Karbon Monoksida di Pintu Masuk Tol (Studi Kasus Line Source di Ruas Tol Dupak, Surabaya**. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta
- Salmond, J.A. dkk. 2012. **The Influence of Vegetation on The Horizontal and Vertical Distribution of Pollutants in a Street Canyon**. Science of the Total Environment. 443 (287-298)
- Snecma. 2011. **Commercial Aircraft Engine CFM56-5B**. Evry Cedex, France. Snecma Communication Department.
- Snecma. 2011. **Commercial Aircraft Engine CFM56-7B**. Evry Cedex, France. Snecma Communication Department
- Santoso, S. N. 2011. **Penggunaan Tumbuhan sebagai Pereduksi Pencemaran Udara**. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS. ITSSurabaya
- Soedomo, M. 2001. **Pencemaran Udara**. ITB. Bandung
- Visscher, A. 2014. **Air Dispersion Modeling**. New Jersey : John Wiley & Sons Inc
- Vesilind, P. A. dkk. 1994. **Environmental Engineering 3th Edition**. Boston : Butterworth-Heinem

Lampiran A
Rekap Jadwal Pesawat yang Beroperasi

1a) Rabu, 1 Maret 2017 - Pesawat *Take-off*

No	#	Type	Time	CO (g/m3)
1	CTV816	A320	05:11AM WIB	6.19
2	AWQ320	A320	05:21AM WIB	6.19
3	LNI708	B739	05:34AM WIB	7.07
4	BTK6401	A320	05:36AM WIB	6.19
5	GIA303	B738	05:37AM WIB	7.07
6	LNI804	B739	05:52AM WIB	7.07
7	CTV879	A320	06:04AM WIB	6.19
8	GIA631	CRK	06:05AM WIB	6.7
9	LNI360	B738	06:05AM WIB	7.07
10	CTV630	A320	06:15AM WIB	6.19
11	CAL752	A333	06:17AM WIB	16.2
12	GIA7302	AT72	06:20AM WIB	2.33
13	GIA671	CRK	06:22AM WIB	6.7
14	BTK6597	A320	06:25AM WIB	6.19
15	LNI806	B739	06:30AM WIB	7.07
16	RBA796	A320	06:36AM WIB	6.19
17	CTV9701	A320	06:38AM WIB	6.19
18	GIA305	A332	06:43AM WIB	16.2
19	GIA350	B738	06:45AM WIB	7.07
20	IDX392	A320	06:48AM WIB	6.19
21	EVA232	A321	06:59AM WIB	7.55
22	SJY268	B733	07:12AM WIB	13.03
23	LNI962	B739	07:15AM WIB	7.07

Lanjutan 1a) Rabu, 1 Maret 2017 – Pesawat *Take-off*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
24	LNI690	B739	07:27AM WIB	7.07
25	CTV642	A320	07:40AM WIB	6.19
26	PK-LAH	AT72	07:43AM WIB	2.33
27	LNI262	B739	07:54AM WIB	7.07
28	GIA854	B738	07:58AM WIB	7.07
29	GIA984	A330	08:00AM WIB	16.2
30	BTK7510	B738	08:03AM WIB	7.07
31	AWQ7689	A320	08:09AM WIB	6.19
32	LNI971	B739	08:19AM WIB	7.07
33	GIA307	B738	08:20AM WIB	7.07
34	BTK6391	B739	08:42AM WIB	7.07
35	GIA449	B738	08:44AM WIB	7.07
36	LNI748	B739	08:48AM WIB	7.07
37	GIA368	CRK	08:50AM WIB	6.7
38	CPA780	A333	08:52AM WIB	16.2
39	LNI264	B739	08:56AM WIB	7.07
40	GIA309	B738	09:00AM WIB	7.07
41	LNI786	B739	09:00AM WIB	7.07
42	LNI836	B738	09:06AM WIB	7.07
43	LNI722	B738	09:08AM WIB	7.07
44	LNI951	B738	09:25AM WIB	7.07
45	GIA7306	AT72	09:25AM WIB	2.33
46	LNI226	B739	09:27AM WIB	7.07
47	CTV802	A320	09:30AM WIB	6.19
48	LNI646	B739	09:33AM WIB	7.07
49	IDX8297	A320	09:41AM WIB	6.19
50	LNI680	B739	09:50AM WIB	7.07

Lanjutan 1a) Rabu, 1 Maret 2017 – Pesawat *Take-off*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
51	TGW2261	A319	09:53AM WIB	6.35
52	LNI169	B738	10:00AM WIB	7.07
53	SIA931	A333	10:12AM WIB	16.2
54	LNI362	B738	10:25AM WIB	7.07
55	GIA311	B738	10:26AM WIB	7.07
56	BTK6573	A320	10:35AM WIB	6.19
57	CTV810	A320	10:40AM WIB	6.19
58	SJY254	B738	10:45AM WIB	7.07
59	GIA354	B738	10:45AM WIB	7.07
60	LNI312	B739	10:51AM WIB	7.07
61	GIA342	B738	11:16AM WIB	7.07
62	CTV654	A320	11:32AM WIB	6.19
63	GIA313	B738	11:33AM WIB	7.07
64	LNI922	B739	11:34AM WIB	7.07
65	BTK6284	A320	11:35AM WIB	6.19
66	CTV786	A320	11:45AM WIB	6.19
67	IDX324	A320	11:46AM WIB	6.19
68	BTK7512	B738	11:50AM WIB	7.07
69	LNI692	B739	11:53AM WIB	7.07
70	GIA7304	AT72	12:10PM WIB	2.33
71	GIA364	CRK	12:18PM WIB	6.7
72	IDX322	A320	12:38PM WIB	6.19
73	CTV790	A320	12:45PM WIB	6.19
74	BTK6575	B739	12:59PM WIB	7.07
75	LNI266	B739	01:02PM WIB	7.07
76	GIA315	B738	01:05PM WIB	7.07
77	LNI591	B739	01:07PM WIB	7.07

