



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PENENTUAN KORELASI PERUBAHAN  
KECEPATAN ANGIN DAN KEKUATAN RADIASI  
TERHADAP KETINGGIAN LAPISAN INVERSI  
DAN HUBUNGANNYA DENGAN KUALITAS  
UDARA AMBIEN KOTA SURABAYA**

**NI PUTU ISANA WIKANDARI  
3311100095**

**DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T.**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - RE 141581

**DETERMINATION OF WIND SPEED AND  
RADIATION WAVE CORRELATION TO  
INVERSION HEIGHT AND AIR QUALITY OF  
SURABAYA**

NI PUTU ISANA WIKANDARI  
3311100095

LECTURER  
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T.

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

# LEMBAR PENGESAHAN

***Penentuan Korelasi Perubahan Kecepatan Angin Dan Kekuatan Radiasi Terhadap Ketinggian Lapisan Inversi Dan Hubungannya Dengan Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya***

## **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelas Sarjana  
Pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**Ni Putu Isana Wikandari**  
**NRP. 3311 100 095**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :**



**Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso., M.T.**  
**NIP. 196601161997031001**

**SURABAYA, JANUARI 2015**



## **Determination of Wind Speed and Radiation Wave Correlation to Inversion Height and Air Quality of Surabaya**

**Name** : Ni Putu Isana Wikandari  
**NRP** : 3311100095  
**Department** : Teknik Lingkungan  
**Counselor** : Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT

### **Abstract**

Average of air quality status in Surabaya in good condition status only less than 24% in a year (Anonymous, 2008). Dispersion of pollutants in the ambient is affected by meteorological factors and height of the inversion layer that limit the mixing height in the city of Surabaya. This study was conducted to analyze the relationship between meteorological factors and the height of the inversion layer, and also the ambient air quality in the city of Surabaya.

Correlation of meteorological factors on the inversion layer height and ambient air quality in the city of Surabaya analyzed by Pearson correlation method. Correlations were conducted assumed under normal conditions so the meteorological data (wind speed and global radiation) and air quality (concentration of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>) that is used is from the data scoping (00.00 am and 12.00 pm) with the 10% percentile value. The data obtained from the inversion layer height profile radiosonde temperature measurement results.

Inversion layer in Surabaya is a subsidence inversion. The inversion layer is inversely correlated at 00:00 pm and is directly proportional correlation at 12.00 against the wind speed, while not correlated to the strength of the radiation. Correlation of inversion layer height with SO<sub>2</sub> concentration of ambient air quality is inversely related, but not correlated with NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>. While the wind speed is negatively correlated with NO<sub>2</sub>. Radiation strength parameters were negatively correlated with SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub>, but the correlation is directly proportional to O<sub>3</sub>.

Keyword : Wind speed, Global Radiation, Inversion Height,  
Ambient Air Quality

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan YME atas rahmat dan berkah, sehingga laporan Tugas Akhir yang berjudul “Penentuan Korelasi Perubahan Kecepatan Angin dan Kekuatan Radiasi Terhadap Ketinggian Lapisan Inversi dan Hubungannya dengan Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya” dapat terselesaikan. Laporan Tugas Akhir ini dibuat dalam rangka memenuhi persyaratan kelulusan program S1 Teknik Lingkungan.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT., terima kasih atas segala ilmu, arahan dan kesabarannya dalam membimbing penulis.
2. Para dosen penguji Tugas Akhir, Bapak Prof. Joni Hermana, Ir., MScES., Ph.D., Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., Ph.D., Bapak Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM., Ph.D., Ibu Alia Damayanti, ST., MT., PhD. dan Bapak Abdu Fadli Assomadi, SSI., MT. sekaligus Co. Pembimbing yang telah bersedia memberi kritik dan arahan untuk tugas akhir ini.
3. Dosen wali Ibu Dr. Ir. Elina, MT., yang telah memberikan perhatian terhadap anak walinya.
4. Bapak Dr. Sutikno, S.Si. M.Si dan Bapak Hastuardi Harsa yang telah membantu untuk mendapatkan data meteorologi pada penelitian ini.
5. Para teman-teman khususnya angkatan 2011 yang berjuang bersama-sama untuk menyelesaikan TA pada semester ini.
6. Teman-teman seperjuangan angkatan 2011 yang akan menempuh TA tahun depan, geng susah senang bareng, bebas crew, dan junior yang selalu memberi semangat dan membantu penyelesaian tugas akhir ini.
7. Teman-teman Laboratorium Pemantauan Kualitas Udara Novi dan Alvin yang bersama-sama selalu terjaga hingga pagi hari untuk menyelesaikan TA ini.
8. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendoakan, dan mengingatkan semua hal kepada penulis.

Penulis sangat berharap atas saran dan kritik yang membangun dalam penulisan Proposal Tugas Akhir, sehingga dapat memperbaiki penulisan Tugas Akhir.

Surabaya, Desember 2014  
Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kondisi Topografi dan Meteorologi Kota Surabaya	5
2.2 Pemantauan Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya	5
2.3 Pengaruh Meteorologi Terhadap Kualitas Udara Ambien	8
2.3.1 Parameter Kecepatan Angin	8
2.3.2 Parameter Kekuatan Radiasi	9
2.3.3 Pengaruh Kecepatan Angin dan Kekuatan Radiasi	9
2.4 Faktor Ketinggian Lapisan Inversi	12
2.5 Penentuan Ketinggian Lapisan Inversi dan Model Mixing Height	14
2.6 Metode Korelasi Pearson	15
2.7 Penelitian Terdahulu	17
BAB 3 METODE PENELITIAN	19
3.1 Gambaran Umum Penelitian	19
3.2 Pelaksanaan Penelitian	21
3.2.1 Ide Penelitian	21
3.2.2 Studi Literatur	21
3.2.3 Pengumpulan Data	22
3.2.4 Tahapan Penelitian	22
3.2.4.1 Penelitian Pendahuluan	22
3.2.4.2 Pelingkupan Data Sekunder	22
3.2.4.3 Analisis Korelasi	23

3.2.5 Analisis Data dan Pembahasan	23
3.2.6 Kesimpulan dan Saran	24
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Analisa Data Ketinggian Inversi dari Profil Temperatur Pengukuran Radiosonde	25
4.2 Pelingkupan Data Meteorologi, Lapisan Inversi dan Kualitas Udara SUF	29
4.3 Korelasi Data Meteorologi dan Lapisan Inversi	32
4.4 Korelasi Data Lapisan Inversi dan Kualitas Udara SUF	35
4.5 Korelasi Data Meteorologi dan Kualitas Udara SUF	39
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan Penelitian	45
5.2 Saran Untuk Penelitian Selanjutnya	45
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Lokasi Stasiun Pemantau ISPU Kota Surabaya dan Data Display Kota Surabaya	7
Gambar 3. 1	Bagan Kerangka Penelitian	20
Gambar 4. 1	Profil Temperatur Hasil Pengolahan Data Pengukuran Radiosonde BMKG Juanda Tanggal 1 Januari 2009 Pukul 00.00 WIB	26
Gambar 4. 2	Kondisi <i>Subsidence Inversion</i>	28

***Halaman ini Sengaja Dikosongkan***

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Lokasi Stasiun Pemantauan Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya	6
Tabel 2.2	Klasifikasi Kecepatan Angin Menurut Skala Beaufort	9
Tabel 2.3	Klasifikasi Kekuatan Radiasi Matahari	9
Tabel 2.4	Klasifikasi Stabilitas Atmosfer (Pasquill-Gifford)	11
Tabel 4.1	Hasil Pengolahan Data Hasil Pengukuran Radiosonde BMKG Juanda Tanggal 1 Januari 2009 Pukul 00.00 WIB	26
Tabel 4.2	Data Kecepatan Angin Tahun 2009-2014	29
Tabel 4.3	Data Kekuatan Radiasi Tahun 2009-2014	30
Tabel 4.4	Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dan Kekuatan Radiasi dengan Lapisan Inversi Pukul 00.00 WIB	32
Tabel 4.5	Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dan Kekuatan Radiasi dengan Lapisan Inversi Pukul 12.00 WIB	32
Tabel 4.6	Presentase Ketinggian Lapisan Inversi dan Kestabilan Atmosfer	35
Tabel 4.7	Kondisi Kualitas Udara Kota Surabaya	36
Tabel 4.8	Hasil Korelasi Pearson antara Lapisan Inversi dengan Gas SO <sub>2</sub> Pukul 00.00 WIB	37
Tabel 4.9	Hasil Korelasi Pearson antara Lapisan Inversi dengan Gas NO <sub>2</sub> Pukul 00.00 WIB	37
Tabel 4.10	Hasil Korelasi Pearson antara Lapisan Inversi dengan Gas O <sub>3</sub> Pukul 00.00 WIB	37
Tabel 4.11	Hasil Korelasi Pearson antara Lapisan Inversi dengan Gas SO <sub>2</sub> Pukul 12.00 WIB	37
Tabel 4.12	Hasil Korelasi Pearson antara Lapisan Inversi dengan Gas NO <sub>2</sub> Pukul 12.00 WIB	38
Tabel 4.13	Hasil Korelasi Pearson antara Lapisan Inversi dengan Gas O <sub>3</sub> Pukul 12.00 WIB	38
Tabel 4.14	Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dan Gas SO <sub>2</sub> Pukul 00.00 WIB	39
Tabel 4.15	Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dan Gas NO <sub>2</sub> Pukul 00.00 WIB	39

Tabel 4.16	Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dan Gas O <sub>3</sub> Pukul 00.00 WIB	39
Tabel 4.17	Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dengan Gas SO <sub>2</sub> Pukul 12.00 WIB	40
Tabel 4.18	Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dengan Gas NO <sub>2</sub> Pukul 12.00 WIB	40
Tabel 4.19	Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dengan Gas O <sub>3</sub> Pukul 12.00 WIB	40
Tabel 4.20	Hasil Korelasi Pearson antara Kekuatan Radiasi dengan Gas SO <sub>2</sub> Pukul 00.00 WIB	41
Tabel 4.21	Hasil Korelasi Pearson antara Kekuatan Radiasi dengan Gas NO <sub>2</sub> Pukul 00.00 WIB	41
Tabel 4.22	Hasil Korelasi Pearson antara Kekuatan Radiasi dengan Gas O <sub>3</sub> Pukul 00.00 WIB	41
Tabel 4.23	Hasil Korelasi Pearson antara Kekuatan Radiasi dengan Gas SO <sub>2</sub> Pukul 12.00 WIB	41
Tabel 4.24	Hasil Korelasi Pearson antara Kekuatan Radiasi dengan Gas NO <sub>2</sub> Pukul 00.00 WIB	42
Tabel 4.25	Hasil Korelasi Pearson antara Kekuatan Radiasi dengan Gas O <sub>3</sub> Pukul 00.00 WIB	42

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kualitas udara ambien suatu kota dipengaruhi oleh faktor meteorologi pada kota tersebut (Mamtimin dan Meixner, 2011). Faktor meteorologi seperti kecepatan angin dan radiasi matahari mengakibatkan terjadinya turbulensi mekanis dan mempengaruhi kestabilan atmosfer serta ketinggian lapisan inversi (Khan, 2000). Menurut Daoo *et al.* (2004) dalam Mamtimin dan Meixner (2011), kestabilan atmosfer dan lapisan inversi akan mengurangi tingkat *mixing height*, sehingga membatasi dispersi pencemar yang dilepaskan secara vertikal ke atmosfer. Semakin level ketinggian lapisan inversi mendekati permukaan bumi, semakin kecil area *mixing height* sehingga mengakibatkan proses dispersi polutan minimum dan kualitas udara ambien menjadi buruk.

Kondisi topografi Kota Surabaya sebagian besar berupa dataran rendah antara 3-6 m di atas permukaan laut, daerah berbukit hanya terletak di bagian selatan 20-30 m di atas permukaan laut (Anonim, 2005). Kecepatan angin rata-rata tahun 2012 Kota Surabaya berkisar antara 5,3-8,3 knots (Anonim, 2012). Kota Surabaya beriklim tropis, sehingga lama penyinaran matahari terjadi pada sepanjang hari (Anonim, 2005). Kekuatan radiasi maksimum pada tahun 2012 yaitu mencapai 1200 watt/m<sup>2</sup> dengan lama penyinaran bulanan maksimum mencapai 250 jam dalam satu bulan (Anonim, 2012).

