



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**POLA SPASIAL PENCEMARAN UDARA DARI SUMBER PENCEMAR  
PLTU DAN PLTGU MUARA KARANG**

**SKRIPSI**

**ANITA DWI PUSPITASARI  
0706265200**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
DEPARTEMEN GEOGRAFI  
DEPOK  
JULI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**POLA SPASIAL PENCEMARAN UDARA DARI SUMBER PENCEMAR  
PLTU DAN PLTGU MUARA KARANG**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains**

**ANITA DWI PUSPITASARI  
0706265200**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
DEPARTEMEN GEOGRAFI  
DEPOK  
JULI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Anita Dwi Puspitasari

NPM : 0706265200

Tanda Tangan : 

Tanggal : 4 Juli 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Anita Dwi Puspitasari  
NPM : 0706265200  
Program Studi : Geografi  
Judul Skripsi : Pola Spasial Pencemaran Udara dari Sumber  
Pencemar PLTU dan PLTGU Muara Karang

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang	: Dr. rer. Nat. Eko Kusratmoko, MS	(  )
Pembimbing I	: Dr. Djoko Harmantyo, MS	(  )
Pembimbing II	: Adi Wibowo, S.Si, M.Si	(  )
Penguji I	: Drs. Sobirin, M.Si	(  )
Penguji II	: Drs. Mangapul P Tambunan, M.Si	(  )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 4 Juli 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Geografi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Djoko Harmantyo, MS dan Adi Wibowo, S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Drs. Sobirin, M.Si dan Drs. Mangapul P Tambunan, M.Si selaku dosen penguji;
- (3) Dra. Astrid Damayanti, M.Si selaku pembimbing akademis;
- (4) Seluruh jajaran staf dan karyawan Departemen Geografi yang memberikan kemudahan dalam membantu urusan administrasi;
- (5) Secara khusus penulis juga berterimakasih atas bantuan yang tulus yaitu kepada Bapak Padmono, Bapak Heru, Mbak Tania, dan pegawai-pegawai PT. PJB UP Muara Karang, dan pegawai BMKG (terutama Pak Parmin dan Yadi) yang telah memudahkan saya dalam memperoleh data;
- (6) Keluarga besar saya terutama ibu, bapak dan kakak saya (mas Alip), saudara-saudara dan sepupu (repi, dan reni) yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (7) Sahabat-sahabat saya (Novita, Niki, Metha, Ike, dan Tiara) yang selalu mendukung dan menghibur serta membantu saya;
- (8) Sahabat-sahabat SMA saya (Estri, Rini, Metty, Dessi, Icha, Tika, Fauzi, Rizky, Miko, Dedik, dan Ridwan) serta sahabat saya tia yang selalu menyemangati dan menghibur saya saat saya jenuh dan hampir menyerah;
- (9) Sahabat-sahabat SD saya (Anik, Andhika, Dian, dan lain-lain) yang juga selalu mendukung saya;

(10) Keluarga angkatan 2007 yang tidak terlupakan selalu penuh canda dan tawa yang akan selalu terkenang dalam hati penulis; Dea, Desty, Devina, Hilman, Dicky, Risma, Yosef, Jefri, Dian, Yuli, Echi, Vina, Deli, Satria, Ardi, Mila dan lain-lain yang tidak disebutkan;

(11) Kakak-kakak angkatan Geografi 2006, adik-adik angkatan Geografi 2008, 2009, dan semua keluarga besar Geografi UI;

(12) Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.



**Penulis**

2011

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anita Dwi Puspitasari  
NPM : 0706265200  
Program Studi : Geografi  
Departemen : Geografi  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“POLA SPASIAL PENCEMARAN UDARA DARI SUMBER PENCEMAR  
PLTU DAN PLTGU MUARA KARANG”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 4 Juli 2011  
Yang menyatakan



( Anita Dwi Puspitasari )

## ABSTRAK

Nama : Anita Dwi Puspitasari  
Program Studi : Geografi  
Judul : Pola Spasial Pencemaran Udara dari Sumber Pencemar PLTU dan PLTGU Muara Karang

Tujuan yaitu untuk mengetahui pola spasial pencemaran udara yang diakibatkan oleh PLTU dan PLTGU Muara Karang. Analisis yang digunakan adalah analisis keruangan hasil perhitungan Model Dispersi Gaussian untuk mengetahui semburan emisi PLTGU dan PLTU masing-masing parameter yaitu debu, NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> pada enam hari pada bulan Juni dan Desember, selanjutnya hasil perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk peta untuk mengetahui pola spasial pencemaran udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola pencemaran udara dari sumber PLTU dan PLTGU Muara Karang menunjukkan jangkauan dan nilai konsentrasi tiap parameter, berbeda-beda sesuai arah anginnya. Dalam kondisi atmosfer stabil, jangkauan emisi dari kedua sumber pencemar tersebut lebih jauh dibandingkan dalam kondisi atmosfer tidak stabil. Hasil analisis yaitu konsentrasi pencemar menurun sesuai dengan jaraknya. Kecamatan Taman Sari, Sawah Besar, Kemayoran, dan Tambora memiliki resiko paling tinggi terkena dampak pencemaran udara dari sumber PLTU dan PLTGU Muara Karang.

Kata Kunci : analisis keruangan, kondisi atmosfer, Model Gaussian, pencemaran udara, PLTU Muara Karang.  
xiv+68 halaman : 9 gambar; 14 peta; 14 tabel  
Daftar Pustaka : 51 (1973-2010)



## ABSTRACT

Name : Anita Dwi Puspitasari  
Study Program : Geography  
Title : Spatial Patterns of Air Pollution from Pollutant Sources of  
Muara Karang Power Plant and Combined Cycle Power Plant

The objective of the study are to determines the spatial patterns of air pollution caused by Muara Karang Power Plant and Combined Cycle Power Plant. The analysis which used is spatial analysis of the calculated Gaussian Dispersion Model to find out bursts emissions of Combined Cycle Power Plant and power plant of each parameter that is dust, NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> on six days in June and December, then the calculation results are displayed in the form of a map to determine the spatial pattern of air pollution. The results showed that the pattern of air pollution from Muara Karang Power Plant and Combined Cycle Power Plant shows the range and concentration values of each parameter, varies according to wind direction. In stable atmospheric conditions, the range of pollutant emissions from both sources are more distant than in the unstable atmospheric conditions. The results of the analysis that pollutant concentration will be change in the air. Taman Sari, Sawah Besar, Kemayoran, and Tambora has a highest risk area affected by air pollution from Muara Karang Power Plant and Combined Cycle Power Plant.

Keywords : spatial analysis, condition of atmosphere, Gaussian Model, air pollution, Muara Karang Power Plant.  
xiv+68 pages : 9 pictures; 14 maps; 14 tables  
Bibliography : 51 (1973-2010)

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINILITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Masalah Penelitian .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Penelitian .....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Pusat Penghasil Listrik.....	5
2.1.1 Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	6
2.1.2 Pusat Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU).....	10
2.2 Udara.....	12
2.3 Pencemaran Udara.....	13
2.3.1 Pencemaran NOx.....	15
2.3.2 Pencemaran SOx.....	16
2.3.3 Pencemaran Partikel .....	16
2.3.4 Klasifikasi Pencemaran Udara.....	17
2.4 Dinamika Atmosfer.....	19
2.5 Model Dispersi Gaussian.....	21
2.6 Pola Spasial Pencemaran Udara.....	23
2.6.1 Pola Spasial.....	23
2.6.2 Interpolasi Melalui Model Geostatistik .....	23
2.7 Penelitian Terdahulu.....	26
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1 Daerah Penelitian.....	27
3.2 Kerangka Penelitian.....	27
3.3 Variabel Penelitian.....	28
3.4 Metode Pengumpulan Data.....	28
3.5 Metode Pengolahan Data.....	32
3.6 Analisis Data.....	34