Lanjutan 1a) Rabu, 1 Maret 2017 – Pesawat *Take-off*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
78	CTV632	A320	01:09PM WIB	6.19
79	LNI706	B739	01:17PM WIB	7.07
80	CTV644	A320	01:30PM WIB	6.19
81	LNI178	B739	01:31PM WIB	7.07
82	LNI577	B738	01:50PM WIB	7.07
83	PK-GQS	AT72	01:54PM WIB	2.33
84	GIA317	B738	02:14PM WIB	7.07
85	CTV182	A320	02:42PM WIB	6.19
86	LNI366	B738	02:45PM WIB	7.07
87	GIA671	CRK	03:06PM WIB	6.7
88	LNI864	B739	03:12PM WIB	7.07
89	GIA319	A332	03:14PM WIB	16.2
90	BTK7508	A320	03:15PM WIB	6.19
91	JSA248	A320	03:19PM WIB	6.19
92	CTV634	A320	03:22PM WIB	6.19
93	LNI749	B739	03:27PM WIB	7.07
94	BTK7502	A320	03:30PM WIB	6.19
95	GIA7308	AT72	03:32PM WIB	2.33
96	LNI581	B739	03:40PM WIB	7.07
97	GIA338	CRK	03:41PM WIB	6.7
98	IDX326	A320	03:57PM WIB	6.19
99	GIA365	CRK	04:00PM WIB	6.7
100	GIA321	B738	04:00PM WIB	7.07
101	SVA2067	B744	04:05PM WIB	26.72
102	SJY255	B738	04:30PM WIB	7.07
103	LNI599	B739	04:30PM WIB	7.07
104	GIA344	B738	04:43PM WIB	7.07

Lanjutan 1a) Rabu, 1 Maret 2017 – Pesawat *Take-off*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
105	LNI838	B738	04:45PM WIB	7.07
106	CTV612	A320	05:00PM WIB	6.19
107	LNI693	B739	05:25PM WIB	7.07
108	LNI642	B739	05:30PM WIB	7.07
109	BTK7579	B739	05:38PM WIB	7.07
110	SJY259	B733	05:45PM WIB	13.03
111	GIA373	B738	05:51PM WIB	7.07
112	GIA323	A330	06:10PM WIB	16.2
113	CTV812	A320	06:10PM WIB	6.19
114	CTV646	A320	06:20PM WIB	6.19
115	GIA448	B738	06:29PM WIB	7.07
116	GIA325	B738	06:48PM WIB	7.07
117	SLK225	A320	06:59PM WIB	6.19
118	LNI696	B739	07:00PM WIB	7.07
119	BTK7516	B738	07:04PM WIB	7.07
120	GIA367	CRK	07:11PM WIB	6.7
121	LNI585	B739	07:18PM WIB	7.07
122	SVA2069	B744	07:30PM WIB	26.72
123	LNI990	B739	07:45PM WIB	7.07
124	BTK7520	A320	07:50PM WIB	6.19
125	GIA327	B738	08:35PM WIB	7.07
126	SJY562	B733	08:35PM WIB	13.03
127	CTV900	A320	08:40PM WIB	6.19
128	GIA329	B738	08:45PM WIB	7.07
129	LNI800	B739	08:45PM WIB	7.07
130	AXM363	A320	08:58PM WIB	6.19
131	CTV806	A320	09:00PM WIB	6.19

Lanjutan 1a) Rabu, 1 Maret 2017 – Pesawat *Take-off*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
132	BTK6309	B739	09:09PM WIB	7.07
133	LNI821	B739	09:40PM WIB	7.07

1b) Rabu, 1 Maret 2017 – Pesawat *Landing*

No	#	Type	Arrival	CO (g/m ³)
1	EVA231	A321	5.05.00	7.55
2	CTV815	A320	5.30.00	6.19
3	BTK6596	A320	5.47.00	6.19
4	LNI690	B739	6.11.00	7.07
5	LNI311	B739	6.32.00	7.07
6	GIA302	B738	6.48.00	7.07
7	LNI929	B739	6.50.00	7.07
8	CTV811	A320	6.51.00	6.19
9	LNI691	B739	6.54.00	7.07
10	LNI918	B738	6.59.00	7.07
11	LNI823	B738	7.02.00	7.07
12	AWQ7688	A320	7.06.00	6.19
13	LNI801	B738	7.12.00	7.07
14	BTK6370	B739	7.15.00	7.07
15	GIA449	B738	7.27.00	7.07
16	GIA368	CRK	7.54.00	6.7
17	GIA304	B738	8.01.00	7.07
18	LNI683	B739	8.04.00	7.07
19	GIA7303	AT72	8.05.00	2.33
20	LNI805	B739	8.07.00	7.07
21	CTV801	A320	8.22.00	6.19
22	LNI861	B738	8.25.00	7.07