Berdasarkan pemantauan pada SUF oleh Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Surabaya tahun 2001-2008, kualitas udara rata-rata di Kota Surabaya berstatus dalam kondisi baik dan sedang berkisar antara 96-98% setiap tahunnya (Anonim, 2008). Kondisi kecepatan angin dan kekuatan radiasi serta lama penyinaran yang cukup tinggi di Kota Surabaya, menyebabkan suhu udara tinggi (suhu maksimum mencapai lebih dari 30<sup>0</sup> C) dan menyebabkan turbulensi mekanis arah vertikal lebih baik, sehingga menyebabkan penekanan lapisan inversi ke level yang lebih tinggi dan area *mixing height* lebih luas (Li *et al.*, 2014;

Wang dan Wang, 2014; Anonim, 2005). Namun, kualitas udara rata-rata di Surabaya dalam status kondisi baik hanya 27 – 86 hari (tidak lebih dari 24%) dalam setahun (Anonim, 2008). Hal tersebut dikarenakan emisi polutan yang tidak sebanding dengan daya dukung kondisi meteorologis dalam mendispersikan polutan di udara ambien Kota Surabaya. Kebijakan yang sesuai dalam pengelolaan kualitas udara berdasarkan kondisi meteorologis Kota Surabaya dibutuhkan untuk meningkatkan status kualitas udara menjadi lebih baik.

Penelitian ini bertujuan menganalisis adanya pengaruh kecepatan angin dan kekuatan radiasi terhadap ketinggian lapisan inversi sebagai daya dukung pendispersian polutan serta dikorelasikan terhadap pembacaan kualitas udara ambien di Surabaya. Setelah diketahui korelasi antara parameter meteorologis, ketinggian inversi, serta kualitas udara ambien di Surabaya dapat ditentukan kebijakan pengelolaan kualitas udara oleh pemerintah setempat.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Adanya korelasi perubahan kecepatan angin dan kekuatan radiasi terhadap ketinggian lapisan inversi.
2. Adanya korelasi ketinggian lapisan inversi terhadap kualitas udara ambien Kota Surabaya.
3. Adanya korelasi perubahan kecepatan angin dan kekuatan radiasi terhadap kualitas udara ambien Kota Surabaya.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan korelasi setiap perubahan parameter meteorologi kecepatan angin maupun kekuatan radiasi terhadap ketinggian lapisan inversi dan perumusan tindakan yang sesuai dengan korelasi tersebut.

2. Menentukan korelasi ketinggian lapisan inversi terhadap kualitas udara ambien Kota Surabaya dan upaya pengelolaan kualitas udara berdasarkan korelasi tersebut.
3. Menentukan korelasi perubahan kecepatan angin dan kekuatan radiasi terhadap kualitas udara ambien Kota Surabaya dan upaya pengelolaan kualitas udara berdasarkan korelasi tersebut.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Pada penelitian ini menghasilkan data pendukung penentuan korelasi kualitas udara ambien (data SUF) dan data meteorologi (data BMKG). Data ini diharapkan dapat bermanfaat untuk Pemerintah Kota Surabaya sebagai landasan kebijakan pengelolaan kualitas udara akibat pengaruh meteorologi terhadap pendispersian polutan serta kualitas udara di Kota Surabaya.

#### **1.5 Ruang Lingkup**

Ruang Lingkup dalam Penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengendalian Pencemaran Udara dan Perubahan Iklim Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
2. Waktu penelitian dilakukan selama 3 bulan yaitu bulan Agustus – November 2014.
3. Data yang dipakai dalam penelitian ini adalah :
  - a. Data harian dalam kurun waktu 5 tahun terakhir (2009-2014) dari SUF BLH Kota Surabaya berupa data pencemar primer yaitu  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  serta pencemar sekunder yaitu  $\text{O}_3$ .
  - b. Data pengamatan radiosonde untuk menentukan lapisan inversi berdasarkan profil temperatur dalam kurun waktu 5 tahun terakhir (2009-2014) dari BMKG Juanda, Kota Surabaya.
  - c. Data Meteorologi dalam kurun waktu 5 tahun terakhir (2009-2014) dari BMKG Juanda, Kota Surabaya.

4. Prinsip penelitian ini adalah :
  - a. Mengolah data sekunder dari hasil pengamatan radiosonde BMKG Juanda Surabaya pada pukul 00.00 dan 12.00 WIB untuk mendapatkan ketinggian lapisan inversi berdasarkan profil temperatur.
  - b. Mengolah data sekunder ketinggian lapisan inversi dengan data kualitas udara ambien pada jam yang sama di Kota Surabaya yang akan dianalisis korelasinya pada kondisi normal (nilai persentil 10%).
  - c. Menganalisis korelasi antara ketinggian lapisan inversi dari profil temperatur pengukuran radiosonde dengan konsentrasi pencemar pada udara ambien hasil pengukuran SUF.
  - d. Menganalisis korelasi data meteorologi dan kualitas udara ambien, korelasi data ini menggunakan software yaitu *Microsoft Excel* yang memiliki perangkat fungsi berupa korelasi *Pearson*.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kondisi Topografi dan Meteorologi Kota Surabaya

Kota Surabaya terletak pada  $07^{\circ}12'$  –  $07^{\circ}21'$  Lintang Selatan dan  $112^{\circ}36'$  –  $112^{\circ}54'$  Bujur Timur. Kondisi topografi Kota Surabaya sebagian besar berupa dataran rendah antara 3-6 m di atas permukaan laut, daerah berbukit hanya terletak di bagian selatan 20-30 m di atas permukaan laut (Anonim, 2005). Iklim pada Kota Surabaya merupakan iklim tropis. Kecepatan angin rata-rata tahun 2012 Kota Surabaya berkisar antara 5,3-8,3 knots (Anonim, 2012).

Lama penyinaran matahari terjadi pada sepanjang hari, namun agak terganggu karena kondisi cuaca berawan yang biasanya terjadi pada bulan Desember dan Januari (Anonim, 2005). Kekuatan radiasi maksimum pada tahun 2012 yaitu mencapai  $1200 \text{ watt/m}^2$  dengan lama penyinaran bulanan maksimum mencapai 250 jam dalam satu bulan. Hal ini menyebabkan suhu rata-rata Kota Surabaya cukup tinggi yaitu berkisar  $22,9^{\circ}$  -  $35,2^{\circ}\text{C}$  (Anonim, 2012).

#### 2.2 Pemantauan Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya

Berdasarkan PP Nomor 41 Tahun 1999, definisi udara ambien merupakan udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya. Kualitas atau mutu udara ambien adalah kadar zat, energi, dan/atau komponen lain yang ada di udara bebas. Penurunan kualitas udara ambien Kota Surabaya diakibatkan oleh limbah gas yang digolongkan dalam sumber tidak bergerak (kegiatan industri, rumah tangga dan pembakaran sampah) dan sumber bergerak (kegiatan transportasi). Zat pencemar yang sering dijumpai di lingkungan perkotaan termasuk Surabaya adalah  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{10}$ , dan  $\text{Pb}$  (Lead). Gas  $\text{SO}_2$  merupakan gas

yang tidak berwarna dan berbau sangat menyengat yang terbentuk akibat oksidasi atau pembakaran belerang yang terlarut dalam bahan bakar minyak bumi serta belerang yang terkandung dalam bijih logam yang diproses dalam industri pertambangan. Sementara untuk gas NO<sub>2</sub> berasal dari pembakaran bahan bakar minyak didalam industri ataupun bahan bakar motor.

Pemantauan kualitas udara ambien di Kota Surabaya dilakukan berdasarkan tingkat konsentrasi pencemar, penyebaran pencemar dan inventarisasi emisi. Penetapan lokasi stasiun pemantauan kualitas udara ambien ditentukan oleh kepadatan jumlah penduduk, tingkat pencemaran dan keragamannya serta kebijakan yang berlaku. Berikut lokasi penempatan stasiun pemantauan kualitas udara ambien berdasarkan hasil survey bersama Tim BAPEDAL pusat, tim Pemerintah Austria, tim Pemerintah Kota Surabaya dan tim BAPEDAL Provinsi Jawa Timur pada tanggal 10-13 Maret 1999 (Anonim, 2008):

Tabel 2. 1 Lokasi Stasiun Pemantauan Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya

STASIUN	LOKASI PEMANTAUAN	WILAYAH	PERUNTUKAN LAHAN
SUF 1	Halaman Taman Prestasi, Jl. Ketabang Kali	Surabaya Pusat	Pusar Kota, Pemukiman, Perkantoran
SUF 2	Halaman Kantor Kelurahan Perak Timur, Jl. Selangor	Surabaya Utara	Perkantoran, dekat daerah industri, Pergudangan
SUF 3	Halaman Kantor Pembantu Walikota Surabaya Barat, Jl. Sukomanunggal	Surabaya Barat	Pemukiman, daerah pinggir kota
SUF 4	Halaman Kecamatan Gayungan, Jl. Gayungan	Surabaya Selatan	Pemukiman – dekat Tol Surabaya-Gempol
SUF 5	Halaman Convention Hall, Jl. Arif Rahman Hakim	Surabaya Timur	Pemukiman, Kampus, Perkantoran

Sumber: Anonim, 2008.



**Legenda :**

SUF1 : Taman Prestasi, Jl. Ketabang Kali  
 SUF2 : Perak timur, Jl. Selanggor  
 SUF3 : Sukomanunggal, Jl. Sukomanunggal  
 SUF4 : Gayungan, Jl. Raya PAGESANGAN  
 SUF5 : Gebang Putih, Jl. A.Rachman Hakim

DD1 : Gubeng Pojok,  
 DD2 : Pahlawan  
 DD3 : Jl. Mayjen Sungkono  
 DD4 : Achmad Yani  
 DD5 : Dharmawangsa

Sumber: Anonim, 2008.

Gambar 2.1 Lokasi Stasiun Pemantau IPU Kota Surabaya dan Data Display Kota Surabaya

Parameter yang diukur dalam stasiun pemantau kualitas udara ambien di Kota Surabaya ada 16 (enam belas) parameter, yang terdiri dari :

1. Lima parameter kunci : PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO.
2. Sebelas parameter pendukung dan meteorologi : NO, NO<sub>x</sub>, kecepatan angin (FF), kecepatan hembusan angin (FF Boe), arah angin (DD), arah hembusan angin (DD Boe), kelembaban udara ambien, kelembaban udara container, suhu udara ambien, suhu container dan global radiasi.

Karakteristik zat pencemar udara yang dipantau pada udara ambien Kota Surabaya antara lain:

1.  $\text{SO}_2$  ikatan yang tidak stabil dan sangat reaktif terhadap gas yang lain. Tidak berwarna, bau yang sangat tajam, sangat mengiritasi, tidak terbakar, dan tidak meledak (Anonim, 2008).  $\text{SO}_2$  mudah terlarut dalam air, sehingga dengan adanya uap air dalam udara akan mengakibatkan pembentukan asam sulfat maupun sulfat yang apabila terkondensasi menyebabkan hujan asam. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Saputra, 2009):



Waktu tinggal rata-rata 2-4 hari dan dapat ditransportasikan sejauh 1000 km, sehingga keadaannya relatif stabil di atmosfer (Alifah, 2010).

2.  $\text{NO}_2$  merupakan zat pencemar yang berwarna merah-ungu-kecoklatan serta baunya menyengat, toksis dan korosif serta menghisap banyak cahaya (Anonim, 2008). Di udara  $\text{NO}_2$  membentuk awan kuning atau coklat. Waktu tinggal rata-rata  $\text{NO}_2$  di atmosfer kira-kira adalah 3 hari.  $\text{NO}_2$  memiliki sifat racun empat kali lebih besar dari gas  $\text{NO}$  (Fardiaz, 1992).
3.  $\text{O}_3$  merupakan komponen atmosfer yang diproduksi oleh proses fotokimia, yaitu reaksi kimia yang membutuhkan sinar matahari dalam mengoksidasi komponen-komponen yang tidak teroksidasi oleh oksigen.  $\text{O}_3$  termasuk kedalam pencemar sekunder yang terbentuk di atmosfer akibat reaksi fotokimia  $\text{NO}_x$  dan HC (Maharani, 2013).

## 2.3 Pengaruh Meteorologi Terhadap Kualitas Udara Ambien

Kualitas udara ambien dipengaruhi oleh kondisi meteorologi diantaranya kecepatan angin dan kekuatan radiasi matahari.