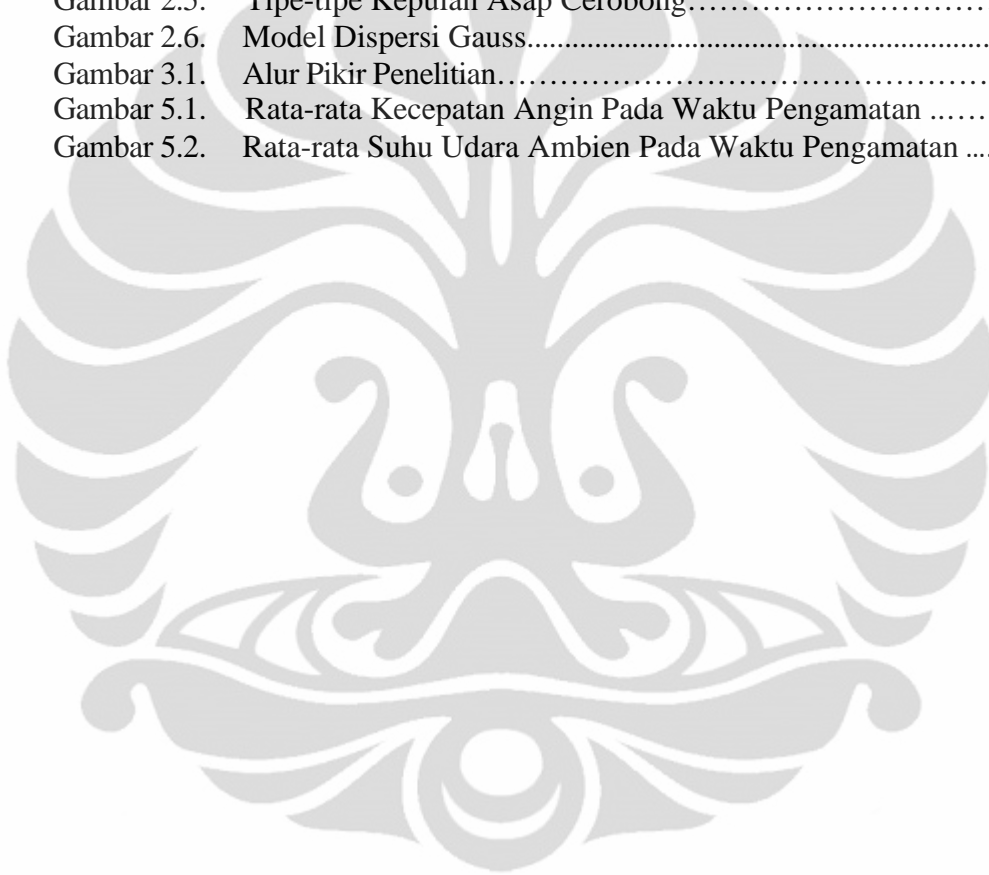
<b>BAB IV. FAKTA WILAYAH.....</b>	<b>35</b>
4.1 Letak Daerah Penelitian.....	35
4.2 Topografi.....	36
4.3 Meteorologi.....	36
4.4 Bangunan di PLTU dan PLTGU Muara Karang.....	36
4.5 Jumlah dan Kepadatan Penduduk.....	39
4.6 Penggunaan Tanah.....	40
<b>BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>43</b>
5.1 Parameter Emisi.....	43
5.2 Parameter Meteorologi.....	43
5.3 Hasil Perhitungan Model Dispersi Gaussian.....	46
5.4 Pola Spasial Pencemaran Udara dari Sumber PLTGU.....	48
5.5 Pola Spasial Pencemaran Udara dari Sumber PLTU.....	52
5.6 Pola Spasial Pencemaran Udara dari Sumber Gabungan (PLTGU dan PLTU).....	55
5.7 Pola Spasial Pencemaran Udara antara Musim Kemarau dan Musim Hujan.....	56
5.8 Wilayah Dampak Pencemaran Udara dari Sumber Pencemar PLTGU dan PLTU Muara Karang.....	58
<b>BAB VI. KESIMPULAN.....</b>	<b>63</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>64</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	PLTU-PLTU di Indonesia.....	6
Tabel 2.2.	Klasifikasi Pencemaran Udara Menurut Bapedal.....	18
Tabel 3.1.	Klasifikasi Stabilitas Atmosfer.....	29
Tabel 3.2.	Koefisien Stabilitas Atmosfer Pasquill.....	31
Tabel 4.1.	Lokasi Koordinat Cerobong Sumber Pencemar Udara.....	38
Tabel 4.2.	Jumlah dan Kepadatan Penduduk di daerah Penelitian Tahun 2010.....	39
Tabel 4.3.	Penggunaan Tanah Daerah Penelitian.....	41
Tabel 5.1.	Hasil Pengukuran Emisi Cerobong di PLTU dan PLTGU....	43
Tabel 5.2.	Parameter Meteorologi.....	44
Tabel 5.3.	Nilai Konsentrasi Tertinggi Menurut Jarak dari Sumber Pencemar.....	47
Tabel 5.4.	Kecepatan Angin, Kecepatan Lepasn Emisi dan Tinggi Kepulan Asap PLTGU Pada Waktu Pengamatan.....	49
Tabel 5.5.	Pencemaran Udara dari Sumber PLTGU.....	50
Tabel 5.6.	Nilai Konsentrasi Tertinggi Pencemaran Udara dari Sumber PLTGU Berdasarkan Perhitungan Gaussian.....	51
Tabel 5.7.	Kecepatan Angin, Kecepatan Lepasn Emisi dan Tinggi Kepulan Asap PLTGU Pada Waktu Pengamatan .....	52
Tabel 5.8.	Pencemaran Udara dari Sumber PLTU.....	53
Tabel 5.9.	Nilai Konsentrasi Tertinggi Pencemaran Udara dari Sumber PLTU Berdasarkan Perhitungan Gaussian.....	54
Tabel 5.10.	Percampuran Antara Pencemaran Udara dari Sumber PLTGU Dengan Sumber PLTU.....	56
Tabel 5.11.	Nilai Konsentrasi Maksimum Tiga Parameter Zat Pada Hari Pengamatan.....	57

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Alur Proses Produksi PLTU.....	7
Gambar 2.2.	Skema Boiler PLTU.....	9
Gambar 2.3.	Alur Proses Produksi PLTGU.....	10
Gambar 2.4.	Wilayah PLTGU yang terdiri dari dua buah PLTG dan sebuah PLTU.....	12
Gambar 2.5.	Tipe-tipe Kepulan Asap Cerobong.....	20
Gambar 2.6.	Model Dispersi Gauss.....	22
Gambar 3.1.	Alur Pikir Penelitian.....	27
Gambar 5.1.	Rata-rata Kecepatan Angin Pada Waktu Pengamatan .....	45
Gambar 5.2.	Rata-rata Suhu Udara Ambien Pada Waktu Pengamatan .....	46



## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran 1

- Peta 1 Daerah Penelitian PLTU dan PLTGU Muara Karang dan Wilayah Sekitarnya
- Peta 2 Jumlah Penduduk Daerah Penelitian Tahun
- Peta 3 Kepadatan Penduduk Daerah Penelitian Tahun 2009
- Peta 4 Penggunaan Tanah Daerah Penelitian Tahun 2009
- Peta 5 Windrose Tanggal 20, 21 dan 22 Juni 2010
- Peta 6 Windrose Tanggal 20, 21 dan 22 Desember 2010
- Peta 7 Pencemaran Udara Parameter Debu Dengan Sumber PLTGU Muara Karang
- Peta 8 Pencemaran Udara Parameter  $\text{NO}_2$  Dengan Sumber PLTGU Muara Karang
- Peta 9 Pencemaran Udara Parameter  $\text{SO}_2$  Dengan Sumber PLTGU Muara Karang
- Peta 10 Pencemaran Udara Parameter Debu Dengan Sumber PLTGU Muara Karang
- Peta 11 Pencemaran Udara Parameter  $\text{NO}_2$  Dengan Sumber PLTGU Muara Karang
- Peta 12 Pencemaran Udara Parameter  $\text{SO}_2$  Dengan Sumber PLTU Muara Karang
- Peta 13 Pencemaran Udara Parameter Debu Tanggal 20 Juni 2010
- Peta 14 Wilayah Dampak Pencemaran Udara dari Sumber Pencemar PLTU dan PLTGU Muara Karang Pada Bulan Juni dan Desember 2010

### Lampiran 2

- Tabel 1 Meterologi
- Tabel 2 Kejadian Angin
- Tabel 3 Hasil Perhitungan

### **Lampiran 3**

Perhitungan Emisi

Perhitungan Dispersi

### **Lampiran 4**

Gambar Ilustrasi Semburan Emisi

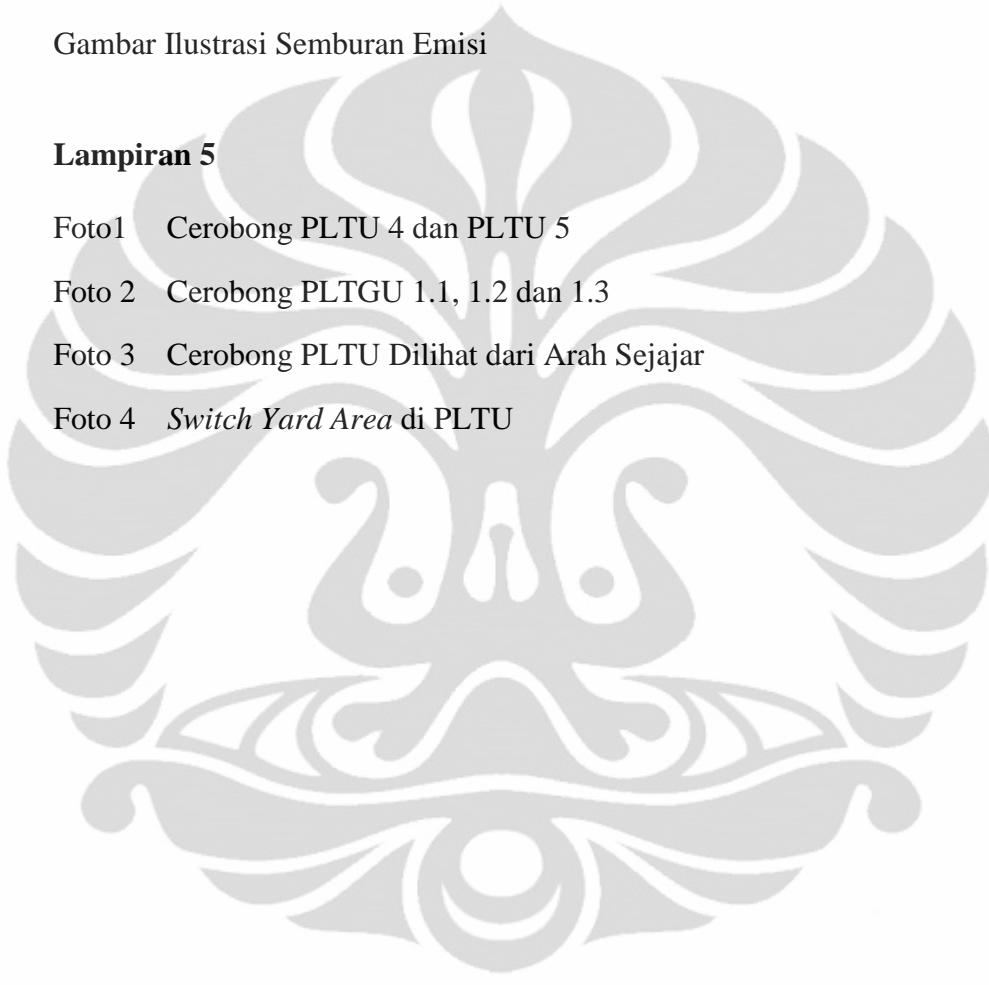
### **Lampiran 5**

Foto1 Cerobong PLTU 4 dan PLTU 5

Foto 2 Cerobong PLTGU 1.1, 1.2 dan 1.3

Foto 3 Cerobong PLTU Dilihat dari Arah Sejajar

Foto 4 *Switch Yard Area* di PLTU



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pencemaran udara, khususnya di kota-kota besar, sudah merupakan masalah yang perlu segera ditanggulangi. Hal ini akibat dari peningkatan aktivitas manusia, penambahan jumlah penduduk, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta penambahan industri dan sarana transportasi. Kegiatan skala kecil yang dilakukan perorangan juga menyebabkan pencemaran udara, seperti pembakaran sampah, rokok, dan kegiatan rumah tangga lainnya. Selain karena kegiatan manusia, asap yang ditimbulkan oleh kebakaran hutan juga ikut memberikan andil dalam penurunan kualitas udara di tingkat lokal, nasional, dan regional ASEAN (KLH, 2004).