Lanjutan 1b) Rabu, 1 Maret 2017 – Pesawat *Landing*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
23	TGW2260	A319	8.50.00	6.35
24	IDX7680	A320	8.50.00	6.19
25	GIA306	B738	9.05.00	7.07
26	SIA930	A333	9.09.00	16.2
27	BTK6572	A320	9.24.00	6.19
28	LNI361	B738	9.29.00	7.07
29	LNI865	B739	9.40.00	7.07
30	GIA341	B738	9.43.00	7.07
31	CTV643	A320	9.55.00	6.19
32	LNI267	B738	10.18.00	7.07
33	GIA351	B738	10.25.00	7.07
34	LNI692	B739	10.35.00	7.07
35	GIA308	B738	10.39.00	7.07
36	GIA364	CRK	10.48.00	6.7
37	CTV9702	A320	10.52.00	6.19
38	LNI791	B739	10.55.00	7.07
39	GIA975	A330	11.02.00	16.2
40	AWQ321	A320	11.06.00	6.19
41	LNI645	B739	11.06.00	7.07
42	LNI970	B739	11.10.00	7.07
43	BTK7513	B738	11.11.00	7.07
44	GIA7307	AT72	11.20.00	2.33
45	LNI982	B738	11.20.00	7.07
46	CTV876	A320	11.37.00	6.19
47	IDX393	A320	11.44.00	6.19
48	LNI807	B739	11.50.00	7.07

Lanjutan 1b) Rabu, 1 Maret 2017 – Pesawat *Landing*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
49	LNI168	B738	11.52.00	7.07
50	GIA310	B738	11.59.00	7.07
51	LNI695	B739	12.00.00	7.07
52	BTK6576	B739	12.08.00	7.07
53	LNI588	B739	12.18.00	7.07
54	LNI227	B739	12.20.00	7.07
55	LNI177	B739	12.26.00	7.07
56	LNI837	B738	12.32.00	7.07
57	LNI923	B739	12.38.00	7.07
58	GIA312	B738	12.45.00	7.07
59	SVA2066	B744	12.55.00	26.72
60	LNI681	B739	13.03.00	7.07
61	CTV803	A320	13.11.00	6.19
62	BTK6406	A320	13.33.00	6.19
63	LNI727	B738	13.40.00	7.07
64	GIA670	CRK	13.44.00	6.7
65	LNI749	B739	13.45.00	7.07
66	GIA347	B738	13.55.00	7.07
67	CTV655	A320	14.11.00	6.19
68	GIA314	A332	14.13.00	16.2
69	GIA355	B738	14.20.00	7.07
70	LNI223	B738	14.23.00	7.07
71	GIA7305	AT72	14.29.00	2.33
72	JSA247	A320	14.33.00	6.19
73	GIA365	CRK	14.36.00	6.7
74	IDX327	A320	14.45.00	6.19
75	CTV805	A320	14.57.00	6.19

Lanjutan 1b) Rabu, 1 Maret 2017 – Pesawat *Landing*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
76	LNI709	B739	15.02.00	7.07
77	SJY563	B733	15.04.00	13.03
78	GIA316	B738	15.13.00	7.07
79	LNI839	B738	15.56.00	7.07
80	SJY259	B733	16.13.00	13.03
81	LNI649	B739	16.25.00	7.07
82	LNI598	B739	16.30.00	7.07
83	CTV922	A320	16.37.00	6.19
84	BTK6578	B739	16.46.00	7.07
85	LNI261	B739	16.54.00	7.07
86	LNI917	B738	16.56.00	7.07
87	LNI265	B739	17.02.00	7.07
88	CPA781	A333	17.10.00	16.2
89	CTV813	A320	17.22.00	6.19
90	GIA448	B738	17.32.00	7.07
91	GIA320	B738	17.41.00	7.07
92	LNI965	B739	17.45.00	7.07
93	CTV787	A320	17.49.00	6.19
94	LNI950	B738	17.58.00	7.07
95	CTV661	A320	18.00.00	6.19
96	IDX323	A320	18.00.00	6.19
97	GIA372	B738	18.01.00	7.07
98	GIA367	CRK	18.03.00	6.7
99	CTV181	A320	18.20.00	6.19
100	CTV901	A320	18.20.00	6.19
101	SLK226	A320	18.26.00	6.19
102	CTV878	A320	18.30.00	6.19

Lanjutan 1b) Rabu, 1 Maret 2017 – Pesawat *Landing*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
103	LNI787	B739	18.37.00	7.07
104	LNI221	B739	18.39.00	7.07
105	BTK7517	B738	18.47.00	7.07
106	GIA322	B738	18.52.00	7.07
107	GIA630	CRK	19.00.00	6.7
108	LNI696	B739	19.05.00	7.07
109	GIA349	B738	19.08.00	7.07
110	CTV185	A320	19.10.00	6.19
111	LNI737	B739	19.10.00	7.07
112	BTK6175	A320	19.15.00	6.19
113	CTV817	A320	19.22.00	6.19
114	SJY234	B735	19.25.00	13.03
115	GIA7309	AT72	19.34.00	2.33
116	GIA324	B738	19.36.00	7.07
117	LNI919	B739	19.46.00	7.07
118	AXM362	A320	19.53.00	6.19
119	CTV651	A320	19.56.00	6.19
120	CTV809	A320	20.03.00	6.19
121	LNI369	B739	20.03.00	7.07
122	PK-LAV	A320	20.10.00	6.19
123	GIA328	A332	20.12.00	16.2
124	SJY258	B733	20.16.00	13.03
125	BTK6308	B739	20.19.00	7.07
126	CTV613	A320	20.30.00	6.19
127	GIA855	B738	20.44.00	7.07
128	CAL751	A333	20.57.00	16.2
129	IDX8298	A320	21.02.00	6.19