### 2.3.1 Parameter Kecepatan Angin

Angin merupakan udara yang bergerak secara horizontal yang diakibatkan rotasi bumi dan adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah

(Anonim,2009). Pada Tabel 2.2 berikut merupakan klasifikasi kecepatan angin menurut skala Beaufort:

Tabel 2. 2 Klasifikasi Kecepatan Angin Menurut Skala Beaufort

Skala Beaufort	Kategori	Satuan km/jam	Satuan Knots
0	Udara Tenang	0	0
1-3	Angin Lemah	<19	<10
4	Angin Sedang	20-29	11-16
5	Angin Segar	30-39	17-21
6	Angin Kuat	40-50	22-27
7	Angin Ribut	51-62	28-33
8	Angin Ribut Sedang	63-75	34-40
9	Angin Ribut Kuat	76-87	41-47
10	Badai	88-102	48-55
11	Badai Kuat	103-117	56-63
12+	Topan	>118	>64

Sumber: Sanger, 2012

### 2.3.2 Parameter Kekuatan Radiasi

Radiasi matahari adalah pancaran energi yang berasal dari proses thermonuklir yang terjadi di matahari. Kekuatan energi radiasi matahari berbentuk sinar dan gelombang elektromagnetik (Anonim, 2013). Klasifikasi kekuatan radiasi matahari menurut Seinfeld (1986) dijabarkan pada Tabel 2.3 berikut ini:

Tabel 2. 3 Klasifikasi Kekuatan Radiasi Matahari

Kategori	Langley/menit	W/m <sup>2</sup>
Kuat	>1,0	>700
Sedang	$0,5 \leq x \leq 1,0$	$350 \leq x \leq 700$
Lemah	<0,5	<350

Sumber: Sinfeld, 1986.

### 2.3.3 Pengaruh Kecepatan Angin dan Kekuatan Radiasi

Radiasi sinar matahari dan kondisi awan adalah parameter meteorologi yang digunakan dalam penentuan klasifikasi kestabilan atmosfer. Kecepatan angin menurut EPA juga merupakan kondisi yang harus ditinjau untuk mengklasifikasi kestabilan atmosfer. Hal tersebut karena angin menimbulkan efek mekanik melalui pencampuran turbulen dan geseran angin yang

mendominasi efek pencampuran panas (*thermal mixing effect*) (Rima, 2004). Kestabilan atmosfer merupakan salah satu parameter meteorologi yang mempengaruhi dispersi polutan di udara ambien (Sumaryati, 2011). Stabilitas atmosfer merupakan metode untuk mengklasifikasikan atmosfer dalam mengencerkan dan mencampur udara (Rati, 2013).

Tabel 2. 4 Klasifikasi Stabilitas Atmosfer (Pasquill-Gifford)

Kecepatan Angin Permukaan <sup>(a)</sup> (m/s)	Siang Hari (radiasi sinar matahari)			Malam Hari (kondisi awan) <sup>(e)</sup>	
	Kuat <sup>(b)</sup>	Sedang <sup>(c)</sup>	Lemah <sup>(d)</sup>	Berawan	Cerah
< 2	A	A - B <sup>(f)</sup>	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

Sumber: Turner (1970) dalam Rima (2004); Seinfeld (1986)

Catatan:

- Kecepatan angin permukaan diukur pada ketinggian 10 m dari tanah.
- Kondisi Kekuatan Radiasi  $> 700 \text{ W/m}^2$ .
- Kondisi Kekuatan Radiasi  $350 < I < 700 \text{ W/m}^2$ .
- Kondisi Kekuatan Radiasi  $I < 350 \text{ W/m}^2$ .
- Kondisi awan didefinisikan sebagai fraksi langit tertutup awan.
- Untuk kondisi A-B, B-C, atau C-D rata-rata nilai berlaku untuk masing-masing:  
 A = sangat tidak stabil                      C = lemah tidak stabil                      E = lemah stabil  
 B = sedang tidak stabil                      D = netral    F = stabil

Berdasarkan penelitian dari Wijayanti pada tahun 2011, kondisi kestabilan atmosfer Kota Surabaya pada siang hari bulan Juli hingga Oktober berada di kelas B. Sedangkan untuk bulan April hingga Juni pada siang hari berada di kelas B-C dan pada bulan Desember hingga Maret berada di kelas C. Pada malam hari kondisi atmosfer untuk bulan April hingga Oktober berada di kelas E. Sedangkan pada bulan September hingga Maret berada di kelas D.

Stabilitas atmosfer menentukan batas ketinggian pendispersian polutan dengan udara ambien yang lebih bersih. Batas atau ketinggian maksimum terjadinya pergerakan konveksional yang menyebabkan pencampuran polutan dengan udara bersih di atasnya disebut dengan *mixing height* (Lutgens *et al.*, 2004; Sumaryati, 2011). Semakin tinggi *mixing height* maka kondisi kualitas udara ambien semakin baik. Saat *mixing height* relatif rendah, pengenceran polutan hanya dilakukan dengan massa udara bersih yang lebih sedikit, sehingga konsentrasi polutan masih membahayakan bagi kesehatan. Kondisi udara yang stabil menyebabkan pergerakan konveksional tertekan dan level *mixing height* menjadi rendah. Sedangkan kondisi udara yang tidak stabil menyebabkan udara bergerak naik dan level *mixing height* menjadi lebih tinggi. *Mixing height* biasanya terjadi di siang atau sore hari karena terjadinya pemanasan permukaan bumi karena radiasi matahari membantu pergerakan konveksional (Lutgens *et al.*, 2004 dalam Guswanto *et al.*, 2007).

## **2.4 Faktor Ketinggian Lapisan Inversi**

Lapisan inversi adalah keadaan saat udara hangat menyelimuti udara dingin karena temperatur udara ambien meningkat sesuai dengan ketinggian atau saat *lapse rate* menjadi positif (Muzayanah, 2012). Lapisan inversi terjadi apabila kondisi udara sangat stabil, yaitu saat temperatur atmosfer semakin ke atas semakin tinggi (gradien temperatur bernilai positif). Kondisi anomali tersebut menyebabkan polutan tidak dapat bercampur dengan udara sekitarnya dan menyebabkan polutan mengendap pada udara permukaan (Sumaryati, 2011).

Pada malam yang cerah, bumi memancarkan radiasi gelombang panjang dan sebagian melewati lapisan troposfer. Namun karena tidak ada radiasi matahari, bumi dan lapisan

bawah atmosfer menjadi dingin. Setelah matahari terbit, lapisan inversi terkikis dari bawah akibat pencampuran konvektif. Sebelum tengah hari, level lapisan inversi digantikan *mixing height* hingga matahari terbenam. Awan dan kecepatan angin bertanggung jawab untuk melemahkan siklus harian tersebut. Kondisi berawan menyebabkan radiasi gelombang panjang terpantul kembali ke permukaan bumi dan menyebabkan proses pendinginan pada malam hari berkurang. Pada siang hari, awan mengurangi proses kekuatan radiasi matahari dan menyebabkan proses pemanasan minimum, sehingga turbulensi konvektif berkurang dan lapisan inversi menjadi stabil. Kecepatan angin berpengaruh pada pencampuran udara ambien dan menghilangkan pengaruh gradien temperatur (Khan, 2000).

Lapisan inversi juga dapat disebabkan karena adanya pendinginan di dekat permukaan bumi yang diakibatkan oleh material bangunan yang memiliki sifat cepat panas atau dingin sesuai dengan kondisi lingkungannya (termal konduktor). Hal tersebut menyebabkan lapisan atmosfer dekat permukaan lebih dingin daripada lapisan atmosfer di atasnya pada saat malam hari (tanpa radiasi matahari) sehingga terbentuklah lapisan inversi. Dalam kasus tersebut, lapisan inversi juga dapat terjadi ketika pagi dan siang hari berawan sehingga radiasi matahari terhalangi mencapai permukaan bumi (Sumaryati, 2011).

Wilayah dengan topografi yang berbukit dan berbentuk cekungan juga berpotensi mengalami lapisan inversi yang kuat. Kondisi tersebut dapat menyebabkan udara panas yang mengalir di puncak bukit pada siang hari mengalir ke atas lembah yang kondisinya masih dingin. Sehingga udara panas akan mengalir di atas lapisan udara dingin dan menyebabkan pembentukan lapisan inversi. Lapisan inversi penting dalam pendispersian polutan di udara ambien karena sifatnya yang stabil menyebabkan olakan (eddy) tidak terjadi. Hal tersebut membatasi ruang pencampuran parcel udara yang mengandung polutan pekat dengan udara ambien yang lebih bersih (level *mixing height* rendah). Parcel udara yang mengandung polutan tersebut hanya terdispersi melalui proses difusi dan bergerak sesuai arah angin laminer (Sumaryati, 2011).

Inversi suhu diakibatkan berbagai jenis faktor yang mempengaruhi, berikut ini merupakan jenis-jenis dari lapisan inversi:

1. Inversi Radiasi merupakan lapisan inversi yang terjadi akibat pendinginan permukaan bumi. Setelah hari menjadi gelap hanya permukaan bumi yang meradiasikan panas (dalam bentuk gelombang infra merah) ke atmosfer, sehingga atmosfer di atasnya menjadi panas dan terapung ke atmosfer (Abdlanov, 2011).
2. Inversi *Subsidence* merupakan lapisan inversi yang terjadi karena penurunan sejumlah gumpalan udara dan mengangkat parcel udara dengan kompresi. Sedangkan temperatur di bawah parcel udara tersebut lebih rendah, sehingga terjadilah lapisan inversi (Seinfeld, 1986).
3. Inversi Frontal merupakan lapisan inversi yang terjadi karena hembusan angin laut dengan temperatur yang lebih dingin ke arah daratan (Abdlanov, 2011).

## 2.5 Penentuan Ketinggian Lapisan Inversi dan Model Mixing Height

Menurut Dao *et al.* (2004) dalam Mamtimin dan Meixner (2011), kestabilan atmosfer dan lapisan inversi akan mengurangi tingkat *mixing height*, karena merupakan ventilasi dari lapisan batas atmosfer sehingga mencegah dispersi pencemar yang dilepaskan secara vertikal ke atmosfer. Kecepatan angin dan kekuatan radiasi merupakan parameter meteorologi yang digunakan untuk menentukan kelas stabilitas atmosfer (Muzayanah, 2012). Yu (1978) memberikan ulasan dan validasi studi hubungan skala sederhana berdasarkan data meteorologi permukaan yang diperoleh dengan menggunakan koefisien korelasi dalam menentukan level ketinggian *mixing height* sebagai berikut (Khan, 2000):

$$H_m = CU \cdot f \quad (1)$$

Keterangan:  $H_m$  = Level ketinggian *mechanical mixing height*

$U$  = Kecepatan gesekan

$f$  = Parameter Coriolis

C = Koefisien korelasi berdasarkan stabilitas atmosfer

Untuk kategori stabilitas kelas D (kondisi netral) berdasarkan hasil penelitian Plate (1971) dan Benkley (1979) adalah sebagai berikut (Khan, 2000):

$$Hm = 0,185 \frac{U_*}{f} \quad (2)$$

Stull (1989) menyarankan sebuah hubungan sederhana untuk kategori atmosfer yang tidak stabil (Pasquil Stabilitas Atmosfer kelas A, B, C) seperti berikut (Khan, 2000):

$$Hm = -kL \left[ \frac{w_*}{U_*} \right]^3 \quad (3)$$

Keterangan:  $w_*$  = skala kecepatan konvektif  
L = panjang Monin-Obukhov  
k = konstanta Von Karbman

Untuk kategori kondisi atmosfer stabil (Pasquil Stabilitas Atmosfer kelas E dan F) Arya (1981) menyarankan menggunakan persamaan berikut (Khan, 2000):

$$Hm = 113 + 0,34 \left[ \frac{LU_*}{f_*} \right]^{0,5} \quad (4)$$

Kecepatan gesekan permukaan ( $U_*$ ) ditentukan menggunakan teknik analisis yang diajukan oleh Wang dan Chen (1980) untuk kondisi atmosfer tidak stabil dan Weil dan Brower (1983) untuk kondisi stabil. Untuk menentukan panjang Monin-Obukhov (L) dilakukan prosedur iterasi yang hampir sama yang dijabarkan oleh Koo *et al.* (1984). Skala kecepatan konvektif ( $w_*$ ) dapat ditentukan dengan persamaan yang dikembangkan oleh Venkatram (1978). Faktor coriolis dapat ditentukan melalui  $f = 2 w \sin \Phi$ , dimana  $w$  adalah kecepatan rotasi bumi dan  $\Phi$  adalah posisi latitude. Faktor coriolis merupakan efek dari rotasi bumi yang mempengaruhi *vertical wind shear* dan menghasilkan intensitas turbulensi dan ketinggian batas lapisan di atmosfer (Khan, 2000).