Menurut hasil penelitian Badan Kesehatan Dunia (WHO), Jakarta merupakan salah satu kota di dunia yang memiliki pencemaran udara yang tinggi. Sekitar 70 persen pencemaran udara di kota ini berasal dari kendaraan bermotor, 25 persen dari kegiatan industri dan sisanya dari aktivitas masyarakat lain seperti pembuangan sampah. Adanya pemusatan industri dan sektor-sektor ekonomi lainnya di wilayah DKI Jakarta. Industri merupakan salah satu sumber pencemaran udara, baik di perkotaan maupun di pedesaan. Emisi pencemar udara terutama berasal dari pembakaran bahan bakar di berbagai kegiatan industri termasuk pembangkit tenaga listrik, produksi kimia, dan lainnya, pengolahan logam, insenerasi, penggunaan bahan bakar industri, dan lain-lain (Muhammad & Nurbianto, 2006).

Kegiatan industri dengan cerobongnya menghasilkan emisi yang sangat tinggi. Dengan semakin banyaknya jenis kegiatan industri maka emisi cerobong yang dihasilkan akan semakin besar, terutama untuk kegiatan industri yang menghasilkan bahan berbahaya dan beracun (KLH, 2008). Dalam Status Lingkungan Hidup Indonesia tahun 2004 dijelaskan bahwa sumber pencemar tetap meliputi pembangkit tenaga listrik, tungku industri, dan tungku domestik menjadi penyumbang terbesar  $SO_2$ , yaitu sebanyak 90,20 persen (Muhammad &



Nurbianto, 2006). Jadi perlu diperhatikan data emisi dari industri dan dilihat secara kritis, serta pengaruhnya pada kualitas udara.

Wilayah Kota Administrasi Jakarta Utara dan Kabupaten Bogor merupakan wilayah dengan jumlah bebas emisi pencemar ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  dan  $\text{PM}_{12}$ ) industri terbesar di antara daerah lain, yaitu Jakarta Utara sebesar 63.079 ton/tahun dan untuk Kabupaten Bogor sebesar 30.900 ton/tahun. Sementara itu, daerah dengan beban emisi kecil adalah Jakarta Selatan, Jakarta Pusat, Kota Bogor, dan Kota Depok. Dua daerah pertama tidak memiliki kawasan industri. Sebagian besar industri di bagian selatan Jakarta berlokasi di Kabupaten Bogor yang berbatasan dengan Kota Bogor dan Kota Depok (Muhammad & Nurbianto, 2006).

Sejalan dengan uraian di atas, maka dilakukan penelitian kualitas udara di DKI Jakarta yang bersumber dari PLTU dan PLTGU Muara Karang, secara akurat dan analisis yang mendalam. Penelitian mengambil studi kasus di unit pembangkit tersebut guna mengetahui sebaran emisi industri dengan parameter kadar Partikulat (debu), kadar  $\text{SO}_2$  dan kadar  $\text{NO}_2$ , serta akan diketahui kualitas udara daerah penelitian.

## **1.2 Masalah Penelitian**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah “Bagaimana pola spasial pencemaran udara dari sumber pencemar PLTU dan PLTGU Muara Karang?”.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola spasial pencemaran udara dari sumber pencemar PLTU dan PLTGU Muara Karang.

#### 1.4 Batasan Penelitian

1. Daerah penelitian meliputi lokasi pembangkit listrik PLTU dan PLTGU Muara Karang dan sekitarnya dengan radius 10 km ke barat, timur, utara dan selatan yang secara administrasi terletak di Kota Administrasi Jakarta Utara, Kota Administrasi Jakarta Barat dan Kota Administrasi Jakarta Pusat.
2. Kualitas udara adalah derajat kemampuan udara pada atmosfer untuk memenuhi kebutuhan dasar manusia pada tempat dan dalam waktu tertentu, yang dinyatakan dengan nilai dan kriteria dari kombinasi tingkat keberadaan polutan-polutan tertentu dalam udara yang mencakup keadaan fisikokimiawi, biologi, dan faktor-faktor lainnya dengan perbandingan terhadap baku mutu parameter masing-masing zat dalam udara yang diterapkan (Rahmawati, 1999).
3. Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang berada di dalam wilayah yuridiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya (Perda Provinsi DKI Jakarta No.2 Tahun 2005).
4. Pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.21 Tahun 2008).
5. Emisi adalah zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar (Perda Provinsi DKI Jakarta No.2 Tahun 2005).
6. Polutan adalah sesuatu (zat) yang terdapat di dalam suatu benda baik padat, cair, atau gas yang menyebabkan benda tersebut menjadi kotor atau rusak (Ismoyo, dkk, 1994).
7. Pencemar udara yang dikaji dalam penelitian adalah Partikulat (debu),  $SO_2$  dan  $NO_2$ .
8. Pola spasial adalah gambaran persebaran suatu gejala baik fisik maupun sosial di atas muka bumi yang lazim disajikan dalam bentuk peta.

9. Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah suatu kegiatan yang memproduksi tenaga listrik dengan menggunakan bahan bakar padat, cair, dan/atau gas untuk memanaskan air dalam ketel uap (*boiler*) yang memproduksi uap untuk menggerakkan turbin yang seporos dengan generator sehingga membangkitkan tenaga listrik (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.21 Tahun 2008).
10. Pusat Listrik Tenaga Gas & Uap (PLTGU) adalah suatu kegiatan yang memproduksi tenaga listrik dengan menggunakan bahan bakar minyak atau gas yang menghasilkan gas hasil pembakaran yang digunakan untuk menggerakkan turbin yang seporos dengan generator sehingga membangkitkan tenaga listrik, sedangkan sisa panas yang dihasilkan selanjutnya dimanfaatkan proses pemanasan air di *Unit Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) untuk memproduksi uap yang digunakan sebagai media penggerak turbin uap yang seporos dengan generator sehingga membangkitkan tenaga listrik (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.21 Tahun 2008).
11. Wilayah dampak adalah daerah di sekitar PLTU dan PLTGU yang terdapat bahan polutan sesuai tingkatannya dan berpengaruh terhadap makhluk hidup yang terdapat pada wilayah tersebut.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pusat Penghasil Listrik

Pembangkitan yaitu produksi tenaga listrik, dilakukan dalam pusat tenaga listrik atau sentral, dengan mempergunakan penggerak mula dan generator. Transmisi, atau penyaluran adalah memindahkan tenaga listrik dari pusat tenaga listrik secara besar-besaran ke gardu induk, berdekatan dengan pusat pemakaian berupa kota atau industri besar (Kadir, 1996).

Listrik diproduksi di pembangkit dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dengan menggunakan generator yang bekerja berdasarkan prinsip medan magnet dan penghantar listrik. Mesin diaktifkan dengan menggunakan berbagai sumber energi sebagai penggerak mulanya (*prime mover*) untuk memutar turbin sehingga dapat menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik. Masing-masing jenis pembangkit tenaga listrik mempunyai prinsip kerja yang berbeda-beda, sesuai dengan *prime mover*. Jenis pembangkit listrik dapat dibedakan berdasarkan kemampuan *prime mover* untuk diperbaharui kembali (*renewable source*) atau tidak dapat diperbaharui kembali (*non renewable source*) sebagai berikut (Budiman dkk, 2010):

1. Pembangkit Listrik *Renewable*, antara lain Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Ombak (PLTO) dan Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL),
2. Pembangkit Listrik *Nonrenewable*, antara lain Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) serta Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

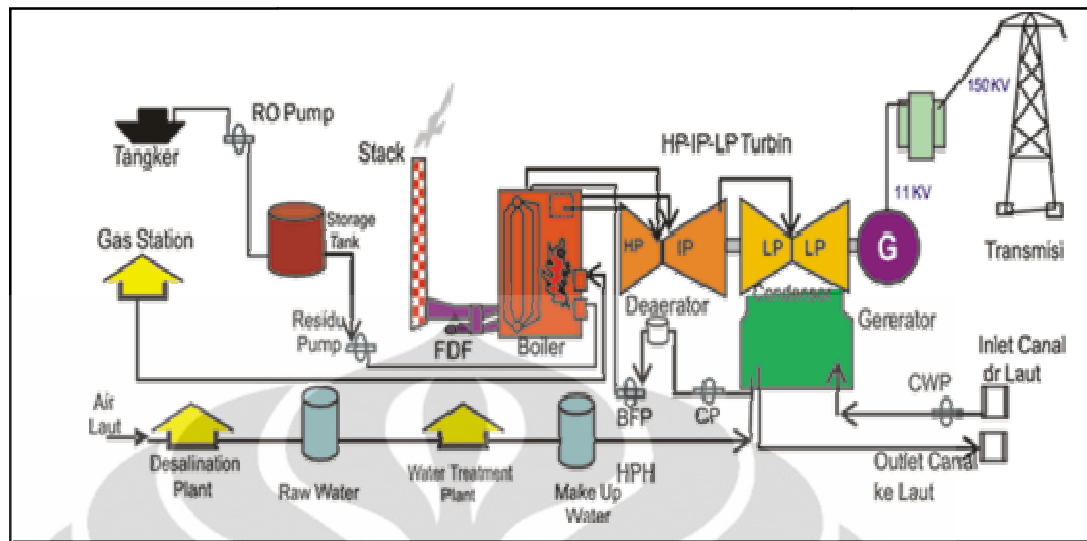
### 2.1.1 Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah suatu kegiatan yang memproduksi tenaga listrik dengan menggunakan bahan bakar padat, cair, dan/atau gas untuk memanaskan air dalam ketel uap (*Boiler*) yang memproduksi uap untuk menggerakkan turbin yang seporos dengan generator sehingga membangkitkan tenaga listrik (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.21 Tahun 2008).