Lanjutan 1b) Rabu, 1 Maret 2017 – Pesawat *Landing*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
130	RBA795	A320	21.05.00	6.19
131	CTV819	A320	21.16.00	6.19
132	GIA326	B738	21.26.00	7.07
133	IDX7692	A320	21.41.00	6.19
134	CTV789	A320	22.42.00	6.19

2a) Jumat, 3 Maret 2017 – Pesawat *Take-off*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
1	AWQ320	A320	05:16AM WIB	6.19
2	CTV816	A320	05:28AM WIB	6.19
3	GIA303	B738	05:34AM WIB	7.07
4	LNI708	B739	05:37AM WIB	7.07
5	CTV800	A320	05:42AM WIB	6.19
6	CTV650	A320	05:53AM WIB	6.19
7	GIA631	CRK	05:55AM WIB	6.7
8	LNI804	B739	05:57AM WIB	7.07
9	LNI360	B738	06:05AM WIB	7.07
10	CTV630	A320	06:08AM WIB	6.19
11	CAL752	A333	06:11AM WIB	16.2
12	GIA7302	AT72	06:13AM WIB	2.33
13	BTK6597	A320	06:15AM WIB	6.19
14	CTV921	A320	06:20AM WIB	6.19
15	LNI979	B739	06:25AM WIB	7.07
16	GIA305	A332	06:26AM WIB	16.2
17	CTV652	A320	06:35AM WIB	6.19
18	CTV9701	A320	06:39AM WIB	6.19

Lanjutan 2a) Jumat, 3 Maret 2017- Pesawat *Take-off*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
19	GIA350	B738	06:41AM WIB	7.07
20	SJY269	B733	06:46AM WIB	6.19
21	LNI690	B739	06:55AM WIB	7.07
22	SJY268	B733	07:00AM WIB	6.19
23	LNI962	B739	07:14AM WIB	7.07
24	LNI571	B739	07:30AM WIB	7.07
25	LNI262	B739	07:33AM WIB	7.07
26	BTK6174	A320	07:35AM WIB	6.19
27	CTV642	A320	07:41AM WIB	6.19
28	GIA854	B738	07:52AM WIB	7.07
29	AWQ7689	A320	08:02AM WIB	6.19
30	GIA307	B738	08:04AM WIB	7.07
31	LNI911	B738	08:05AM WIB	7.07
32	BTK6391	B739	08:20AM WIB	7.07
33	LNI264	B739	08:30AM WIB	7.07
34	LNI971	B739	08:34AM WIB	7.07
35	LNI836	B738	08:35AM WIB	7.07
36	GIA449	B738	08:39AM WIB	7.07
37	CPA780	A333	08:53AM WIB	16.2
38	LNI786	B739	09:00AM WIB	7.07
39	GIA309	B738	09:00AM WIB	7.07
40	GIA7306	AT72	09:00AM WIB	2.33
41	IDX8297	A320	09:05AM WIB	6.19
42	LNI722	B738	09:14AM WIB	7.07
43	LNI951	B738	09:40AM WIB	7.07
44	CTV802	A320	09:43AM WIB	6.19
45	TGW2261	A320	09:50AM WIB	6.19

Lanjutan 2a) Jumat, 3 Maret 2017- Pesawat *Take-off*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
46	CTV784	A320	09:57AM WIB	6.19
47	GIA311	B738	10:08AM WIB	7.07
48	LNI169	B738	10:10AM WIB	7.07
49	SIA931	A333	10:16AM WIB	16.2
50	CTV664	A320	10:34AM WIB	6.19
51	CTV810	A320	10:40AM WIB	6.19
52	PK-LAM	A320	10:44AM WIB	6.19
53	GIA354	B738	10:54AM WIB	7.07
54	LNI362	B738	10:58AM WIB	7.07
55	LNI922	B739	11:04AM WIB	7.07
56	LNI312	B739	11:14AM WIB	7.07
57	GIA342	B738	11:18AM WIB	7.07
58	LNI692	B739	11:20AM WIB	7.07
59	CTV804	A320	11:35AM WIB	6.19
60	GIA313	B738	11:36AM WIB	7.07
61	LNI222	B738	11:43AM WIB	7.07
62	CTV786	A320	11:45AM WIB	6.19
63	BTK7512	B738	11:53AM WIB	7.07
64	GIA7304	AT72	11:55AM WIB	2.33
65	GIA364	CRK	12:09PM WIB	6.7
66	LNI916	B738	12:10PM WIB	7.07
67	LNI591	B739	12:10PM WIB	7.07
68	CTV923	A320	12:20PM WIB	6.19
69	BTK6284	A320	12:24PM WIB	6.19
70	IDX322	A320	12:37PM WIB	6.19
71	CTV790	A320	12:46PM WIB	6.19
72	LNI706	B739	12:50PM WIB	7.07