## 2.6 Metode Korelasi Pearson

Korelasi *Pearson* merupakan bentuk perhitungan statistik parametrik yang digunakan untuk pengujian hipotesis bila data berdistribusi normal dalam bentuk interval dan rasio (Walpole,

1992). Korelasi *Pearson* dapat menunjukkan arah hubungan dan tingkat korelasi antar variabel. Namun metode korelasi ini tidak terpengaruh dengan nilai ekstrim dan bisa salah ketika pemilihan variabelnya tidak tepat. Rentang nilai koefisien korelasi *Pearson* berkisar antara 1 hingga -1. Hubungan sempurna terjadi ketika nilai 1 (untuk korelasi positif) dan -1 (untuk korelasi negatif). Sedangkan nilai koefisien korelasi minimum bernilai 0. *Error* membuat prediksi semakin besar ketika nilai koefisien semakin kecil.

Analisis korelasi dilakukan dengan tujuan antara lain:

- Mendapatkan bukti terdapat tidaknya hubungan (korelasi) antar variabel,
- Menggambarkan besar kecilnya hubungan antar variabel,
- Memperoleh kejelasan dan kepastian apakah hubungan tersebut berarti (meyakinkan atau signifikan) atau tidak berarti (tidak meyakinkan).

Koefisien korelasi linier antara dua variabel dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{\{n\sum X^2 - (\sum X)^2\} \{n\sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}} \quad (5)$$

Keterangan :

- r = Koefisien korelasi *pearson*
- X = Variabel x dalam skala interval
- Y = Variabel y dalam skala interval
- n = Jumlah responden

Koefisien korelasi terletak antara -1 dan 1, yaitu  $-1 \leq r \leq 1$ .

- nilai  $r = -1$ , maka korelasi bernilai negatif (berlawanan arah); artinya terdapat hubungan negative yang sempurna antara variabel X dengan variabel Y.
- nilai  $r = 1$ , maka korelasi bernilai positif (searah); artinya terdapat hubungan positif yang sempurna antara variabel X dengan variabel Y.
- nilai  $r = 0$ , maka variabel tidak berkorelasi secara linear; artinya tidak ada hubungan antara variabel X dengan Y. (Walpole, 1992)

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Khan pada tahun 2000 melakukan penelitian mengenai modeling dan estimasi *mixing height* di Kota Brisbane. Kota Brisbane memiliki karakteristik meteorologi yaitu kategori angin lemah terutama pada malam hari dan kondisi *mixing height* pada level rendah menuju sore hari. Pada kondisi langit cerah di Kota Brisbane kekuatan radiasi mencapai  $500 \text{ watt/m}^2$ . Kondisi *mixing height* berdasarkan stabilitas atmosfer pada kelas A hanya 2% yang berada di bawah level 400 m. Sedangkan untuk stabilitas kelas F 87% *mixing height* di bawah level 400 m terjadi sepanjang tahun. Kondisi *mixing height* terendah terjadi pada wilayah Amberley sepanjang tahun. Wilayah ini berada pada 80 km dari garis pantai dan memiliki posisi altitude yang rendah (27 m di atas permukaan laut).

Penelitian oleh Mamtimin dan Meixner (2011) di Urumqi, Xinjiang China menghasilkan korelasi signifikan tingginya rata-rata konsentrasi tiga parameter polutan ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  dan  $\text{PM}_{10}$ ) pada tahun 2000-2006 terhadap kondisi atmosfer stabil dan level ketinggian lapisan inversi. Dari hasil analisis data 2000-2006, lebih dari 237 hari setiap tahun lapisan inversi terbentuk pada di bawah level 850 hPa (570 m) dan lebih dari 290 hari setiap tahun dikategorikan lapisan inversi sangat rendah. Kondisi stabilitas yang dianalisis pada lapisan atmosfer Urumqi menjelaskan bahwa 150-183 hari setiap tahunnya mengalami keadaan kondisi yang stabil. Pada tahun 2000-2003 dan 2004-2006 peristiwa kategori kelas "sangat stabil" dan "stabil" meningkat menjadi 13% dari total sebelumnya. Hal tersebut menyebabkan terjadinya kenaikan rata-rata konsentrasi  $\text{PM}_{10}$  menjadi  $150\text{-}240 \mu\text{g m}^{-3}$  (kelas III = "lightly polluted"),  $\text{NO}_2$  menjadi  $31\text{-}50 \mu\text{g m}^{-3}$  (kelas II = "good"), dan  $\text{SO}_2$  menjadi  $49\text{-}160 \mu\text{g m}^{-3}$  (kelas III = "lightly polluted") berdasarkan pemantauan kualitas udara pemerintah setempat.

Pada analisis trayektori asap kebakaran hutan di Kalimantan tahun 2006 oleh Guswanto *et al.*, kondisi udara ambien malam hari yang cenderung stabil serta ketinggian lapisan inversi rendah menghasilkan ketinggian *mixing height* yang rendah, sehingga menyebabkan tingginya konsentrasi polutan di udara ambien. Pada analisis tersebut kecepatan angin,

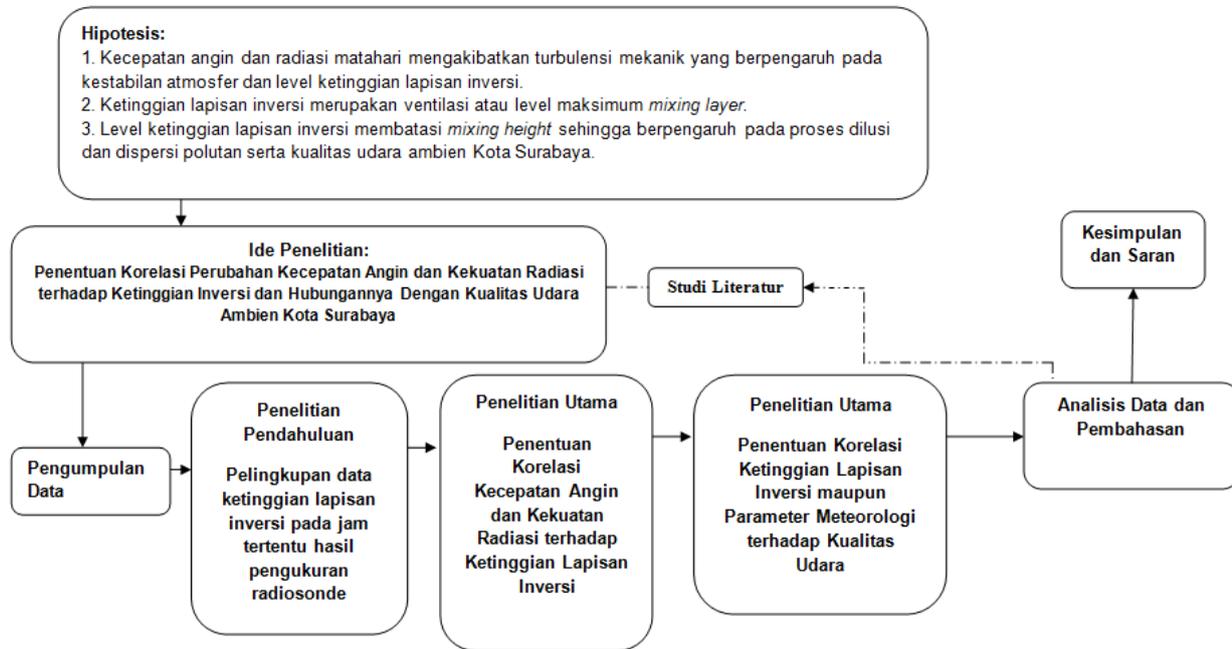
radiasi matahari, dan ketinggian *mixing height* memiliki korelasi yang sama yaitu berbanding terbalik dengan konsentrasi polutan di udara ambien. Nilai korelasi kecepatan angin dengan konsentrasi polutan berkisar dari -0,45 hingga -0,65. Radiasi matahari total memiliki nilai korelasi negatif dengan konsentrasi polutan, yaitu berkisar -0,61 hingga -0,70. Nilai korelasi *mixing height* dengan konsentrasi polutan berkisar antara -0,55 hingga -0,85 (Guswanto *et al.*, 2006).

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Gambaran Umum Penelitian**

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan korelasi ketinggian lapisan inversi dengan parameter meteorologi berupa kecepatan angin dan kekuatan radiasi setiap jam selama lima tahun terakhir (2009-2014). Selain itu dilakukan korelasi ketinggian lapisan inversi dan masing-masing parameter meteorologi tersebut terhadap kualitas udara ambien di Kota Surabaya berdasarkan rata-rata konsentrasi setiap jam parameter  $SO_2$ ,  $NO_2$ , dan  $O_3$  dari pembacaan SUF. Sehingga penelitian ini menghasilkan korelasi antara kecepatan angin dan kekuatan radiasi terhadap ketinggian lapisan inversi serta pengaruhnya terhadap kualitas udara ambien Kota Surabaya. Berikut merupakan gambaran kerangka penelitian ini pada Gambar 3.1:



Gambar 3. 1 Bagan Kerangka Penelitian

## **3.2 Pelaksanaan Penelitian**

Pelaksanaan penelitian menjelaskan mengenai tahapan kerja yang akan dilakukan dalam penelitian. Berikut adalah tahapan dalam pelaksanaan penelitian:

### **3.2.1 Ide Penelitian**

Ide penelitian didapatkan dari beberapa kasus mengenai pengaruh kondisi meteorologis dan lapisan inversi terhadap kualitas udara ambien di suatu wilayah berdasarkan jurnal internasional. Penelitian berlandaskan hipotesis yang berasal dari adanya korelasi kondisi meteorologi, stabilitas atmosfer, ketinggian lapisan inversi dan kualitas udara ambien dari beberapa wilayah di berbagai negara seperti penelitian yang dilakukan Khan (2000) di Kota Brisbane (Australia) dan Mamtimin dan Meixner (2001) di Kota Urumqi (China). Hasil penelitian ini akan mengeluarkan pembuktian berupa koefisien korelasi yang menggambarkan pengaruh kondisi meteorologi seperti kecepatan angin dan kekuatan matahari terhadap ketinggian lapisan inversi serta pengaruhnya terhadap kualitas udara ambien Kota Surabaya.

### **3.2.2 Studi Literatur**

Studi literatur sangat dibutuhkan untuk referensi dalam penelitian ini, terutama yang berhubungan dengan pokok penelitian. Adapun studi literatur yang berhubungan dengan penelitian ini adalah:

- a. Pengaruh topografi terhadap kondisi meteorologi
- b. Pengaruh kondisi meteorologi terhadap kestabilan atmosfer
- c. Hubungan kestabilan atmosfer dan ketinggian lapisan inversi
- d. Hubungan ketinggian lapisan inversi dengan model *mixing height*
- e. Teori dispersi polutan di udara ambien
- f. Teori penentuan korelasi *Pearson*
- g. Kebijakan mengenai pengelolaan kualitas udara

Literatur yang digunakan diambil dari jurnal, buku, artikel maupun laporan tugas akhir terdahulu.

### **3.2.3 Pengumpulan Data**

Pada pengumpulan data dilakukan dengan pengumpulan data sekunder berupa:

- a. Data kualitas udara ambien  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , dan  $\text{O}_3$  setiap jam Kota Surabaya dalam lima tahun terakhir (2009-2014) dalam bentuk data konsentrasi hasil pengukuran SUF Kota Surabaya.
- b. Data kondisi meteorologi Kota Surabaya berupa data setiap jam kecepatan angin, kekuatan radiasi, kestabilan atmosfer dalam lima tahun terakhir (2009-2014) yang berasal dari BMKG Juanda Kota Surabaya.
- c. Data radiosonde ketinggian lapisan inversi BMKG Juanda Kota Surabaya.

### **3.2.4 Tahapan Penelitian**

Pada penelitian ini dilakukan dua tahapan yaitu penelitian pendahuluan berupa analisis ketinggian lapisan inversi dan pelingkupan data sekunder serta penelitian korelasi antar parameter.