Tabel 2.1.PLTU-PLTU di Indonesia

Nama PLTU	Letak	Kapasitas	Jumlah Unit
PLTU Tarahan	Kecamatan Katibung, Lampung Selatan, Lampung	2 x 100 MW	Unit III dan IV
PLTU Asam-Asam	Desa Asam-asam, Kecamatan Jorong, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan	2 x 65 MW	Unit I dan II
PLTU PT Krakatau Daya Listrik	Kota Cilegon, Banten	400 MW	5 PLTU
PLTU Paiton Swasta I	Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur	1.230 MW	2 PLTU
PLTU Paiton Swasta II	Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur	1.300 MW	2 PLTU
PLTU Suralaya	Kecamatan Pulo Merak, Kota Cilegon, Banten	4 x 400 MW; 3 x 600 MW	PLTU total 7 unit 3.400 MW
Unit Pembangkitan Brantas	Kecamatan Sumberpucung, Kabupaten Malang, Jawa Timur	281 MW	12 PLTA
Unit Pembangkitan Cirata	Kecamatan Plered, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat	1.008 MW	8 PLTA
Unit Pembangkitan Gresik	Kabupaten Gresik, Jawa Timur	2.280 MW	5 PLTG, 1 PLTU dan 3 PLTGU
Unit Pembangkitan Muara Karang	Kelurahan Pluit, Jakarta Utara	1.200 MW	5 PLTU dan 1 PLTGU
Unit Pembangkitan Muara Tawar	Kabupaten Bekasi, Jawa Barat	920 MW	2 PLTG dan 3 PLTGU
Unit Pembangkitan Paiton	Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur	800 MW	2 PLTU
PLTU Lati	Kabupaten Berau, Kalimantan Timur	2 x 7 MW	1 PLTU
Unit Pembangkitan Talang Duku	Kabupaten Sekayu, Musi banyuasin, Sumatera Selatan	35 MW	

[Sumber: <http://www.ptpjb.com>]



[Sumber : <http://www.ptjib.com/> ]

Gambar 2.1 Alur Proses Produksi PLTU

Peralatan utama PLTU adalah *boiler*, Turbin, dan Generator, dan peralatan bantuannya seperti *desalination plant* & *water treatment*, dll. Dalam proses produksi energi listrik, air tawar yang digunakan sebagai media kerja diperoleh dari air laut yang diolah melalui peralatan *desalination plant*, diolah lagi melalui peralatan *Water Treatment* hingga air tersebut memenuhi syarat, disalurkan dan dipanaskan ke dalam *boiler* dengan menggunakan bahan bakar gas dan atau bahan bakar Residu. Uap hasil produksi *boiler* dengan tekanan dan temperatur tertentu disalurkan ke Turbin. Uap yang disalurkan ke Turbin akan menghasilkan tenaga mekanis untuk memutar Generator dan menghasilkan tenaga listrik disalurkan ke daerah-daerah (Pembangkitan Jawa Bali, 2010).

Bahan bakar yang dipakai biasanya terdiri atas batu bara, minyak bakar, atau gas bumi. Sebelum memasukkan ke pembakar *boiler* batu bara digiling terlebih dahulu. Demikian pula minyak bakar perlu dipanaskan, sebelum dapat dialirkan ke pembakar *boiler*. Sebuah kipas mengatur masuknya udara ke dalam *boiler* dalam jumlah besar sebagaimana diperlukan guna pembakaran. Dan sebuah kipas lain mengatur agar semua gas buang melewati alat pembersih sebelum dialirkan ke cerobong dan dilepas di udara bebas. Generator listrik terpasang pada poros sama dengan ketiga turbin (Kadir, 1996).

Tidak kalah penting perlu adanya fasilitas untuk mengurangi pencemaran. Agar partikel-partikel tidak dibuang ke udara melalui cerobong, dipergunakan presipirator elektrostatis (*electrostatic presipirator*). Dan untuk mengurangi emisi belerang dipergunakan peralatan desulfurisasi gas buang (*fluegas desulfurization, FGD*). Sulfur sering terdapat pada batu bara. Untuk menanggulangi masalah ini dikembangkan apa yang dinamakan teknologi batu bara bersih (*clean coal technology*) (Kadir, 1996).

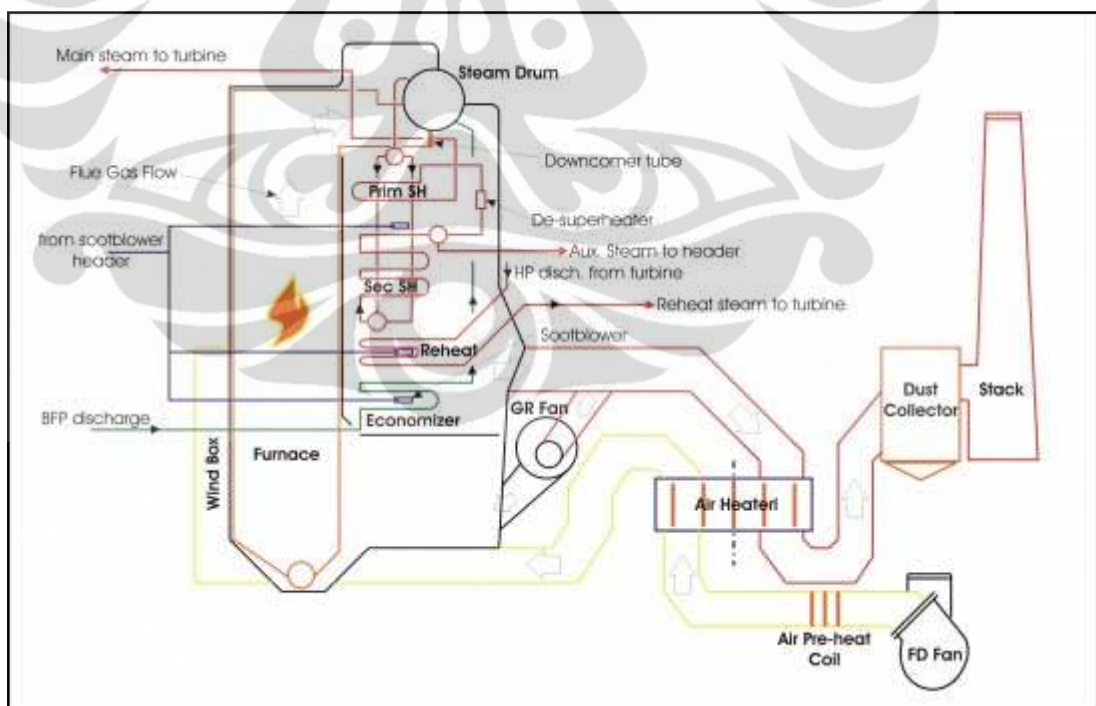
Emisi yang dihasilkan dari pembangkit listrik sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan bakar yang digunakan. Kadar sulfur yang terdapat pada bahan bakar minyak sangat mempengaruhi emisi  $\text{SO}_2$  yang dihasilkan. Reaksi yang terjadi pada proses pembakaran bahan bakar akan menghasilkan  $\text{SO}_2$ . Karbon, hidrogen, dan sulfur merupakan unsur yang terdapat pada bahan bakar dan menghasilkan kalor yang diperlukan. Semakin sempurna pembakaran maka kalor yang dihasilkan akan optimal yang pada akhirnya akan menghasilkan uap bertekanan untuk memutar turbin (Faridha, 2004).

Karena hasil sisa pembakaran bahan bakar dari fosil yang berupa MFO (*Marine Fuel Oil*), gas alam, batu bara dan lain-lain menurut Perkins (1974) emisi gas buang sangat besar terutama partikel debu (partikel  $< 10 \mu\text{m}$  /  $\text{PM}_{10}$ ) yang bersifat racun. Walaupun telah pembangkit listrik telah mempunyai alat pembersih endapan (*presipirator*) untuk membersihkan partikel-partikel kecil dari asap pembakaran batubara, namun senyawa-senyawa seperti  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  dan Partikel Debu/ $\text{PM}_{10}$  yang berbentuk gas dengan bebasnya naik melewati cerobong dan terlepas ke udara bebas (Witono, 2003). Gas  $\text{SO}_x$  dan  $\text{NO}_x$  dapat bereaksi dengan uap air yang ada di udara membentuk asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ). Kedua asam tersebut dapat jatuh bersama-sama air hujan sehingga mengakibatkan hujan asam yang dapat merusak lingkungan dan mengganggu kesehatan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan *The World Environment Departement* Tahun 2000, tinggi cerobong dapat menggambarkan kelompok industri. Tinggi cerobong dibagi dalam 3 (tiga) kelompok, yaitu kelompok dengan tinggi cerobong  $> 75 \text{ m}$  (*high stack*); kelompok medium dengan tinggi cerobong

antara 25–75 m. (*medium stack*) dan kelompok tinggi cerobong < 25 m (*low stack*). Industri dengan *high stack* merupakan industri dengan peralatan modern (*modern power plants*), industri dengan *medium stack* merupakan industri besar, *district heating plants* dan *suboptimal power utilities*; sedangkan industri dengan *low stack* merupakan industri kecil dan industri komersial (*commercial users*), transport, dan sektor domestik (Warlina, 2008).

Cerobong yang terletak di PLTU termasuk ke dalam kelompok dengan tinggi cerobong > 75 m (*high stack*), karena tinggi cerobong PLTU sekitar 107 meter. Diameter cerobong mencapai 4.250 mm atau sekitar 4,24 meter. Suhu gas *out* cerobong mencapai 125°C atau sekitar 398 Kelvin. Menurut Idg Sudirawan (2011) yaitu salah satu teknisi PLTU Muara Karang, mengatakan bahwa suhu gas *out* harus lebih tinggi daripada suhu sulfur. Jika suhu gas *out* lebih rendah daripada titik embun sulfur, maka pemanas udara pada *boiler* akan mengalami korosi. Terdapat alat penangkap debu (*presipitator*) untuk meminimalkan emisi berupa debu yang dapat mencemari lingkungan.