Lanjutan 2a) Jumat, 3 Maret 2017- Pesawat *Take-off*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
73	BTK6575	B739	12:50PM WIB	7.07
74	GIA315	B738	01:01PM WIB	7.07
75	LNI260	B739	01:22PM WIB	7.07
76	LNI910	B739	01:30PM WIB	7.07
77	CTV644	A320	01:30PM WIB	6.19
78	LNI266	B739	01:34PM WIB	7.07
79	LNI736	B739	02:03PM WIB	7.07
80	CTV808	A320	02:07PM WIB	6.19
81	CTV182	A320	02:30PM WIB	6.19
82	GIA317	B738	02:39PM WIB	7.07
83	LNI864	B739	03:00PM WIB	7.07
84	LNI860	B738	03:02PM WIB	7.07
85	GIA7308	AT72	03:05PM WIB	2.33
86	GIA671	CRK	03:05PM WIB	6.7
87	GIA319	A332	03:10PM WIB	16.2
88	IDX326	A320	03:10PM WIB	6.19
89	BTK7508	A320	03:15PM WIB	6.19
90	JSA248	A320	03:20PM WIB	6.19
91	PK-LUK	AT72	03:25PM WIB	6.7
92	LNI749	B739	03:41PM WIB	7.07
93	GIA338	B738	03:44PM WIB	7.07
94	LNI268	B738	03:46PM WIB	7.07
95	LNI581	B739	03:48PM WIB	7.07
96	GIA365	CRK	03:57PM WIB	6.7
97	SJY235	B735	03:57PM WIB	13.03
98	CTV660	A320	04:05PM WIB	6.19
99	GIA321	B738	04:21PM WIB	7.07

Lanjutan 2a) Jumat, 3 Maret 2017- Pesawat *Take-off*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
100	BTK7514	B738	04:28PM WIB	7.07
101	LNI599	B739	04:30PM WIB	7.07
102	GIA344	B738	04:39PM WIB	7.07
103	LNI983	B738	04:48PM WIB	7.07
104	PK-WGV	AT72	04:58PM WIB	6.7
105	LNI693	B739	05:18PM WIB	7.07
106	LNI642	B739	05:30PM WIB	7.07
107	SJY259	B733	05:45PM WIB	6.19
108	CTV877	A320	05:50PM WIB	6.19
109	GIA373	B738	05:54PM WIB	7.07
110	CTV814	A320	05:58PM WIB	6.19
111	LNI780	B739	06:01PM WIB	7.07
112	LNI730	B738	06:05PM WIB	7.07
113	CTV812	A320	06:15PM WIB	6.19
114	GIA323	A332	06:23PM WIB	16.2
115	CTV646	A320	06:33PM WIB	6.19
116	BTK7516	B738	06:43PM WIB	7.07
117	CTV818	A320	07:00PM WIB	6.19
118	LNI682	B739	07:01PM WIB	7.07
119	SLK225	B738	07:07PM WIB	7.07
120	GIA448	B738	07:10PM WIB	7.07
121	GIA325	B738	07:23PM WIB	7.07
122	GIA367	CRK	07:27PM WIB	6.7
123	LNI696	B739	07:38PM WIB	7.07
124	CTV184	A320	07:55PM WIB	6.19
125	PK-WGM	A320	07:58PM WIB	6.19
126	GIA327	B738	08:11PM WIB	7.07

Lanjutan 2a) Jumat, 3 Maret 2017- Pesawat *Take-off*

No	#	Type	Time	CO (g/m ³)
127	LNI189	B738	08:15PM WIB	7.07
128	CTV636	A320	08:17PM WIB	6.19
129	BTK7520	A320	08:20PM WIB	6.19
130	CTV902	A320	08:36PM WIB	6.19
131	CTV900	A320	08:41PM WIB	6.19
132	LNI990	B739	08:52PM WIB	7.07
133	BTK7518	B738	08:55PM WIB	7.07
134	CTV806	A320	09:06PM WIB	6.19
135	LNI824	B738	09:10PM WIB	7.07
136	GIA329	B738	09:15PM WIB	7.07
137	AXM363	A320	09:20PM WIB	6.19
138	LNI595	B739	09:38PM WIB	7.07
139	SJY562	B733	10:17PM WIB	6.19
140	LNI800	B739	10:26PM WIB	7.07

2b) Jumat, 3 Maret 2017 – Pesawat *Landing*

No	#	Type	Arrival	CO (g/m ³)
1	CTV815	A320	5.25.00	6.19
2	SJY268	B733	5.45.00	13.03
3	LNI690	B739	6.20.00	7.07
4	LNI311	B739	6.23.00	7.07
5	LNI823	B738	6.49.00	7.07
6	LNI929	B739	6.50.00	7.07
7	GIA302	B738	6.53.00	7.07
8	CTV811	A320	7.00.00	6.19
9	LNI691	B739	7.09.00	7.07
10	LNI748	B739	7.12.00	7.07