#### **3.2.4.1 Penelitian Pendahuluan**

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan melakukan analisis ketinggian lapisan inversi berdasarkan profil temperatur udara ambien hasil pengukuran radiosonde BMKG Juanda Surabaya. Data yang tersedia dari hasil pengukuran adalah pada pukul 00.00 dan 12.00 WIB. Ketinggian lapisan inversi ditentukan berdasarkan gradien penurunan dan kenaikan temperatur udara ambien berdasarkan ketinggian (Li *et al.*, 2011). Dalam penentuan ketinggian lapisan inversi ini, dibuat profil temperatur berdasarkan ketinggian untuk mempermudah penentuan ketinggian lapisan inversi.

#### **3.2.4.2 Pelingkupan Data Sekunder**

Data parameter meteorologis (kecepatan angin dan kekuatan radiasi) dan parameter kualitas udara ambien ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , dan  $\text{SO}_3$ ) yang digunakan disesuaikan dengan data ketinggian lapisan inversi yang tersedia. Pada analisis

korelasi ini diasumsikan korelasi yang terjadi adalah pada kondisi umum, sehingga dilakukan pelingkupan data dengan mengabaikan data yang berada di luar kondisi normal. Penentuan data yang digunakan adalah dengan melingkup data yang berada dalam nilai persentil 10%.

#### 3.2.4.3 Analisis Korelasi

Tahapan berikutnya adalah menganalisis korelasi setiap variabel parameter meteorologi yaitu kecepatan angin dan kekuatan radiasi terhadap ketinggian lapisan inversi di Kota Surabaya. Untuk mendapatkan nilai korelasi kecepatan angin dan kekuatan radiasi terhadap ketinggian lapisan inversi, data yang digunakan adalah data pada jam 00.00 dan 12.00 WIB berdasarkan hasil pelingkupan.

Selanjutnya dilakukan analisis korelasi ketinggian lapisan inversi dengan kualitas udara ambient berdasarkan data pembacaan SUF terhadap parameter pencemar primer  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$ . Untuk parameter pencemar sekunder  $\text{O}_3$  digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui perubahan konsentrasi pencemar  $\text{NO}_2$  berdasarkan proses pendispersian, sehingga dapat dipastikan perubahan yang terjadi bukan karena faktor transformasi.

Analisis korelasi juga dilakukan pada parameter meteorologi dan parameter kualitas udara dengan data dalam kondisi normal hasil pelingkupan. Perhitungan seluruh nilai korelasi dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan korelasi *Pearson* dengan *Microsoft Excel*.

#### 3.2.5 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data yang dilakukan berupa hubungan parameter meteorologi seperti kecepatan angin dan kekuatan radiasi terhadap ketinggian lapisan inversi. Kemudian dilakukan pembahasan mengenai hasil koefisien korelasi antara ketinggian lapisan inversi dan kualitas data SUF. Koefisien korelasi yang telah didapatkan dari penelitian ini akan menggambarkan pengaruh parameter meteorologi kecepatan angin dan kekuatan radiasi terhadap ketinggian lapisan inversi serta pengaruhnya terhadap kualitas udara ambient Kota Surabaya. Beberapa alternatif kebijakan pengelolaan kualitas udara ambient Kota

Surabaya dapat disarankan berdasarkan gambaran pengaruh dari hasil analisis tersebut. Korelasi tersebut juga dapat digunakan untuk menentukan rumus mixing height yang sesuai kondisi meteorologis di Kota Surabaya.

### **3.2.6 Kesimpulan dan Saran**

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan akan dilakukan penarikan kesimpulan dan mencapai tujuan yang telah ditentukan pada penelitian ini. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diberikan saran untuk memperbaiki kekurangan dalam penelitian ini dan penelitian selanjutnya.

## BAB 4

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Data Ketinggian Lapisan Inversi dari Profil Temperatur Pengukuran Radiosonde

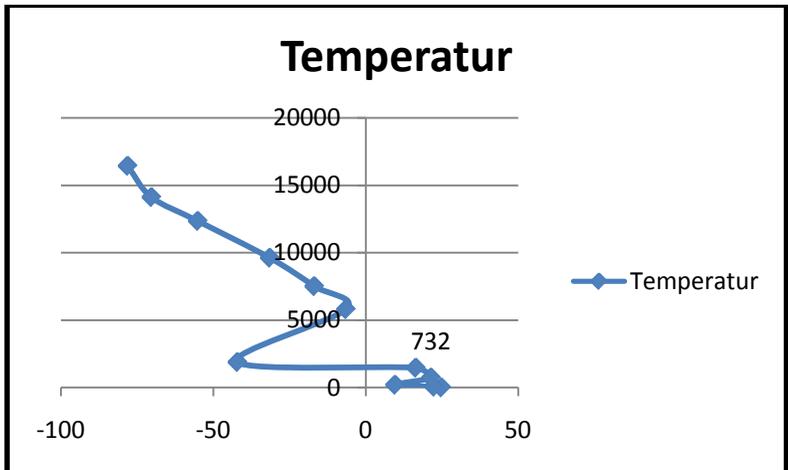
Dalam penelitian ini dibutuhkan data ketinggian lapisan inversi Kota Surabaya yang diperoleh dari data pengukuran radiosonde BMKG Juanda dengan posisi Latitude  $-7,3833$  dan Longitude  $112,783$ . Data yang didapatkan berdasarkan hasil pengukuran radiosonde antara lain temperatur, tekanan, *dew point*, dan kecepatan angin. Data tersebut diukur pada pukul 00.00 dan 12.00 WIB.

Ketinggian lapisan inversi ditentukan berdasarkan gradien penurunan dan kenaikan temperatur udara ambien berdasarkan ketinggian. Untuk mempermudah penentuan ketinggian lapisan inversi di Kota Surabaya maka dibuat profil temperatur berdasarkan ketinggian hasil pengukuran radiosonde. Berikut pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 merupakan contoh pengolahan data dan profil temperatur hasil pengukuran radiosonde:

Tabel 4.1 Hasil Pengolahan Data Hasil Pengukuran Radiosonde BMKG Juanda Tanggal 1 Januari 2009 Pukul 00.00 WIB

Tanggal	Jam	Ketinggian (m)	Temperatur (°C)
01/01/2009	00.00	0	24,8
		51	22,4
		194	9,6
		732	21,4
		1460	16,4
		1880	-42,1
		5800	-6,5
		7510	-16,9
		9620	-31,5
		12350	-55,1
		14120	-70,3
16440	-78,1		

Sumber: Harsa, 2014 (BMKG Juanda)



Sumber: Hasil Pengolahan Data

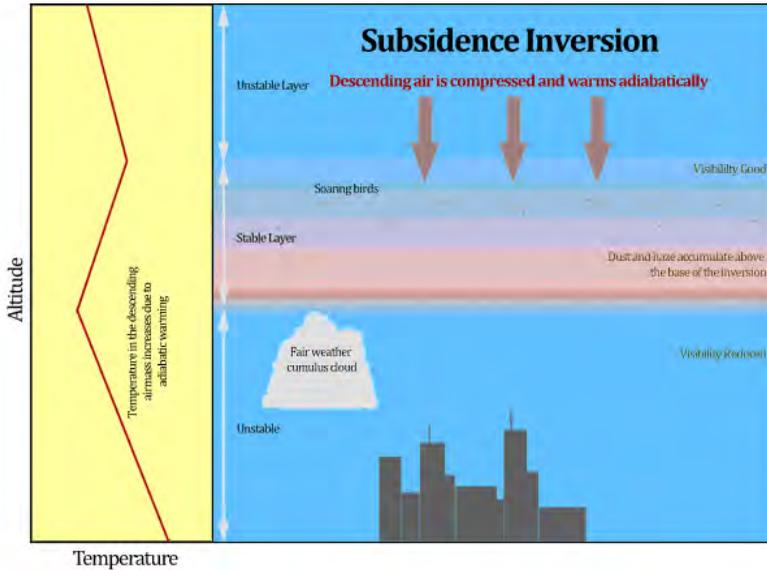
Gambar 4.1 Profil Temperatur Hasil Pengolahan Data Pengukuran Radiosonde BMKG Juanda Tanggal 1 Januari 2009 Pukul 00.00 WIB

Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan didapatkan ketinggian lapisan inversi pada tanggal 1 Januari 2009 pukul 00.00 WIB adalah 732 m. Menurut Li *et al.* (2011) lapisan inversi ditandai dengan perubahan gradien suhu vertikal dari negatif ke positif. Penentuan ketinggian lapisan inversi pada profil temperatur yang telah dibuat adalah dengan memilih titik ketinggian yang setelah titik tersebut memiliki gradien penurunan dan kenaikan temperatur yang paling tinggi. Titik yang dipilih merupakan titik yang paling mendekati permukaan bumi. Setelah ketinggian 732 m dapat dilihat pada Tabel 4.1 bahwa terjadi penurunan temperatur dari 21,4 °C menjadi -42,1°C pada ketinggian 1880 m. Kemudian terjadi kenaikan temperatur menjadi -6,5°C pada ketinggian 5800 m. Sehingga dapat ditentukan bahwa ketinggian lapisan inversi tanggal 1 Januari 2009 pada pukul 00.00 WIB adalah 732 m, karena setelah ketinggian tersebut terdapat gradien penurunan dan kenaikan temperatur udara ambien yang signifikan. Hal tersebut dapat dilihat secara jelas pada profil temperatur yang dibuat pada Gambar 4.1.

Lapisan inversi merupakan lapisan pada troposfer dimana terjadi penurunan temperatur dan kemudian terjadi peningkatan temperatur pada ketinggian tertentu. Lapisan inversi temperatur didefinisikan sebagai temperatur di ketinggian yang lebih tinggi lebih besar dari atau sama dengan suhu pada ketinggian yang lebih rendah langsung, yang berarti nol atau positif gradien suhu vertikal (Li *et al.*, 2011). Berdasarkan National Research Council (1983) rata-rata bulanan ketinggian lapisan inversi berada pada kisaran 500-1000 m (Seinfeld, 1986).

Pada penelitian ini inversi yang diamati adalah lapisan *subsidence inversion*. *Subsidence inversion* terjadi ketika sebuah lapisan luas udara turun karena lapisan tersebut memiliki suhu yang lebih dingin dari suhu lapisan di bawahnya. Lapisan ini kemudian menekan dan memanaskan lapisan atmosfer di bawahnya secara adiabatik, sehingga gradien penurunan temperatur atmosfer menurun atau bernilai positif. Ketika massa udara turun hingga level yang cukup rendah, udara pada altitude yang lebih tinggi menjadi lebih hangat daripada altitude yang lebih rendah. Hal tersebut menyebabkan terjadinya lapisan inversi. (Seinfeld, 1986). Pada Gambar 4.2 di bawah ini

merupakan gambaran profil temperatur dan kondisi *subsidence inversion* di Kota Surabaya.



Gambar 4. 2 Kondisi Subsidence Inversion  
(Sumber : Griffin, 2014)

*Subsidence inversion* di Kota Surabaya kemungkinan terjadi akibat inti *anticyclones* pada atmosfer perlahan turun memanaskan udara dengan kompresi. Penurunan ini akan menghasilkan inversi tinggi dalam massa udara di beberapa ketinggian di atas tanah. Sedangkan kondisi udara ambien di permukaan kota Surabaya memiliki temperatur yang lebih rendah. Kejadian serupa terjadi pada musim panas di Southern California yang terletak di dekat tepi timur Pasifik Tinggi yang merupakan komponen dari *Hadley* sel sirkulasi global. *Subsidence inversion* memiliki konsekuensi penting bagi kualitas udara karena membatasi volume udara untuk dispersi polutan udara (Huber, 2001). *Subsidence inversion* selalu ditemukan di atas permukaan tanah, biasanya di kisaran 8.000 - 12.000 kaki tetapi mereka terjadi di mana saja dari 5.000 - 18.000 kaki.

Lapisan atas dan di bawah inversi biasanya cukup stabil sementara lapisan inversi sendiri sangat stabil (Griffin, 2014).

Dari hasil pengolahan data dari tahun 2009-2014 didapatkan rata-rata ketinggian lapisan inversi pada pukul 00.00 WIB adalah 771 m. Sedangkan pada pukul 12.00 WIB adalah 762 m. Rata-rata ketinggian lapisan inversi pada malam hari lebih tinggi dibandingkan pada siang hari. Hal ini ditemukan pula oleh Li *et al.* (2005) dengan analisis ketinggian lapisan inversi di Chengdu, China menggunakan metode *numerical model (the AREM)*. Hal tersebut mengindikasikan adanya adveksi pada level lapisan inversi tersebut dimana temperatur pada lapisan di bawahnya lebih rendah, sehingga menyebabkan level ketinggian lapisan inversi lebih tinggi pada malam hari daripada siang hari.