[Sumber: <http://www.ptpjb.com/> ]

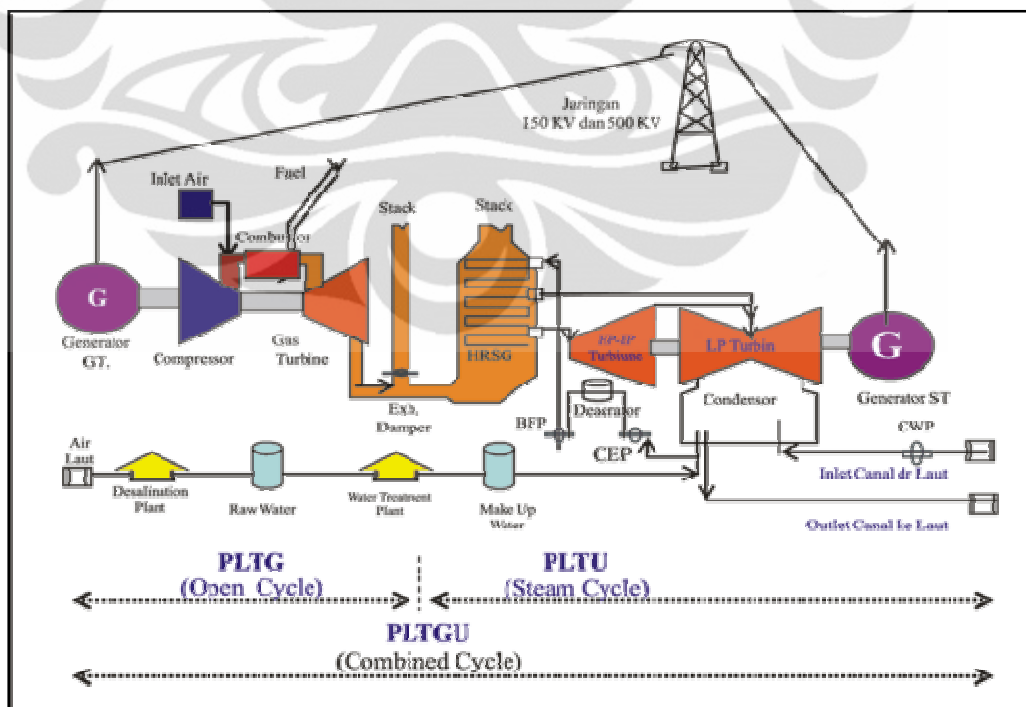
Gambar 2.2. Skema Boiler PLTU



### 2.1.2 Pusat Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU)

Pusat Listrik Tenaga Gas & Uap (PLTGU) adalah suatu kegiatan yang memproduksi tenaga listrik dengan menggunakan bahan bakar minyak atau gas yang menghasilkan gas hasil pembakaran yang digunakan untuk menggerakkan turbin yang seporos dengan generator sehingga membangkitkan tenaga listrik, sedangkan sisa panas yang dihasilkan selanjutnya dimanfaatkan proses pemanasan air di *Unit Heat Recovery Steam Generator (HRSG)* untuk memproduksi uap yang digunakan sebagai media penggerak turbin uap yang seporos dengan generator sehingga membangkitkan tenaga listrik (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.21 Tahun 2008).

PLTGU merupakan kombinasi PLTU dan PLTG. Gas buang dari PLTG yang umumnya mempunyai suhu di atas 400°C, dimanfaatkan ke dalam ketel uap PLTU untuk menghasilkan uap penggerak turbin. Dengan cara ini, umumnya didapat PLTU dengan daya sebesar 50% daya PLTG. Ditinjau dari segi efisiensi pemakaian bahan bakar, PLTGU tergolong sebagai unit yang paling efisien dari unit-unit termal (dapat mencapai angka di atas 45%) (Muslim, 2008).



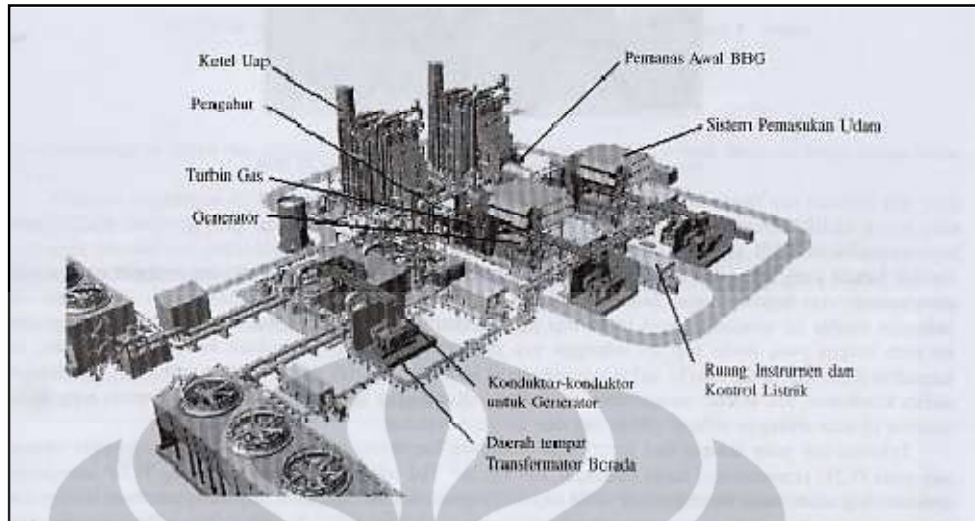
[Sumber : <http://www.ptpjb.com/> ]

Gambar 2.3. Alur Proses Produksi PLTGU

Dalam proses produksi energi listrik, PLTGU menggunakan sistem daur ganda (*Combine Cycle*) yang peralatan utama terdiri dari turbin gas dengan generatornya, HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*), Turbin uap dengan generatornya dan alat pendukungnya (Pembangkitan Jawa Bali, 2010).

1. Turbin gas, diawali dengan menjalankan motor *starter* (penggerak mula) memutar *Compressor* untuk memampatkan udara pada ruang bakar diinjeksikan bahan bakar gas bumi atau HSD, kemudian dinyalakan dengan *Igniter* (untuk awal pembakaran) maka terjadilah pembakaran di ruang bakar. Setelah gas hasil pembakaran mampu memutar Turbin, *Compressor* dan Generator, secara otomatis motor starter akan mati pada putaran 2.100 rpm. Putaran turbin *compressor* terus naik sampai 3.000 rpm (*full speed to load*), selanjutnya Generator menghasilkan energi listrik untuk diparalel dengan jaringan interkoneksi. Di samping menghasilkan listrik, Turbin Gas mengeluarkan Gas Buang.
2. HRSG, Gas buang dari Turbin Gas (dengan temperatur di atas 5.000°C) dialirkan melalui HRSG sehingga menghasilkan uap tekanan rendah. Proses pemanasan air di HRSG ini tidak menggunakan bahan bakar tambahan, jadi semata-mata menggunakan gas buang dari Turbin Gas.
3. Turbin Uap, Uap hasil produksi ketel/HRSG digunakan untuk menggerakkan turbin uap, uap dari saluran tekanan tinggi masuk ke turbin tekanan tinggi selanjutnya bersama-sama uap dari saluran tekanan rendah masuk ke dalam turbin tekanan rendah dan dikondensasikan di kondensor. Air Kondensor dipanaskan kembali ke ketel/HRSG sehingga kembali terbentuk uap untuk memutar turbin. Energi mekanik turbin digunakan memutar generator dan menghasilkan energi listrik kemudian diparalelkan dengan jaringan interkoneksi. Demikian, sehingga terjadi proses kombinasi Turbin Gas dengan Turbin Uap.

Emisi yang dikeluarkan hampir sama dengan emisi yang dikeluarkan PLTU, namun kandungan sulfur atau SO<sub>2</sub> lebih sedikit. Ini disebabkan gas buang yang dihasilkan oleh turbin gas, digunakan kembali untuk memanaskan air di HRSG sehingga kandungan sulfur yang akan dibuang lewat cerobong akan lebih rendah.



[Sumber : Teknik Pembangkitan Tenaga Listrik hal.188]

Gambar 2.4. Wilayah PLTGU yang terdiri dari dua buah PLTG dan sebuah PLTU

Cerobong pada PLTGU merupakan peralatan bantu HRSG yang dapat menunjang kinerja HRSG. Cerobong (*Stack*) pada HRSG terdiri dari *horizontal diffuser*, *diverter* dan *silencer*. Terdapat juga cerobong tambahan (*Bypass Stack*) yang digunakan pada saat HRSG tidak beroperasi (siklus terbuka) sehingga gas buang dari turbin gas keluar melalui cerobong ini sedangkan damper menutupi laluan gas buang menuju HRSG (Simanjuntak, 2009). Cerobong pada PLTGU/HRSG lebih pendek daripada cerobong pada PLTU, ini dikarenakan emisi yang dihasilkan tidak seketor dengan emisi PLTU.

## 2.2 Udara

Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konstan. Komponen yang konsentrasinya paling bervariasi adalah air dalam bentuk uap  $H_2O$  dan karbondioksida ( $CO_2$ ). Jumlah uap air yang terdapat di udara bervariasi tergantung dari cuaca dan suhu (Wahyu, 2007).

Udara sebagai sumber daya alam yang mempengaruhi kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya harus dijaga dan dipelihara kelestarian fungsinya untuk pemeliharaan kesehatan dan kesejahteraan manusia serta perlindungan bagi makhluk hidup lainnya. Supaya udara dapat bermanfaat sebesar-besarnya bagi

pelestarian fungsi lingkungan hidup, maka udara perlu dipelihara, dijaga dan dijamin mutunya melalui pengendalian pencemaran udara (PP No.41 Tahun 1999).

Menurut Tunggul (2002) bahwa udara dapat digolongkan menjadi dua yaitu udara emisi atau udara yang keluar dari sumber pencemar dan udara ambien. Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang berada di dalam wilayah yuridiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya (Perda Provinsi DKI Jakarta No.2 Tahun 2005).