Lanjutan 2b) Jumat, 3 Maret 2017 – Pesawat *Landing*

No	#	Type	Arrival	CO (g/m ³)
11	LNI918	B738	7.19.00	7.07
12	AWQ7688	A320	7.22.00	6.19
13	BTK6370	B739	7.26.00	7.07
14	LNI801	B738	7.32.00	7.07
15	GIA449	B738	7.36.00	7.07
16	GIA304	B738	7.45.00	7.07
17	GIA368	CRK	7.55.00	6.7
18	LNI683	B739	7.56.00	7.07
19	LNI861	B738	8.13.00	7.07
20	GIA7303	AT72	8.18.00	2.33
21	LNI731	B738	8.29.00	7.07
22	CTV801	A320	8.46.00	6.19
23	TGW2260	A320	8.49.00	6.19
24	IDX7680	A320	8.49.00	6.19
25	SIA930	A333	9.05.00	16.2
26	CTV653	A320	9.11.00	6.19
27	BTK6572	A320	9.31.00	6.19
28	LNI361	B738	9.35.00	7.07
29	CTV631	A320	9.39.00	6.19
30	GIA341	B738	9.48.00	7.07
31	CTV643	A320	9.52.00	6.19
32	GIA306	B738	9.58.00	7.07
33	LNI645	B739	9.59.00	7.07
34	LNI791	B739	10.06.00	7.07
35	LNI267	B738	10.15.00	7.07
36	GIA351	B738	10.18.00	7.07
37	GIA308	B738	10.28.00	7.07

Lanjutan 2b) Jumat, 3 Maret 2017 – Pesawat *Landing*

No	#	Type	Arrival	CO (g/m ³)
38	AWQ321	A320	10.37.00	6.19
39	BTK7513	B738	10.52.00	7.07
40	GIA364	CRK	10.55.00	6.7
41	GIA7307	AT72	11.10.00	2.33
42	CTV876	A320	11.12.00	6.19
43	LNI982	B738	11.16.00	7.07
44	BTK6197	A320	11.20.00	6.19
45	LNI970	B739	11.25.00	7.07
46	BTK6576	B739	11.54.00	7.07
47	GIA310	B738	11.57.00	7.07
48	CTV645	A320	12.00.00	6.19
49	LNI695	B739	12.05.00	7.07
50	LNI588	B739	12.11.00	7.07
51	N881JC	H25B	12.13.00	13.84
52	LNI227	B739	12.19.00	7.07
53	LNI681	B739	12.38.00	7.07
54	CTV803	A320	12.45.00	6.19
55	CTV665	A320	13.03.00	6.19
56	GIA312	B738	13.23.00	7.07
57	LNI923	B739	13.28.00	7.07
58	KLS650	AT72	13.32.00	2.33
59	LNI313	B739	13.37.00	7.07
60	GIA314	A332	13.41.00	16.2
61	LNI727	B738	13.48.00	7.07
62	GIA347	B738	13.51.00	7.07
63	GIA670	CRK	13.56.00	6.7
64	BTK7501	A320	14.05.00	6.19

Lanjutan 2b) Jumat, 3 Maret 2017 – Pesawat *Landing*

No	#	Type	Arrival	CO (g/m ³)
65	BTK6406	A320	14.05.00	6.19
66	GIA7305	AT72	14.12.00	2.33
67	JSA247	A320	14.17.00	6.19
68	LNI749	B739	14.21.00	7.07
69	GIA355	B738	14.28.00	7.07
70	LNI223	B738	14.31.00	7.07
71	CTV607	A320	14.37.00	6.19
72	SJY563	B733	14.50.00	13.03
73	LNI582	B739	14.55.00	7.07
74	GIA365	CRK	14.59.00	6.7
75	IDX327	A320	15.02.00	6.19
76	CTV655	A320	15.05.00	6.19
77	GIA316	B738	15.08.00	7.07
78	CTV787	A320	15.15.00	6.19
79	CTV805	A320	15.18.00	6.19
80	LNI709	B739	15.18.00	7.07
81	BTK7515	B738	15.23.00	7.07
82	LNI839	B738	15.28.00	7.07
83	LNI917	B738	15.36.00	7.07
84	LNI598	B739	15.40.00	7.07
85	CTV647	A320	16.00.00	6.19
86	LNI693	B739	16.00.00	7.07
87	SJY259	B733	16.19.00	13.03
88	BTK6578	B739	16.24.00	7.07
89	GIA372	B738	16.41.00	7.07
90	GIA318	A332	16.56.00	16.2
91	LNI265	B739	17.00.00	7.07

Lanjutan 2b) Jumat, 3 Maret 2017 – Pesawat *Landing*

No	#	Type	Arrival	CO (g/m ³)
92	CTV922	A320	17.10.00	6.19
93	CTV813	A320	17.20.00	6.19
94	BTK7517	B738	17.22.00	7.07
95	CPA781	A333	17.31.00	16.2
96	LNI950	B738	17.46.00	7.07
97	GIA7309	AT72	17.50.00	2.33
98	SLK226	B738	17.53.00	7.07
99	GIA320	B738	17.56.00	7.07
100	GIA448	B738	17.59.00	7.07
101	GIA367	CRK	18.11.00	6.7
102	IDX323	A320	18.17.00	6.19
103	LNI696	B739	18.33.00	7.07
104	CTV878	A320	18.38.00	6.19
105	CTV901	A320	18.40.00	6.19
106	CTV185	A320	18.45.00	6.19
107	GIA349	B738	18.49.00	7.07
108	LNI221	B739	18.52.00	7.07
109	LNI975	B739	18.55.00	7.07
110	GIA322	B738	18.58.00	7.07
111	LNI787	B739	19.01.00	7.07
112	GIA630	CRK	19.08.00	6.7
113	CTV183	A320	19.11.00	6.19
114	LNI188	B738	19.15.00	7.07
115	PK-WGV	AT72	19.22.00	2.33
116	BTK6175	A320	19.25.00	6.19
117	CTV817	A320	19.35.00	6.19
118	LNI919	B739	19.43.00	7.07