#### 4.2 Pelingkupan Data Meteorologi, Lapisan Inversi, dan Kualitas Udara Ambien SUF

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis korelasi hubungan ketiga data yaitu meteorologi, lapisan inversi, dan konsentrasi parameter kualitas udara Kota Surabaya. Data meteorologi yang dikorelasikan adalah kecepatan angin dan kekuatan radiasi.

Data kecepatan angin didapatkan dari BMKG Juanda pada lima tahun terakhir, tahun 2009-2014. Data dari BMKG Juanda digunakan dalam analisis korelasi ini karena merupakan data kecepatan angin yang mendekati lokasi pengukuran ketinggian lapisan inversi dari data radiosonde. Berikut pada Tabel 4.2 merupakan gambaran data kecepatan angin dalam jangka waktu 2009-2014:

Tabel 4. 2 Data Kecepatan Angin Tahun 2009-2014

Pukul	Nilai	Kecepatan Angin (knot)	Arah Angin Dominan
00.00	Maksimal	83,000	Utara dan Timur Laut
	Minimal	0,000	
	Rata-rata	2,944	
12.00	Maksimal	80,000	Timur Laut
	Minimal	0,000	
	Rata-rata	6,358	

Sumber: Harsa, 2014

Dari data yang didapatkan dapat diklasifikasikan sesuai skala Beaufort (Tabel 2.2) karakteristik angin di Kota Surabaya selama tahun 2009-2014 pada kecepatan angin maksimal terjadi angin topan, kecepatan angin minimal merupakan angin tenang dan rata-rata kecepatan angin adalah angin tenang pada waktu 00.00 WIB dan 12.00 WIB. Kondisi kecepatan angin rata-rata pada siang hari lebih cepat dari malam hari dengan arah angin dominan yaitu berasal dari arah Utara dan Timur laut yang merupakan lokasi Selat Madura.

Sedangkan data global radiasi yang digunakan adalah data pengukuran konsentrasi gas pencemar pada stasiun SUF 1. Hal tersebut dilakukan karena pada pengukuran kekuatan radiasi hasil pengukuran yang paling konsisten adalah dari SUF 1. Selain itu SUF 1 berada di Halaman Taman Prestasi, Surabaya Pusat sehingga dapat diasumsikan kekuatan radiasi hasil pengukuran SUF 1 dapat dijadikan referensi kekuatan radiasi yang mewakili Kota Surabaya. Berikut merupakan gambaran data kekuatan radiasi dalam jangka waktu 2009-2014 pada Tabel 4.3:

Tabel 4. 3 Data Kekuatan Radiasi Tahun 2009-2014

Pukul	Nilai	Kekuatan Radiasi (W/m <sup>2</sup> )
00.00	Maksimal	21,000
	Minimal	0,000
	Rata-rata	4,36
12.00	Maksimal	986,460
	Minimal	0,489
	Rata-rata	576,804

Sumber : BLH Surabaya, 2014.

Dari data di atas dapat diidentifikasi kekuatan radiasi pada Kota Surabaya pada pukul 00.00 WIB lemah (berada di bawah 350 W/m<sup>2</sup>) karena kondisi malam hari tanpa adanya pencahayaan sinar matahari. Kemudian pada siang hari pada kondisi maksimal dapat dikategorikan sebagai radiasi kuat (lebih dari 700 W/m<sup>2</sup>). Kondisi minimal kekuatan radiasi dikategorikan lemah. Hal ini mungkin dikarenakan kondisi pada saat tersebut sedang hujan atau berawan. Rata-rata kekuatan radiasi merupakan radiasi sedang (berada diantara range 350-700 W/m<sup>2</sup>) (Seinfeld, 1986).

Setelah didapatkan pengaruh masing-masing parameter meteorologi terhadap ketinggian lapisan inversi untuk mengetahui pengaruh kedua parameter tersebut maka kondisi kecepatan angin dan kekuatan radiasi pada hari tertentu diklasifikasikan kestabilan atmosfernya dengan berpedoman pada Tabel Kelas Kestabilan Atmosfer Pasquill. Kemudian dianalisis pengaruh banyaknya kondisi kestabilan atmosfer terhadap rata-rata ketinggian lapisan inversi dalam jangka waktu lima tahun. Namun pengklasifikasian kestabilan atmosfer pada Kota Surabaya ini hanya dilakukan pada pukul 12.00 WIB karena keterbatasan data kondisi awan pada malam hari atau pada pukul 00.00 WIB.

Data konsentrasi parameter kualitas udara Kota Surabaya yang digunakan adalah data konsentrasi gas  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  dari 5 tahun terakhir, tahun 2009 – 2014. Data kualitas udara yang digunakan merupakan hasil pengukuran SUF yang ada di Kota Surabaya. Berdasarkan ketiga data yang ada, dilakukan pelingkupan data untuk mempermudah proses analisa data. Pelingkupan data yang dilakukan ini dengan cara mengambil data pada setiap parameter pada pukul 00.00 dan 12.00 WIB. Hal tersebut dikarenakan pengukuran lapisan inversi hanya tersedia pada pukul 00.00 dan 12.00 WIB. Selain itu dengan pelingkupan data pada jam tersebut dapat dianalisis perbedaan korelasi parameter meteorologi, lapisan inversi dan kualitas udara ambien pada siang dan malam hari.

Setelah dilakukan pelingkupan data jam harian pada setiap parameter kemudian dilakukan pemilihan tanggal yang memiliki data lengkap pada setiap parameter yang akan dikorelasikan. Kemudian dilakukan sortir data yang berada dalam kondisi rata-rata seluruh data atau berada dalam kondisi normal data yang tersedia. Kondisi normal pada penelitian ini diasumsikan berada pada nilai percentil 10% dari keseluruhan nilai normal. Hal tersebut dilakukan karena dalam penelitian ini hanya akan dikorelasikan pada kondisi umum setiap parameter terhadap parameter lainnya. Hasil pelingkupan data-data yang telah didapat akan dilampirkan di dalam bentuk grafik dalam lampiran.

### 4.3 Korelasi Data Meteorologi dan Lapisan Inversi

Berdasarkan pelingkupan data yang dilakukan sebelumnya, langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah mengkorelasikan data meteorologi yaitu kecepatan angin dan kekuatan radiasi dengan data lapisan inversi dengan *Microsoft Excel* yaitu analisa korelasi *Pearson*. Dalam korelasi ini data meteorologi diinput sebagai data independen dan data ketinggian lapisan inversi diinput sebagai data dependen. Hal ini dikarenakan data meteorologi diasumsikan tidak dipengaruhi oleh perubahan ketinggian lapisan inversi atau bersifat independen. Sedangkan perubahan ketinggian lapisan inversi diasumsikan dipengaruhi oleh parameter meteorologi. Berikut hasil korelasi *Pearson* yang dilakukan dalam Tabel 4.4 hingga Tabel 4.5.

Tabel 4. 4 Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dan Kekuatan Radiasi dengan Lapisan Inversi Pukul 00.00 WIB

Kecepatan Angin dengan Lapisan Inversi	Kekuatan Radiasi dengan Lapisan Inversi
-0,235	0,013

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 5 Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dan Kekuatan Radiasi dengan Lapisan Inversi Pukul 12.00 WIB

Kecepatan Angin dengan Lapisan Inversi	Kekuatan Radiasi dengan Lapisan Inversi
0,116	0,050

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa korelasi parameter meteorologi kecepatan angin dan kekuatan radiasi terhadap ketinggian lapisan inversi pada Kota Surabaya lemah karena nilai korelasi mendekati nilai 0 (Walpole,1992). Pada hasil korelasi kecepatan angin dan lapisan inversi didapatkan pada pukul 00.00 WIB nilai korelasi negatif dan pada pukul 12.00 WIB didapatkan nilai korelasi positif. Dengan nilai korelasi positif, maka pada siang hari korelasi keduanya

berbanding lurus yaitu semakin tinggi kecepatan angin pada permukaan Kota Surabaya maka semakin tinggi level ketinggian lapisan inversi. Namun pada malam hari kondisi ini tidak sama karena nilai korelasi yang negatif menandakan bahwa kecepatan angin lebih lambat maka lapisan inversi semakin tinggi.

Jika ditinjau dari hasil rata-rata ketinggian lapisan inversi pada pukul 12.00 dan 00.00 WIB, kemungkinan pada pukul 00.00 WIB inversi yang terjadi karena proses adveksi. Pada malam hari kondisi di daratan dalam kondisi temperatur rendah karena tidak adanya penyinaran matahari. Dari data pengamatan pada pukul 00.00 WIB diketahui bahwa angin dominan berasal dari Selat Madura dimana pada malam hari temperatur di laut lebih tinggi daripada daratan.

Pada wilayah perkotaan karakteristik bahan bangunan seperti aspal, beton, dan baja memiliki daya penyimpanan panas yang tinggi (Boubel *et al.*, 1994). Kondisi Kota Surabaya merupakan daerah perkotaan yang memiliki gedung dengan karakteristik bangunan thermal konduktor. Sehingga pada saat kecepatan angin tinggi kondisi temperatur di permukaan akan lebih rendah. Hal tersebut akan menyebabkan terjadinya lapisan inversi karena di ketinggian tertentu pada atmosfer Kota Surabaya terdapat proses adveksi sedangkan di permukaan Kota Surabaya terdapat pendinginan akibat kecepatan angin yang tinggi.

Parcel udara di atas permukaan kota Surabaya yang memiliki temperatur lebih tinggi akibat proses *subsidence*. Sedangkan angin laut yang membawa udara hangat berhembus di bawah parcel udara tersebut dan menghangatkan udara di bawah lapisan tersebut dengan kecepatan angin yang tinggi. Hal tersebut menyebabkan ketebalan parcel udara hangat semakin tebal dan ketinggian lapisan inversi akan lebih rendah pada kondisi ini. Pada saat ini ketinggian lapisan inversi akan berbanding terbalik dengan kecepatan angin.

Sedangkan untuk korelasi kecepatan angin dan ketinggian lapisan inversi pada pukul 12.00 WIB berbanding lurus. Hal tersebut dikarenakan pada saat kecepatan angin meningkat terjadi turbulensi konvektif pada parcel udara hangat pada atmosfer, sehingga kondisi atmosfer tidak stabil dan ketinggian lapisan inversi meningkat. Pada kondisi tersebut pula lapisan

permukaan memiliki suhu yang relatif lebih tinggi karena faktor kecepatan angin yang lebih tinggi sesuai ketinggian.

Namun menurut Seinfeld (1986) korelasi kecepatan angin tidak signifikan terhadap ketinggian lapisan inversi. Hal ini dikarenakan lapisan inversi lebih signifikan terbentuk akibat kenaikan temperatur terhadap ketinggian. Hal tersebut karena densitas parcel udara di dekat permukaan lebih besar akibat temperatur yang lebih rendah dari atmosfer dan terbentuknya lapisan stabil pada atmosfer. Kecepatan angin yang tinggi sebenarnya akan membuat kondisi atmosfer stabil karena tidak terjadinya perbedaan temperatur udara atau dalam keadaan isothermal. Namun dengan adanya radiasi matahari menyebabkan terjadinya turbulensi konvektif yang mengakibatkan proses dilusi polutan secara vertikal lebih baik.

Korelasi kekuatan radiasi dengan lapisan inversi juga lemah bahkan dapat dianggap tidak terdapat korelasi antara kekuatan radiasi dan lapisan inversi di Kota Surabaya. Hal ini tidak sesuai dengan pernyataan Khan (2000) bahwa kekuatan radiasi berfungsi untuk memanaskan parcel udara sehingga memiliki daya apung yang tinggi pada atmosfer. Sehingga korelasi yang dapat terjadi seharusnya bernilai positif atau berbanding lurus. Semakin intensitas radiasi matahari tinggi semakin tinggi pula ketinggian level lapisan inversi.

Korelasi yang tidak signifikan antara kekuatan radiasi dan ketinggian lapisan inversi mungkin terjadi karena lapisan inversi yang diamati adalah lapisan inversi *subsidence inversion*, yang terjadi karena lapisan tersebut dikompresi dan dipanaskan oleh kenaikan tekanan udara di atmosfer, sehingga gradien penurunan temperatur atmosfer menurun atau bernilai positif (Seinfeld, 1986).