### **2.3 Pencemaran Udara**

Dalam Perda Provinsi DKI Jakarta No.2 Tahun 2005 dijelaskan bahwa pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.

Menurut PP 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, sumber penyebab terjadinya pencemaran udara (oleh kegiatan manusia), dapat dikelompokkan menjadi :

1. Sumber bergerak, yaitu yang berasal dari kegiatan transportasi/kendaraan bermotor,
2. Sumber bergerak spesifik, yaitu yang berasal dari kereta api, pesawat terbang, kapal laut dan kendaraan berat lainnya,
3. Sumber tidak bergerak, yaitu yang berasal dari sumber emisi yang tetap pada suatu tempat, misalnya cerobong asap dari suatu pabrik, dan
4. Sumber tidak bergerak spesifik, yaitu yang berasal dari kebakaran hutan/lahan dan pembakaran sampah.

Sumber pencemaran udara dapat digolongkan menjadi sumber area, sumber titik dan sumber garis.

1. Sumber titik, merupakan sumber yang mengemisikan gas buang dari titik cerobong, misalnya berasal dari cerobong sebuah industri dan PLTU.
2. Sumber garis, merupakan integrasi dari sumber-sumber bergerak yang mengemisikan gas buang sehingga dapat dianggap menjadi sumber garis  $\text{NO}_x$ , partikel,  $\text{SO}_x$ .
3. Sumber area, yang sebenarnya merupakan integrasi dari banyak sumber titik dan sumber garis, contoh beberapa industri yang sejenis, daerah penimbunan sampah.

Pencemar udara di lingkungan dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) kelompok berdasar asal mulanya dan kelanjutan perkembangannya di udara yaitu: Sumber pencemar primer dan sumber pencemar sekunder (KLH, 2009).

1. Pencemar primer adalah semua pencemar yang berada di udara yang dalam bentuk hampir tidak berubah, sama seperti saat ia dibebaskan dari sumbernya semula sebagai hasil dari suatu proses tertentu. Pencemar primer pada umumnya berasal dari sumber-sumber yang diakibatkan oleh aktivitas manusia, seperti dari industri maupun emisi kendaraan bermotor seperti  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ , bertindak sebagai *precursor* untuk terbentuknya zat pencemar sekunder.
2. Pencemar sekunder adalah semua pencemar di udara yang sudah berubah karena hasil reaksi tertentu antara dua atau lebih kontaminan/polutan primer dengan kontaminan/polutan lain yang ada dalam udara.

Dalam KLH (2009) dijelaskan bahwa zat-zat yang menyebabkan terjadinya pencemaran udara bentuk fisiknya berupa gas maupun partikel.

Bentuk gas dapat berupa:

1. Senyawa karbon (hidrokarbon/HC,  $\text{CO}$ , dan  $\text{CO}_2$ ),
2. Senyawa sulfur ( $\text{SO}_x$ ), senyawa nitrogen ( $\text{NO}_x$ ), dan
3. Senyawa halogen.

Bentuk partikel dapat berupa:

1. *Aerosol*, yaitu istilah umum yang menyatakan adanya partikel yang terhambur dan melayang di udara.
2. *Fog* atau kabut, adalah *aerosol* yang berupa butiran-butiran air yang berada di udara.
3. *Smoke* atau asap, adalah *aerosol* yang berupa campuran antara butir padatan dan cairan yang terhambur melayang di udara.
4. *Dust* atau debu, adalah *aerosol* yang berupa butiran padat yang terhambur dan melayang di udara karena adanya hembusan angin.
5. *Mist*, mirip kabut tetapi berupa butiran-butiran cairan (bukan air) yang terhambur dan melayang di udara.
6. *Fume*, mirip dengan asap tetapi penyebabnya adalah *aerosol* yang berasal dari kondensasi uap panas (khususnya uap logam).
7. *Plume* adalah asap yang keluar dari cerobong asap suatu industri.
8. *Haze* adalah setiap bentuk *aerosol* yang mengganggu pandangan di udara.
9. *Smog* adalah bentuk campuran antara *smoke* dan *fog*.
10. *Smaze*, hanya dipakai di Amerika untuk campuran antara *smoke* dan *haze*.

### 2.3.1 Pencemaran NO<sub>x</sub>

Udara yang telah tercemar oleh gas nitrogen oksida tidak hanya berbahaya untuk manusia dan hewan saja, tetapi juga berbahaya bagi kehidupan tanaman. Karena kelarutan NO dalam air lebih rendah bila dibanding SO<sub>2</sub>, maka NO<sub>2</sub> akan menembus ke dalam saluran pernapasan lebih dalam. Bagian saluran yang pertama kali dipengaruhi adalah *membrane mukosa* dan jaringan paru (KLH, 2009).

Pencemaran udara oleh gas NO<sub>x</sub> juga dapat menyebabkan timbulnya *peroxy acetil nitrates* yang disingkat PAN. PAN ini menyebabkan iritasi pada mata yang menyebabkan mata terasa pedih dan berair. Campuran PAN bersama senyawa kimia lainnya yang ada di udara dapat menyebabkan kabut foto kimia atau *photo chemistry* yang sangat mengganggu lingkungan (KLH, 2009).

### 2.3.2 Pencemaran SOx

Udara yang telah tercemar SOx menyebabkan manusia mengalami gangguan pada sistem pernapasan. Hal ini karena gas SOx yang mudah menjadi asam tersebut menyerang selaput lendir pada hidung, tenggorokan, dan saluran pernapasan yang lain sampai ke paru-paru. Serangan gas SOx tersebut menyebabkan iritasi pada bagian tubuh yang terkena. Daya iritasi SO<sub>2</sub> pada setiap orang tidak sama. Ada orang yang sensitif dan sudah akan mengalami iritasi apabila terkena SO<sub>2</sub> berkonsentrasi 1-2 ppm, namun ada pula orang yang baru akan mengalami iritasi tenggorokan apabila terkena SO<sub>2</sub> berkonsentrasi 6 ppm (KLH, 2009).

*Sulfur dioksida* merupakan gas pencemar yang bersifat korosif dan beracun. Bila konsentrasinya di atmosfer tinggi, akan menyebabkan terjadinya hujan asam. Sebagian kecil bahan bakar sulfur yang dapat dioksidasikan menjadi SO<sub>3</sub> juga memberikan konsekuensi terhadap lingkungan, seperti timbulnya kabut biru butiran asam sulfur yang diemisikan dari pemanas (*boiler*), mempercepat korosi pada logam, serta akumulasi partikel asap (KLH, 2009).

### 2.3.3 Pencemaran Partikel

Secara umum partikel yang mencemari udara dapat merusak lingkungan, tanaman, hewan dan manusia. Pada umumnya udara yang telah tercemar oleh partikel dapat menimbulkan berbagai macam penyakit saluran pernapasan atau *pneumoconiosis* (KLH, 2009).

Sifat dan perilaku partikulat di atmosfer selalu berhubungan erat dengan ukuran diameter partikel, seperti waktu tinggal partikulat di atmosfer sangat tergantung pada ukuran diameter dan berat jenis. Pada umumnya waktu tinggal partikulat di atmosfer dapat berkisar antara orde detik sampai bulan. Semakin kecil diameter partikulat semakin lama waktu tinggal di atmosfer (KLH, 2009).

Sebagian benda partikulat yang keluar dari cerobong pabrik sebagai asap hitam tebal, tetapi yang paling berbahaya adalah partikel-partikel halus yang diduga mengandung bahan-bahan karsinogen, butiran-butiran yang begitu kecil sehingga dapat menembus bagian terdalam paru-paru dan terakumulasi. Sebagian

besar partikel halus ini terbentuk dengan polutan lain, terutama sulfur dioksida dan oksida nitrogen, dan secara kimiawi berubah dan membentuk zat-zat nitrat dan sulfat. Di beberapa kota, sampai separuh jumlah benda partikulat yang disebabkan oleh manusia terbentuk dari perubahan sulfur dioksida menjadi partikel sulfat di atmosfer (KLH, 2009).

Tingkat pencemaran udara adalah nilai yang menyatakan kondisi kualitas udara pada suatu tempat dan waktu tertentu. Untuk menentukan apakah suatu zat yang masuk ke udara itu dalam taraf sangat berbahaya, berbahaya, atau tidak berbahaya, digunakan suatu standar mutu kandungan zat-zat yang dianggap masih layak untuk kehidupan, yang masih diperbolehkan berada di udara (KLH, 2009).

#### **2.3.4 Klasifikasi Pencemaran Udara**

Klasifikasi pencemaran udara menurut Bapedalda (Badan Pengendalian Dampak Lingkungan) dalam Tabel 2.2.



Tabel 2.2 Klasifikasi Pencemaran Udara Menurut Bapedal

Klasifikasi Pencemaran Udara	SO <sub>2</sub>		NO <sub>2</sub>		Debu	
	Nilai (µg/m <sup>3</sup> )	Keterangan	Nilai (µg/m <sup>3</sup> )	Keterangan	Nilai (µg/m <sup>3</sup> )	Keterangan
Cukup Sehat	0-80	Luka pada beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan O <sub>2</sub>	0-1130	Sedikit berbau	0-50	Tidak ada efek
Kurang Sehat	81-365	Luka pada beberapa spesies tumbuhan			51-150	Terjadi penurunan pada jarak pandang
Tidak Sehat	366-800	Berbau, Gejala yang mungkin timbul berupa iritasi mata dan gangguan pernapasan ringan	1.131-2.260	Bau dan kehilangan warna. Peningkatan reaktivitas pembuluh tenggorokan pada penderita asma dan bronhitis	151-350	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran debu di mana-mana
Sangat Tidak Sehat	801-1.600	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronkhitis			351-420	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronkhitis
Membahayakan	> 1.600	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar	>2.260	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar	> 420	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar

[Sumber : KEP-107/KABAPEDAL/11/1997]

## 2.4 Dinamika Atmosfer

Dinamika atmosfer merupakan faktor utama yang perlu dipertimbangkan dalam masalah pencemaran udara. Dalam kaitannya dengan pencemaran udara, (KLH, 2009) membagi skala waktu dan ruang atmosfer dalam:

1. Skala Mikro, dengan jangkauan dalam orde sampai dengan satuan kilometer, dan skala waktu dalam satuan detik sampai beberapa menit, skala ini sering disebut skala lokal.
2. Skala Meso, dengan jangkauan kilometer sampai dengan ratusan kilometer, dan dengan skala waktu dari menit sampai beberapa jam. Skala ini disebut juga skala regional. Pergerakan angin yang mempengaruhi atmosferik mulai dari tingkat ini adalah angin geostrofik.
3. Skala makro, dengan jangkauan di atas ribuan kilometer, dan dengan skala waktu lebih besar daripada satu hari. Skala ini disebut juga skala *continental*.