Lanjutan 2b) Jumat, 3 Maret 2017 – Pesawat *Landing*

No	#	Type	Arrival	CO (g/m ³)
119	LNI737	B739	19.48.00	7.07
120	CTV651	A320	19.51.00	6.19
121	GIA324	B738	19.56.00	7.07
122	CTV809	A320	20.01.00	6.19
123	BTK6308	B739	20.09.00	7.07
124	CTV613	A320	20.27.00	6.19
125	AXM362	A320	20.31.00	6.19
126	GIA855	B738	20.38.00	7.07
127	CTV789	A320	20.41.00	6.19
128	RBA795	A320	20.55.00	6.19
129	GIA326	B738	21.10.00	7.07
130	SJY256	B738	21.14.00	7.07
131	CTV819	A320	21.18.00	6.19
132	LNI592	B738	21.22.00	7.07
133	CAL751	A333	21.25.00	16.2
134	CTV807	A320	21.29.00	6.19
135	IDX8298	A320	21.32.00	6.19
136	CTV903	A320	21.45.00	6.19
137	BTK7521	A320	21.46.00	6.19
138	LNI369	B739	22.03.00	7.07
139	GIA328	A333	22.18.00	16.2

Lampiran B

2a) Perhitungan Plume Rise Tiap Tipe Pesawat

Type	Su hu (C)	Kecepatan gas Buang		Dia mete r (m)	Fb	X	u Ma ks	u Mi n	u Rat a2	h Rata- rata	h Mak s	h min
		Verti kal	Horiz ontal									
A319	62 2	307	40.63	0.75	53. 35	142 8.91	2.2 4	3.1 3	2.68	284.88	341. 86	244 .19
A320	62 2	307	40.63	0.75	53. 35	142 8.91	2.2 4	3.1 3	2.68	284.88	341. 86	244 .19
A332 (330- 200)	43 4	437	57.84	1.20	190 .14	316 2.05	2.2 4	3.1 3	2.68	738.97	886. 76	633 .40
A333 (330- 300)	43 4	437	57.84	1.20	190 .14	316 2.05	2.2 4	3.1 3	2.68	738.97	886. 76	633 .40
ATR 72	39 6	166	21.97	0.50	12. 45	236. 96	2.2 4	3.1 3	2.68	52.94	63.5 3	45. 38
B733 (737- 300)	62 2	307	40.63	0.75	53. 35	142 8.91	2.2 4	3.1 3	2.68	284.88	341. 86	244 .19
B735 (737- 500)	62 2	307	40.63	0.75	53. 35	142 8.91	2.2 4	3.1 3	2.68	284.88	341. 86	244 .19
B738 (737- 800)	65 2	307	40.63	0.75	53. 47	143 0.99	2.2 4	3.1 3	2.68	285.38	342. 46	244 .61
B739 (737- 900)	65 2	307	40.63	0.75	53. 47	143 0.99	2.2 4	3.1 3	2.68	285.38	342. 46	244 .61
CRJ 1000	45 9	299. 6	39.65	0.65	38. 40	479. 09	2.2 4	3.1 3	2.68	123.22	147. 86	105 .62
A332 (330- 200)	43 4	337	44.60	1.20	146 .63	268 8.04	2.2 4	3.1 3	2.68	608.12	729. 74	521 .24

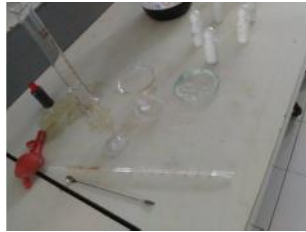
Lanjutan 2a) Perhitungan *plume rise* tiap tipe pesawat

Type	Suhu (C)	Kecepatan gas Buang		Diameter (m)	Fb	X	u Maks	u Min	u Rata2	h Rata-rata	h Maks	h min
H25B (Hawker800)	353	187	24.75	0.50	13.89	253.68	2.24	3.13	2.68	57.46	68.95	49.25
B744 (747-400)	434	337	44.60	1.40	199.58	3259.26	2.24	3.13	2.68	766.32	919.58	656.84

Lampiran C

Dokumentasi Penelitian

Proses pembuatan reagen :



Alat dan Bahan yang digunakan saat proses pembuatan reagen

Menimbang Kalium Iodida sebanyak 2 gram

Lokasi Titik Sampling :



Titik 1 di sebelah timur bandara



Titik 2 di sebelah barat bandara, di pemukiman warga

Cek Lokasi dengan GPS :



Dengan menggunakan GPS Map 76 CSX didapatkan koordinat lokasi sampling

Cek Kecepatan Udara



Dengan menggunakan Anemometer didapatkan kecepatan angin aktual pada saat melakukan sampling

Impinger :



Prinsip kerja impinger :

Udara ditarik dengan pompa hisap ke dalam tabung impinger yang berisi larutan penangkap (reagen). Kontaminan yang ingin diukur tertangkap atau bereaksi dengan larutan reagen. Kemudian Menghitung kadar kontaminan dalam udara berdasarkan jumlah polutan yang tangkap.