Setelah didapatkan korelasi masing-masing parameter dilakukan pengklasifikasian kondisi stabilitas atmosfer berdasarkan kondisi kecepatan angin dan kekuatan radiasi berdasarkan Kelas Stabilitas Atmosfer Pasquill di Kota Surabaya pada pukul 12.00 WIB dan dampaknya terhadap rata-rata ketinggian lapisan inversi di Kota Surabaya. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil pada Tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.6 Presentase Ketinggian Lapisan Inversi dan Kestabilan Atmosfer

Stabilitas Atmosfer	Presentase	Ketinggian Lapisan Inversi (m)
A	12%	764
B	45%	763
C	35%	767
D	7%	769

Sumber: Hasil Perhitungan

Jika dilihat dari data hasil perhitungan tersebut, stabilitas atmosfer dominan pada Kota Surabaya pada siang hari selama tahun 2009-2014 adalah kategori B (sedang tidak stabil) dengan rata-rata ketinggian lapisan inversi 763 m.

#### 4.4 Korelasi Data Lapisan Inversi dan Kualitas Udara Ambien

Berdasarkan pelingkupan data yang dilakukan sebelumnya, langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah mengkorelasikan data lapisan inversi dengan data gas SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> yang ada di Kota Surabaya dengan *Microsoft Excel* yaitu analisa korelasi *Pearson*. Data yang digunakan sebagai data independen adalah ketinggian lapisan inversi, sedangkan data dependen adalah data parameter kualitas udara. Pada analisis korelasi ini data kualitas udara yang digunakan adalah data pada kondisi umum, sehingga data yang berada di luar kondisi normal tidak digunakan. Penentuan data yang masuk dalam kondisi normal adalah konsentrasi dengan nilai persentil 10% dari kondisi keseluruhan data normal.

Pada analisis korelasi ini data yang digunakan berasal dari SUF yang menyediakan data dengan konsisten dan memiliki minimum data error saat pengukuran. Data error saat pengukuran diasumsikan adalah data yang memiliki variasi data yang minimum bahkan selalu menghasilkan data yang sama pada jam dan tanggal tertentu dalam jangka waktu yang cukup lama. Setiap parameter kualitas udara menggunakan data dari SUF yang berbeda-beda. Pada data parameter SO<sub>2</sub> data yang digunakan adalah data pada SUF 1,3,4, dan 5. Sedangkan untuk parameter NO<sub>2</sub> digunakan data pada SUF 1 dan 4. Parameter O<sub>3</sub> menggunakan data pada stasiun 1,4 dan 5. Data pada SUF 6 dan

7 tidak digunakan karena baru beroperasi pada tahun 2012, sehingga tidak dapat mewakili data selama lima tahun terakhir (2009-2014). Berikut merupakan gambaran kondisi kualitas udara kota Surabaya pada Tabel 4.7:

Tabel 4. 7 Kondisi Kualitas Udara Kota Surabaya

Parameter	Pukul	Stasiun	Konsentrasi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
			Maksimal	Minimal	Rata-rata
SO <sub>2</sub>	00.00	SUF 1	319,660	0,000	96,960
		SUF 3	465,180	0,000	258,110
		SUF 4	923,960	0,000	119,850
	12.00	SUF 5	380,990	0,000	111,200
		SUF 1	336,040	0,000	96,500
		SUF 3	937,240	21,220	253,81
NO <sub>2</sub>	00.00	SUF 4	975,510	18,340	115,230
		SUF 5	301,150	0,000	110,270
		SUF 1	61,980	0,000	6,400
	12.00	SUF 4	102,130	0,000	13,210
		SUF 1	43,910	0,000	4,852
		SUF 4	71,330	0,000	9,743
O <sub>3</sub>	00.00	SUF 1	391,900	0,000	142,770
		SUF 4	190,360	15,910	5,550
		SUF 5	142,770	44,810	4,500
	12.00	SUF 1	339,470	0,000	103,350
		SUF 4	277,360	27,600	89,440
		SUF 5	432,700	9,520	91,710

Sumber: BLH Surabaya, 2014.

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa kondisi konsentrasi parameter SO<sub>2</sub> dengan rata-rata tertinggi berada di SUF 3. Sedangkan untuk parameter NO<sub>2</sub> berada di SUF 4 serta untuk parameter O<sub>3</sub> berada di SUF 1. Jika dilihat dari peruntukan wilayahnya SUF 3 memiliki rata-rata konsentrasi SO<sub>2</sub> tertinggi dimungkinkan karena berada di wilayah pemukiman dan daerah pinggir kota. Untuk SUF 4 berada di wilayah pemukiman dan dekat Tol Surabaya-Gempol. Sedangkan SUF 1 berada di tengah kota, diperkirakan konsentrasi O<sub>3</sub> pada wilayah ini tinggi karena penyinaran sinar matahari di wilayah ini cukup tinggi sehingga menyebabkan terjadinya reaksi fotokimia yang melepaskan gas O<sub>3</sub> dari pencemar primer lainnya.

Berikut hasil korelasi *Pearson* yang dilakukan dalam Tabel 4.8 hingga Tabel 4.13.

Tabel 4. 8 Hasil Korelasi Pearson antara Lapisan Inversi dengan Gas SO<sub>2</sub> Pukul 00.00 WIB

SO <sub>2</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
-0,136	-	-0,381	-0,339	-0,181	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 9 Hasil Korelasi Pearson antara Lapisan Inversi dengan Gas NO<sub>2</sub> Pukul 00.00 WIB

NO <sub>2</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
-0,065	-	-	-0,033	-	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 10 Hasil Korelasi Pearson antara Lapisan Inversi dengan Gas O<sub>3</sub> Pukul 00.00 WIB

O <sub>3</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
-0,020	-	-	0,020	0,090	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 11 Hasil Korelasi Pearson antara Lapisan Inversi dengan Gas SO<sub>2</sub> Pukul 12.00 WIB

SO <sub>2</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
-0,110	-	-0,469	-0,350	-0,030	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 12 Hasil Korelasi Pearson antara Lapisan Inversi dengan Gas NO<sub>2</sub> Pukul 12.00 WIB

NO <sub>2</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
-0,044	-	-	-0,083	-	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 13 Hasil Korelasi Pearson antara Lapisan Inversi dengan Gas O<sub>3</sub> Pukul 12.00 WIB

O <sub>3</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
-0,022	-	-	-0,003	0,023	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil analisa di atas, dapat disimpulkan bahwa, lapisan Inversi memiliki korelasi berbanding terbalik yang lemah dengan konsentrasi gas SO<sub>2</sub>. Sedangkan untuk NO<sub>2</sub> dan O<sub>3</sub> dapat dikatakan tidak terjadi korelasi. Nilai korelasi negatif tertinggi adalah nilai korelasi SO<sub>2</sub> pada pukul 00.00 WIB dan 12.00 WIB pada SUF 3. Korelasi berbanding terbalik sesuai dengan pernyataan Daoo *et al.* (2004) dalam Mamtimin dan Meixner (2011), bahwa lapisan inversi akan mengurangi tingkat *mixing height*, sehingga membatasi dispersi pencemar yang dilepaskan secara vertikal ke atmosfer. Semakin level ketinggian lapisan inversi mendekati permukaan bumi, semakin kecil area *mixing height* sehingga mengakibatkan proses dispersi polutan minimum dan kualitas udara ambien menjadi buruk. Namun terjadi perbedaan nilai korelasi pada gas O<sub>3</sub> pada SUF 4 dan 5 pukul 00.00 WIB serta pada SUF 5 pukul 12.00 WIB. Hal ini dimungkinkan karena sifat O<sub>3</sub> yang merupakan pencemar sekunder sehingga konsentrasinya tidak hanya dipengaruhi proses dilusi oleh ketinggian lapisan inversi namun juga proses tranformasi salah satunya oleh radiasi matahari. Jika dilihat dari nilai korelasinya dapat disimpulkan bahwa korelasi lapisan inversi Surabaya terhadap parameter kualitas udara ambien lemah.

#### 4.5 Korelasi Data Meteorologi dan Kualitas Udara SUF

Berdasarkan pelingkupan data yang dilakukan sebelumnya, langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah mengkorelasikan data meteorologi dengan data gas  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  yang ada di Kota Surabaya dengan *Microsoft Excel* yaitu analisa korelasi *Pearson*.

Hasil dari korelasi ini akan dibagi berdasarkan kedua data meteorologis yaitu kecepatan angin dan kekuatan radiasi dengan stasiun kualitas udara ambien hasil pelingkupan di Kota Surabaya. Berikut hasil korelasi *Pearson* yang dilakukan antara kecepatan angin dan kekuatan radiasi dengan gas  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  yang ada di Kota Surabaya. Berikut adalah hasil korelasi antara kecepatan angin dengan masing-masing gas di Tabel 4.14 hingga Tabel 4.19, sedangkan hasil korelasi antara kekuatan radiasi dengan masing-masing gas Tabel 4.20 hingga Tabel 4.25.

Tabel 4.14 Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dan Gas  $\text{SO}_2$  Pukul 00.00 WIB

$\text{SO}_2$						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
0,010	-	0,136	0,005	-0,022	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 15 Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dan Gas  $\text{NO}_2$  Pukul 00.00 WIB

$\text{NO}_2$						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
-0,137	-	-	-0,172	-	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 16 Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dan Gas  $\text{O}_3$  Pukul 00.00 WIB

$\text{O}_3$						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
0,007	-	-	0,088	-0,177	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 17 Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dengan Gas SO<sub>2</sub> Pukul 12.00 WIB

SO <sub>2</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
0,073	-	-0,124	0,077	0,041	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 18 Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dengan Gas NO<sub>2</sub> Pukul 12.00 WIB

NO <sub>2</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
-0,178	-	-	-0,189	-	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 19 Hasil Korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dengan Gas O<sub>3</sub> Pukul 12.00 WIB

O <sub>3</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
0,066	-	-	-0,124	-0,077	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil analisa di atas, bahwa kecepatan angin tidak memiliki korelasi dengan gas SO<sub>2</sub> dan O<sub>3</sub> yang ada di Kota Surabaya di masing-masing jam. Untuk data NO<sub>2</sub> terdapat korelasi berbanding terbalik namun korelasinya lemah. Pernyataan ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Guswanto *et al.*, yaitu kecepatan angin memiliki korelasi berbanding terbalik dengan konsentrasi polutan di udara ambien. Nilai korelasi kecepatan angin dengan konsentrasi polutan berkisar dari -0,45 hingga -0,65. Kecepatan angin yang tinggi akan mengakibatkan turbulensi dan pendispersian pencemar akan semakin baik.

Hal tersebut mungkin terjadi karena data kecepatan angin yang digunakan merupakan data pengukuran BMKG Juanda dan kurang mewakili kondisi kecepatan angin di masing-

masing SUF pada Kota Surabaya sehingga harus dilakukan koreksi dengan faktor koreksi.