Faktor-faktor yang berperan dalam penyebaran polutan menurut Rahmawati (1999) adalah sebagai berikut:

### (1) Arah dan Kecepatan Angin

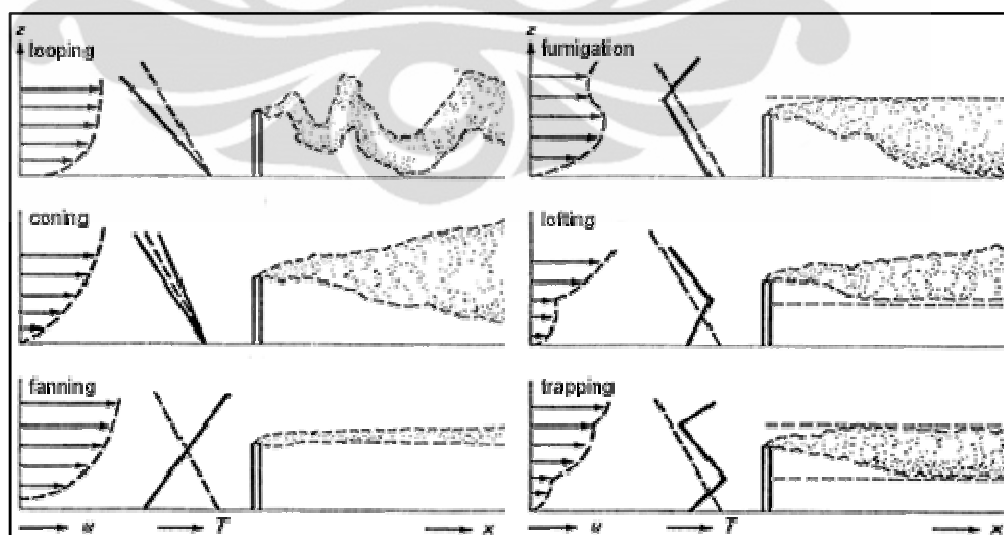
Angin merupakan faktor utama dalam persebaran zat pencemar udara. Angin dapat mengakibatkan suatu zat berpindah tempat. Arah angin dapat digunakan untuk menentukan daerah penerima dispersi zat, sedangkan kecepatan angin dapat digunakan untuk menentukan jangkauan daerah menerima. Kecepatan angin yang lebih tinggi pada suatu tempat dekat pembuangan polutan udara lebih cepat membawa polutan tersebut jauh dari sumbernya, sebaliknya bila kecepatan angin yang rendah akan menyebabkan terkonsentrasinya polutan di sekitar sumber pencemaran dan dapat berlangsung lebih lama pada daerah yang bersangkutan.

### (2) Suhu Udara dan Tutupan Awan

Suhu udara dan tutupan awan dalam proses dispersi zat pencemar akan mempengaruhi stabilitas udara. Gradien perubahan temperature udara akan berpengaruh sangat kuat terhadap kestabilan atmosfer. Pada proses

dispersi stabilitas udara akan mempengaruhi tipe atau bentuk polutan ke daerah penerima. Terdapat beberapa kondisi atmosfer dalam kaitannya dengan stabilitas udara, yaitu kondisi tidak stabil, kondisi stabil, kondisi netral. Kondisi tidak stabil terjadi apabila laju penurunan suhu di lingkungan lebih besar dari laju penurunan suhu udara kering yang sifatnya konstan. Kondisi stabil terjadi bila laju penurunan suhu lingkungan lebih kecil dari laju penurunan suhu udara kering. Kondisi netral terjadi bila laju penurunan suhu lingkungan sama dengan laju penurunan suhu udara kering.

Perbedaan kondisi stabilitas atmosfer dari waktu ke waktu menyebabkan terjadinya perbedaan dalam tipe keputan yang dikeluarkan suatu cerobong asap. Ada 3 tipe keputan asap berdasarkan kondisi stabilitas atmosfer, yaitu tipe keputan *looping* pada kondisi atmosfer tidak stabil, tipe keputan *fanning* pada kondisi stabil, dan tipe keputan *coning* pada kondisi netral. Selain itu, terdapat pola peralihan, yakni tipe keputan *fumigation* yang dikaitkan dengan inversi radiatif yang pada umumnya menghilang menjelang siang, tipe keputan *lofting* tidak terjadi pencampuran ke arah bawah, namun penyebaran ke arah atas dan tipe keputan *trapping* yang terjadi jika inversi paras atau secara fisis menjerat gas buang dalam lapisan udara permukaan (Wahono, 2003).



[Sumber: <http://air-dispersion.com/> ]

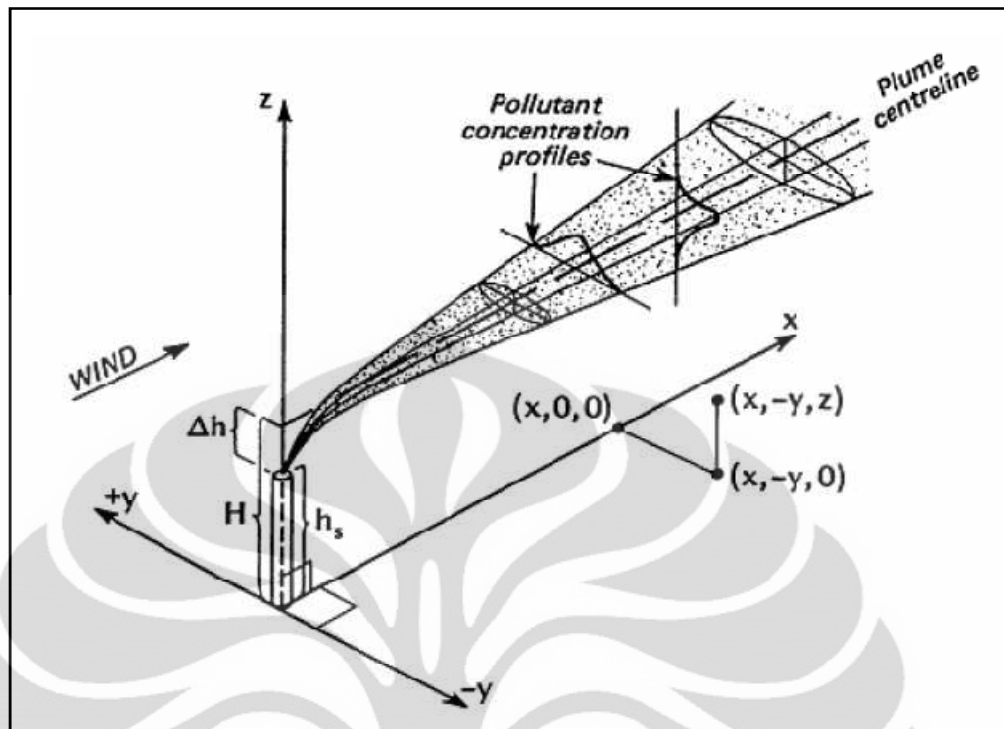
Gambar 2.5. Tipe-tipe Kepulan Asap Cerobong

## 2.5 Model Dispersi Gaussian

Model dispersi Gaussian merupakan salah satu model perhitungan yang banyak digunakan untuk mensimulasikan pengaruh emisi terhadap kualitas udara. Model Gaussian merupakan bentuk persamaan matematika yang dapat dimasukkan ke dalam perhitungan variabel yang bersifat fisik dan diberikan informasi yang lebih detail mengenai sumber polutan pada suatu daerah yang diteliti (Bakar, 2006).

Menurut Faridha (2004) bahwa penyebaran emisi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik yang berkapasitas besar (cerobong gas buang 70-200 meter) dikategorikan sebagai emisi sumber titik, sedangkan yang mempunyai ketinggian cerobong gas buang dibawah 42 meter dikategorikan sebagai emisi sumber luasan. Pendekatan yang dipakai untuk sumber titik dengan menggunakan modifikasi fungsi Gaussian dengan menggunakan 3 parameter yaitu sumber emisi, meteorologi, dan topografi. Asumsi yang digunakan :

1. Sumber emisi menghasilkan material secara kontinyu;
2. Karakteristik arah angin adalah homogen secara vertikal atau horizontal dan kecepatan rata-ratanya tidak berubah;
3. Transformasi kimia dan fisika di atmosfer tidak diperhitungkan;
4. Kobaran gas buang direfleksikan pada permukaan tetapi tanpa absorpsi dan deplesi;
5. Semua variabel konstan (kondisi *steady state*);
6. Permukaan datar; dan
7. Sumbu x sejajar dengan arah angin perhitungan penyebarannya.



[Sumber : Air pollution dispersion modeling for implementation in Jakarta Indonesia: A literature review (2007:6)]

Gambar 2.6. Model Dispersi Gaussian

Penggunaan Model Gaussian dalam memperhitungkan konsentrasi dan deposisi polutan akibat emisi sumber polutan titik didasarkan pada pertimbangan salah satunya adalah model asap Gaussian hanya membutuhkan data meteorologi angin yaitu arah dan kecepatan angin di cerobong saja. Bila memakai model lain akan menemui kesulitan dalam mencari data profil vertikal arah angin dan fluktuasinya yang lengkap (Faridha, 2004).