Tinggi Impinger 1 m (reseptor)

Stabilitas Atmosfer / Keadaan Cuaca



Pada lokasi sampling keadaan cuaca cerah kecepatan angin di bawah 2 m/s. Sehingga stabilitas atmosfer tergolong tidak stabil

Analisis dengan spektrofotometer



Hasil Analisa kadar polutan CO setelah dilakukan uji sampling dengan menggunakan spektrofotometer.

Lampiran D

Tata Cara Sampling Udara Ambien dan Tata Cara Penggunaan Software

4a) SAMPLING UDARA AMBIEN

Tahapan :

1. Membuat reagen.
2. Melakukan sampling di lokasi.
3. Analisis kadar karbon monoksida dengan spektrofotometer.

1. Membuat reagen

Alat dan Bahan :

1. KI
2. Aquades
3. Glass beaker
4. Pipet ukur
5. Neraca analitik
6. Spatula
7. Cawan petri

Prosedur

1. Mengambil 2 gram KI dengan menggunakan spatula dan diukur dengan neraca analitik.
2. Melarutkan 2 gram KI dengan 100 ml aquades.
3. Meletakkan/ menaruh reagen ke dalam botol kecil sebanyak 20 ml. Sehingga didapatkan 5 reagen karbon monoksida, 4 untuk uji kualitas udara 1 untuk blanco analisis.
4. Melakukan hal yang serupa untuk sampling di hari berikutnya.

2. Sampling di lokasi

Alat dan Bahan :

1. Impinger
2. Reagen CO

Prosedur :

1. Menyiapkan alat impinger.

2. Masukkan reagen pada tempat reagen yang tersedia di impinger.
3. Atur volume udara yang diinginkan.
4. Nyalakan impinger.
5. Tunggu hingga waktu yang ditentukan.
6. Matikan impinger
7. Masukkan reagen ke dalam suatu wadah untuk analisis.

3. Analisis Kadar Karbon Monoksida dengan spektrofotometer

Alat dan Bahan :

1. Reagen CO yang telah digunakan dari impinger
2. Blanko CO
3. Spektrofotometer

Prosedur :

1. Masukkan blanco yang telah dibuat Kedalam spektrofotometer. Kemudian setel blanco dengan panjang gelombang 390 nm.
2. Analisis reagen CO.

4b) MEMBUAT WINDROSE DENGAN WRPLOT 8.0.0

1. Buka software WRPLT 8.0.0
2. Di bagian menu pilih *tools* lalu *import from excel..*
3. Masukkan data kecepatan angin dan arah angin yang telah didapat dari BMKG. Data kecepatan dan arah angin yang digunakan adalah data pada bulan maret 2016 tiap jamnya dalam 1 bulan.
4. Masukkan data Tahun, Bulan, Hari dan Jam pada menu *Data Fields*. Lalu save dalam format SAMSON lalu tekan OK.
5. Kembali ke menu awal, kemudian pilih add file. Masukkan file yang telah disave sebelumnya.
6. Klik menu windrose dan didapatkan hasil windrose.

4c) MEMBUAT KONTUR PERSEBARAN DENGAN SURFER 10

1. Buka software Surfer.
2. Klik menu New Worksheet.

3. Masukkan data koordinat X dan Y reseptor pada kolom A dan B, sedangkan untuk kolom C masukan konsentrasi CO yang didapat dari model. Kemudian save dalam format .bin/.dat
4. Klik Menu New Plot
5. Pada menubar pilih Grid lalu klik data.
6. Pilih file telah disave sebelumnya. Surfer secara otomatis akan mengconvert file tersebut dalam format .grid
7. Klik menu contour pada toolbar dan pilih file yang telah terconvert menjadi .grid. Sehingga didapatkan kontur persebarannya.

BIODATA PENULIS



Gibran Muhammad Fawwaz merupakan nama lengkap dari penulis penelitian ini. Lahir di Jombang pada tanggal 18 Juli 1995. Penulis merupakan anak dari bapak Mochammad Irfan dengan ibu Indhira Laila. Pendidikan formal yang sudah ditempuh antara lain : TK Al-Choiriyah Jombang, SD *plus* Darul Ulum Jombang, SMP Negeri 2 Jombang, SMA Negeri 2 Jombang hingga menempuh S1 Departemen Teknik Lingkungan di Institut Teknologi Sepuluh

Nopember (ITS) Surabaya.

Selama berkuliah di ITS penulis sempat mengikuti beberapa organisasi yaitu : Staff Divisi Jaringan Media Tim Kerohanian Islam Al-Kaun Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) pada periode 2014-2015, Staff Divisi Creative News Departemen Komunikasi dan Informasi (Kominfo) Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) pada periode 2015-2016 dan Kepala Divisi Komunikasi dan Informasi Tim Kerohanian Islam Al-Kaun Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) pada periode 2015-2016. Selain itu juga penulis pernah melakukan Kerja Praktek (KP) di PT. Adiprima Suraprinta yang mana merupakan pabrik kertas milik Jawa Pos. Penulis dapat dihubungi melalui email gibran.fawwaz@gmail.com.