Tabel 4. 20 Hasil Korelasi Pearson antara Kekuatan Radiasi dengan Gas SO<sub>2</sub> Pukul 00.00 WIB

SO <sub>2</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
-0,640	-	0,145	-0,401	-0,160	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 21 Hasil Korelasi Pearson antara Kekuatan Radiasi dengan Gas NO<sub>2</sub> Pukul 00.00 WIB

NO <sub>2</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
-0,243	-	-	0,040	-	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 22 Hasil Korelasi Pearson antara Kekuatan Radiasi dengan Gas O<sub>3</sub> Pukul 00.00 WIB

O <sub>3</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
0,366	-	-	-0,370	0,320	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 23 Hasil Korelasi Pearson antara Kekuatan Radiasi dengan Gas SO<sub>2</sub> Pukul 12.00 WIB

SO <sub>2</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
-0,048	-	0,067	-0,056	0,053	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 24 Hasil Korelasi Pearson antara Kekuatan Radiasi dengan Gas NO<sub>2</sub> Pukul 12.00 WIB

NO <sub>2</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
-0,105	-	-	-0,115	-	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 25 Hasil Korelasi Pearson antara Kekuatan Radiasi dengan Gas O<sub>3</sub> Pukul 12.00 WIB

O <sub>3</sub>						
SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7
0,095	-	-	0,032	0,112	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil analisa di atas, bahwa korelasi antara kekuatan radiasi terhadap SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> berkorelasi negatif, sedangkan untuk O<sub>3</sub> cenderung positif atau berbanding lurus. Radiasi matahari cenderung mengakibatkan adanya reaksi fotokimia terhadap polutan sehingga mempengaruhi kualitas udara di atmosfer. Korelasi negatif menandakan semakin tinggi kekuatan radiasi matahari semakin kecil konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub>. Namun menyebabkan kenaikan konsentrasi O<sub>3</sub> yang memiliki korelasi positif atau berbanding lurus. Hal tersebut dikarenakan senyawa akan mengalami penguraian dengan adanya radiasi panas. Untuk NO<sub>2</sub> akan terurai menjadi senyawa NO dan O<sub>n</sub> radikal yang akan bereaksi dengan O<sub>2</sub> di udara membentuk O<sub>3</sub>. Maka dari itu seiring bertambahnya kekuatan radiasi matahari konsentrasi udara di atmosfer akan bertambah karena adanya reaksi penguraian NO<sub>2</sub>. SO<sub>2</sub> merupakan gas yang sangat mudah terlarut. Dengan kekuatan radiasi suhu udara ambient meningkat dan kelembaban pun meningkat, sehingga gas SO<sub>2</sub> terlarut dalam uap air di udara dan konsentrasinya pun menjadi lebih kecil. Hal tersebut menyebabkan hubungan korelasi negatif antara kekuatan radiasi dan konsentrasi SO<sub>2</sub> di udara ambient.

#### 4.6 Alternatif Kebijakan Pemerintah

Dari hasil analisis yang telah dilakukan didapatkan bahwa kemungkinan kondisi lapisan inversi pada Kota Surabaya merupakan lapisan inversi jenis *subsidence inversion*. Diperkirakan hal yang mempengaruhi dari jenis inversi ini adalah kondisi temperatur dan tekanan udara pada permukaan Kota Surabaya. Hal ini dikarenakan lapisan *subsidence inversion* merupakan lapisan hangat yang menyelimuti lapisan udara yang lebih dingin (permukaan bumi) akibat kompresi dari lapisan di atasnya. Hal tersebut dimungkinkan karena kondisi Kota Surabaya yang berada di tepi laut dan berbatasan dengan Selat Madura.

Temperatur di permukaan perkotaan dipengaruhi oleh kondisi meteorologi dan faktor fisik kota tersebut, salah satunya karakteristik bangunan. Dengan kondisi kecepatan angin yang cukup tinggi dan kekuatan radiasi matahari yang kuat, dapat dimungkinkan karakteristik bangunan seperti aspal, beton dan baja yang menyerap panas dengan baik akan sangat mempengaruhi kondisi temperatur di permukaan. Sehingga diperlukan adanya suatu kebijakan yang mengatur penggunaan bahan bangunan yang lebih sesuai dengan kondisi meteorologi tersebut.

***Halaman ini Sengaja Dikosongkan***

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan Penelitian

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini, yaitu:

- a. Lapisan inversi yang diamati di Kota Surabaya merupakan *subsidence inversion*. Lapisan inversi tersebut memiliki korelasi lemah berbanding terbalik terhadap kecepatan angin pada pukul 00.00 WIB dengan nilai korelasi -0,235 dan korelasi lemah berbanding lurus pada pukul 12.00 WIB terhadap kecepatan angin dengan nilai korelasi 0,116. Kekuatan radiasi tidak memiliki korelasi terhadap ketinggian lapisan inversi dengan nilai korelasi 0,013 pada pukul 00.00 WIB dan 0,050 pada pukul 12.00 WIB.
- b. Korelasi antara ketinggian lapisan inversi dengan kualitas udara ambien konsentrasi  $\text{SO}_2$  -0,136 hingga -0,381 pada pukul 00.00 WIB dan -0,110 hingga -0,469 pada pukul 12.00 WIB. Hal tersebut menandakan bahwa semakin tinggi lapisan inversi semakin rendah konsentrasi  $\text{SO}_2$ , karena ruang mixing height semakin besar. Namun, ketinggian inversi tidak berkorelasi dengan konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan  $\text{O}_3$ .
- c. Korelasi parameter meteorologi kecepatan angin berkorelasi lemah negatif dengan konsentrasi  $\text{NO}_2$  (-0,137 hingga -0,189) pada udara ambien. Parameter kekuatan radiasi berkorelasi lemah negatif dengan  $\text{SO}_2$  (-0,160 hingga -0,640) dan  $\text{NO}_2$  (-0,105 hingga -0,244), untuk  $\text{O}_3$  korelasi berbanding lurus (0,112 hingga 0,366).

#### 5.2 Saran Untuk Penelitian Selanjutnya

Saran dari penelitian kali ini untuk menyempurnakan penelitian selanjutnya yang dapat diberikan yaitu:

- Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan analisis data dengan waktu yang cukup panjang dikarenakan banyaknya data yang dianalisis.
- Dilakukan analisis terhadap karakteristik bangunan Kota Surabaya, karena dengan kondisi mayoritas bangunan thermal konduktor akan mempengaruhi kondisi temperatur di permukaan dan akan mempengaruhi ketinggian lapisan inversi.
- Pelingkupan data kualitas udara ambien dilakukan dengan tujuan tertentu seperti: data kualitas udara yang konsisten, diperhitungkan sesuai musim, atau jam dan hari kerja.
- Dilakukan koreksi data BMKG sesuai dengan radius antara BMKG dan stasiun SUF.

## DAFTAR LAMPIRAN

- |    |   |    |
|----|---|----|
| a. | Grafik Perbandingan Ketinggian Lapisan Inversi Kota Surabaya Tahun 2009-2014 pada pukul 00.00 dan 12.00 WIB.        | 51 |
| b. | Grafik Korelasi Kecepatan Angin dan Ketinggian Lapisan Inversi Kota Surabaya Tahun 2009-2014 pada pukul 00.00 WIB.  | 52 |
| c. | Grafik Korelasi Kecepatan Angin dan Ketinggian Lapisan Inversi Kota Surabaya Tahun 2009-2014 pada pukul 12.00 WIB.  | 53 |
| d. | Grafik Korelasi Kekuatan Radiasi dan Ketinggian Lapisan Inversi Kota Surabaya Tahun 2009-2014 pada pukul 00.00 WIB. | 54 |
| e. | Grafik Korelasi Kekuatan Radiasi dan Ketinggian Lapisan Inversi Kota Surabaya Tahun 2009-2014 pada pukul 00.00 WIB. | 55 |

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdilanov, D. 2011. **Inversi Atmosfer**, <URL: <http://abdilanov.blogspot.com/2011/11/inversi-atmosfer.html>>
- Alifah, T. 2010. **Oksida-Oksida Sulfur (SO<sub>x</sub>)**, <URL: [http://tatyaaalifah.files.wordpress.com/2009/09/oksida-sulfur-sox .pdf](http://tatyaaalifah.files.wordpress.com/2009/09/oksida-sulfur-sox.pdf)>
- Anonim. 2005. **Laporan Kualitas Lingkungan Kota Surabaya**. Surabaya: Badan Lingkungan Hidup.
- Anonim. 2008. **Laporan Kualitas Lingkungan Kota Surabaya**. Surabaya: Badan Lingkungan Hidup.
- Anonim. 2009. **Klimatologi Suatu Pengantar (Laboratorium Pengelolaan DAS dan Konservasi Sumberdaya Hutan, Tanah, Dan Air)**. Makassar: Universitas Hassanudin.
- Anonim. 2012. **Meteorologi Kota Surabaya**. Surabaya: Badan Meteorologi Geofisika I Perak.
- Anonim. 2013. **Radiasi Matahari**, <URL: [http://id.wikipedia.org/wiki/Radiasi\\_Matahari](http://id.wikipedia.org/wiki/Radiasi_Matahari)>.
- Boubel, R.W., Fox D. L., Turner, D.B., dan Stern A.C. 1994 **Fundamental of Air Pollution**. London: Academic Press.
- Fardiaz, S. 1992. **Polusi Air dan Udara**. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Griffin, Steve. 2014. **Temperature Inversions**, <URL: <http://www.brisbanehotairballooning.com.au/faqs/education/121-temperature-inversions.html>>.
- Guswanto, Anugrah, D.F., Turyanti, A. dan Heriyanto, E. 2006. "Analisis Trayektori Asap Kebakaran Hutan di Kalimantan Tahun 2006 Menggunakan *The Air Pollution Model* (TAPM)". **Megasains**. Bukit Kotatabang: 2086-5589: 189-208.

- Harsa, Hastuardi. 2014. Data Radiosonde BMKG Juanda. Surabaya: BMKG Juanda.
- Huber, Anna. Agus. 2004. **Inversion Layer**, <URL: [http://www.csun.edu/~hmc60533/CSUN\\_103/weather\\_exercises/soundings/smog\\_and\\_inversions/Inversions.htm](http://www.csun.edu/~hmc60533/CSUN_103/weather_exercises/soundings/smog_and_inversions/Inversions.htm)>
- Khan, S. M., 2000. **Modelling and Estimation of Mixing Height For Brisbane Airshed**. Brisbane: Faculty of Environmental Science, Griffith University.
- Li, L., Qian, J., Chun-Quan, O., Ying-Xue, Z., Guo, C. dan Guo, Y. 2014. "Spatial and Temporal Analysis of Air Pollution Index and Its Timescale-dependent Relationship with Meteorological Factors in Guangzhou, China, 2001-2011". **Environmental Pollution**. China: 190, 75e81.
- Li, Y., Yan, J., Xingbin Sui. 2011. "Tropospheric temperature inversion over central China". **Atmospheric Research** 116 (2012) 105–115
- Maharani, A. 2013. Ozon (O<sub>3</sub>), <URL: <http://andimaharani.blogspot.com/2013/05/ozon-o3.html>>
- Mamtimin, B., dan Meixner, F.X. 2011. "Air Pollution and Meteorological Process in The Growing Dryland City of Urumqi (Xinjiang, China)". **Science of Total Environment**. Germany: 409, 1277-1290.
- Muzayanah. 2012. **Serapan Karbondioksida Oleh Green Barrier (Studi Kasus Jalan Bebas Hambatan Surabaya – Sidoarjo)**. Disertasi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Jakarta.
- Rati, C. 2013. **Analisis Karakteristik Parameter Atmospheric Boundary Layer dengan Data Radiosonde Kota Serang. Skripsi**. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Rima, Y. D. 2014. **Studi Kualitas Udara di Persimpangan Jalan Berkaitan dengan Antrian Kendaraan Bermotor**

- di Kota Padang. Tesis. Bandung: Universitas Padjajaran.
- Sanger, R. J. 2012. **Perancangan Aplikasi Sistem Informasi Pemantauan Kecepatan Angin, Beserta Pengkategorian Jenis Angin dengan Hardware Inframerah Sebagai Media Kalibrasi**. Disertasi. Medan: Univeritas Kristen Satya Wacana.
- Seinfeld, J.H. 1986. **Atmospheric Chemistry and Physics of Air Polution**. California: Wiley Interscience Publication.
- Sumaryati. 2011. "Polusi Udara di Kawasan Cekungan Bandung". **Berita Dirgantara**. Bandung: Vol.12 No.3: 83-89.
- Wang, X.Y. dan Wang, K.C., 2014. "Estimation of Atmospheric Mixing Layer Height From Radiosonde Data". **Atmospheric Measurement Techniques**. China: 7, 1701-1709.
- Wijayanti, D. 2011. **Kajian Model Penyebaran Karbondioksida Dari Kegiatan Industri Kota Surabaya**. Tesis. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

***Halaman ini Sengaja Dikosongkan***



Penulis dilahirkan di Jakarta, 4 Februari 1993, merupakan anak pertama dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Permata Bogor, SDN Polisi 3 Bogor, SMPN 2 Bogor dan Sekolah Menengah Analis Kimia Bogor (SMAKBO). Setelah lulus dari SMAN tahun 2011, Penulis mengikuti SPMB dan diterima di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS pada tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP. 3311100095

Di Jurusan Teknik Lingkungan ini Penulis aktif di beberapa kegiatan organisasi di ITS seperti menjadi Staff Pengembangan Sumber Daya Manusia Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL), Steering Committee MKL HMTL ITS, Steering Committee IMF FTSP, Steering Committee Gerigi ITS dan aktif sebagai Asisten Praktikum di beberapa mata kuliah.