Sampai saat ini, Model Gaussian tetap dianggap paling tepat untuk melukiskan secara matematis pola 3 dimensi dari perjalanan semburan (*plume*) emisi. Dari sumbernya, emisi polutan akan bergerak sebagai *plume* mengikuti arah angin, dan menyebar ke arah samping dan vertikal. Konsentrasi polutan akan lebih tinggi di garis tengah *plume* dan rendah di daerah-daerah tepi *plume*. Semakin ke tepi, konsentrasi semakin rendah. Jika diamati, distribusi konsentrasi *plume* memiliki bentuk yang sama dengan kurva distribusi normal atau kurva Gaussian. Formula perhitungan  $\Delta C$  yang mengikuti model Gaussian ini dikembangkan pertama kali oleh Sir Graham Sutton di tahun 1947.

$$C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{1}{2} \left[ \frac{y}{\sigma_y} \right]^2 \exp - \frac{1}{2} \frac{z-He^2}{\sigma_z} + \exp - \frac{1}{2} \frac{z+He^2}{\sigma_z} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

C = konsentrasi polutan udara dalam massa per volume (mg/m<sup>3</sup>)

Q = Laju emisi polutan dalam massa per waktu (mg/detik)

Us = Kecepatan angin di titik sumber (m/detik)

$\sigma_y$  = Koefisien dispersi secara horizontal terhadap sumbu x (m)

$\sigma_z$  = Koefisien dispersi secara vertikal terhadap sumbu x (m)

$\pi$  = Konstanta matematika untuk phi (3,1415926... = 3,14)

He = Tinggi efektif *stack* (cerobong) di pusat kepulan (m)

Y = Jarak pengamatan sejajar dengan sumbu-y dari sumber emisi (m)

## 2.6 Pola Spasial Pencemaran Udara

### 2.6.1 Pola Spasial

Geografi adalah bidang ilmu yang mempelajari berbagai gejala di permukaan bumi dalam perspektif keruangan. Eksistensi ruang dalam geografi dapat dipandang dari struktur (*spatial structure*), pola (*spatial pattern*), dan proses (*spatial processes*). Dalam konteks fenomena keruangan terdapat perbedaan kenampakan, struktur, pola dan proses. Pola merupakan pola persebaran suatu fenomena di ruang muka bumi. Analisis keruangan mencoba menelaah tentang lokasi dan persebaran gejala-gejala di ruang muka bumi. Untuk memperoleh gambaran sesuatu di muka bumi, atau untuk memberikan gambaran tentang sesuatu di muka bumi, alat yang terbaik adalah peta (Sandy, 1973).

Dalam analisis keruangan perlu dilakukan pengwilayahan. Wilayah pada hakekatnya menyangkut sebagian dari muka bumi yang batasnya ditetapkan atas dasar kriteria tertentu. Salah satu cara untuk melakukan pengwilayahan adalah dengan interpolasi.

### 2.6.2 Interpolasi Melalui Model Geostatistik

Interpolasi adalah suatu metode atau fungsi matematika yang menduga nilai pada lokasi-lokasi yang datanya tidak tersedia. Interpolasi spasial

mengasumsikan bahwa atribut data bersifat kontinu di dalam ruang (*space*) dan atribut ini saling berhubungan (*dependence*) secara spasial (Anderson dalam Prasasti dkk, 2005). Kedua asumsi tersebut mengindikasikan bahwa pendugaan atribut data dapat dilakukan berdasarkan lokasi-lokasi di sekitarnya dan nilai pada titik-titik yang berdekatan akan lebih mirip dari pada nilai pada titik-titik yang terpisah lebih jauh. Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk melakukan interpolasi seperti *Trend*, *Spline*, *Inverse Distance Weighted* (IDW) dan *Kriging*. Setiap metode ini akan memberikan hasil interpolasi yang berbeda (Pramono, 2008).

Metode geostatistik merupakan salah satu bentuk model yang dapat dipergunakan untuk menginterpolasikan nilai dari suatu variabel yang terdistribusi di dalam ruang. Teknik interpolasi dengan model geostatistik lazim dilakukan untuk memperkirakan suatu nilai yang terdistribusi secara spasial pada titik yang tidak dapat diambil sampel yaitu dengan cara mengukur suatu nilai dari nilai yang berdekatan (Wahono, 2003). Analisis geostatistik merupakan teknik geostatistik yang terfokus pada variabel spasial, yaitu hubungan antara variabel yang diukur pada titik tertentu dengan variabel yang sama diukur pada titik dengan jarak tertentu dari titik pertama.

Metode geostatistik yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode *Kriging*. Metode *Kriging* adalah *estimasi stochastic* yang mirip dengan *Inverse Distance Weighted* (IDW) dimana menggunakan kombinasi linear dari *weight* untuk memperkirakan nilai diantara sampel data. *Kriging* memberi bobot pada ruang di sekitar nilai-nilai yang diukur, untuk memprediksi nilai setiap titik pada lokasi baru. Bobot tidak hanya pada titik-titik yang dievaluasi, melainkan juga titik yang akan diprediksi, dan juga susunan keruangan (*spatial arrangement*) yaitu autokorelasi. Kecepatan perhitungan tergantung dari banyaknya sampel data yang digunakan dan cakupan dari daerah yang diperhitungkan (Fotheringham dkk, 2000).

*Kriging* menggunakan bobot berdasarkan perhitungan statistik data dan bukan bersifat *a-priori* (seperti pada *scoring*) menjadi pembeda kunci antara analisis deterministik dan analisis geostatistik. Tidak seperti metode IDW,

*Kriging* memberikan ukuran *error* dan *confidence*. Metode ini menggunakan *semivariogram* yang merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai diantara semua pasangan sampel data. *Semivariogram* juga menunjukkan bobot (*weight*) yang digunakan dalam interpolasi. *Semivariogram* dihitung berdasarkan sampel *semivariogram* dengan jarak  $h$ , beda nilai  $z$  dan jumlah sampel data  $n$ . Pada jarak yang dekat (sumbu horisontal), *semivariogram* bernilai kecil. Tetapi pada jarak yang lebih besar, *semivariogram* bernilai tinggi yang menunjukkan bahwa variasi dari nilai  $z$  tidak lagi berhubungan dengan jarak sampel *point*. Bobot *kriging* diperoleh dari hasil variansi estimasi minimum dengan memperluas penggunaan *semivariogram*. Estimator *kriging* dapat diartikan sebagai variabel tidak bias dan penjumlahan dari keseluruhan bobot adalah satu. Bobot inilah yang dipakai untuk mengestimasi nilai dari ketebalan, ketinggian, kadar atau variabel lain. Keuntungan dari *kriging*:

1. dapat menangani autokorelasi spasial,
2. tidak sensitif terhadap sampel preferensial di daerah tertentu, dan
3. dapat menggantikan pengambilan sampel bertingkat jika ukuran agregasi lebih besar dari jarak antar-sampel.

Bentuk dasar dari estimasi *kriging*:  $Z^*(\mathbf{u}) - m(\mathbf{u}) = \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha} [Z(\mathbf{u}_{\alpha}) - m(\mathbf{u}_{\alpha})] \dots\dots\dots(2)$

Ket:  $\mathbf{u}, \mathbf{u}_{\alpha}$  = vektor lokasi untuk titik estimasi dan salah satu titik terdekat, diindeks oleh  $\alpha$

$n(\mathbf{u})$  = jumlah titik data dalam lingkungan lokal digunakan untuk estimasi dari  $Z^*(\mathbf{u})$

$m(\mathbf{u}), m(\mathbf{u}_{\alpha})$  = diharapkan nilai-nilai (penting) dari  $Z(\mathbf{u})$  dan  $Z(\mathbf{u}_{\alpha})$

$\lambda_{\alpha}(\mathbf{u})$  = bobot *kriging* digunakan untuk datum  $Z(\mathbf{u}_{\alpha})$  untuk estimasi lokasi  $\mathbf{u}$ ; datum yang sama akan menerima bobot yang berbeda untuk estimasi yang berbeda lokasi (Bohling, 2007).

Jenis *Kriging* yang bisa dilakukan adalah dengan cara *spherical*, *circular*, *exponential*, *Gaussian* dan *linear* (Pramono, 2008). Dalam penelitian ini digunakan jenis *Kriging linear*. *Kriging linear* merupakan penduga dengan bobot kombinasi linear dari data yang tersedia.



## 2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang kualitas udara sudah seringkali dilakukan. Penelitian kualitas udara salah satunya dilakukan oleh Rahmawati (1999) mengenai kualitas udara di DKI Jakarta pada tahun 1997. Penelitian selanjutnya tentang kualitas udara dilakukan oleh Wahono (2003) mengenai kajian dinamika spasial zat pencemar udara di lokasi industri PT. National Gobel. Adapun penelitian lain yaitu tentang persebaran kualitas udara pada wilayah industri MIGAS di PT. PERTAMINA UP VI Balongan oleh Bakar (2006).

Rahmawati (1999) menganalisa pola sebaran polutan udara untuk tiap-tiap musim dan melihat peran faktor kontrol angin dan sebaran bangunan tinggi di DKI Jakarta tahun 1997. Hasil penelitian tersebut menginformasikan pada periode musim yang berbeda akan menghasilkan pola persebaran polutan yang berbeda pula. Hasil penelitian tersebut juga menginformasikan bahwa faktor angin dan bangunan tinggi sangat berpengaruh pada persebaran polutan di kota besar seperti DKI Jakarta.

Penelitian yang dilakukan oleh Wahono (2003) menganalisa arah pergerakan zat pencemar yang dihasilkan oleh cerobong dan menjelaskan tingkat pencemaran udara di lokasi industri PT. National Gobel. Hasil penelitian tersebut menginformasikan pola persebaran zat pada periode pengamatan memiliki arah yang berbeda-beda. Hasil penelitian ini juga menginformasikan bahwa kecepatan angin dapat membantu proses pengenceran zat.

Adapun penelitian Bakar (2006) yang menganalisa persebaran kualitas udara berdasarkan arah dan jarak dari titik sumber dengan menggunakan kriteria Indeks Standar Polutan. Dalam penelitian tersebut juga dideskripsikan persebaran kualitas udara dengan melihat variasi arah dan kecepatan angin yang terjadi di PT.PERTAMINA UP VI Balongan serta dibandingkan persebaran kualitas udara hasil aplikasi model Gaussian dengan pengukuran udara ambien.

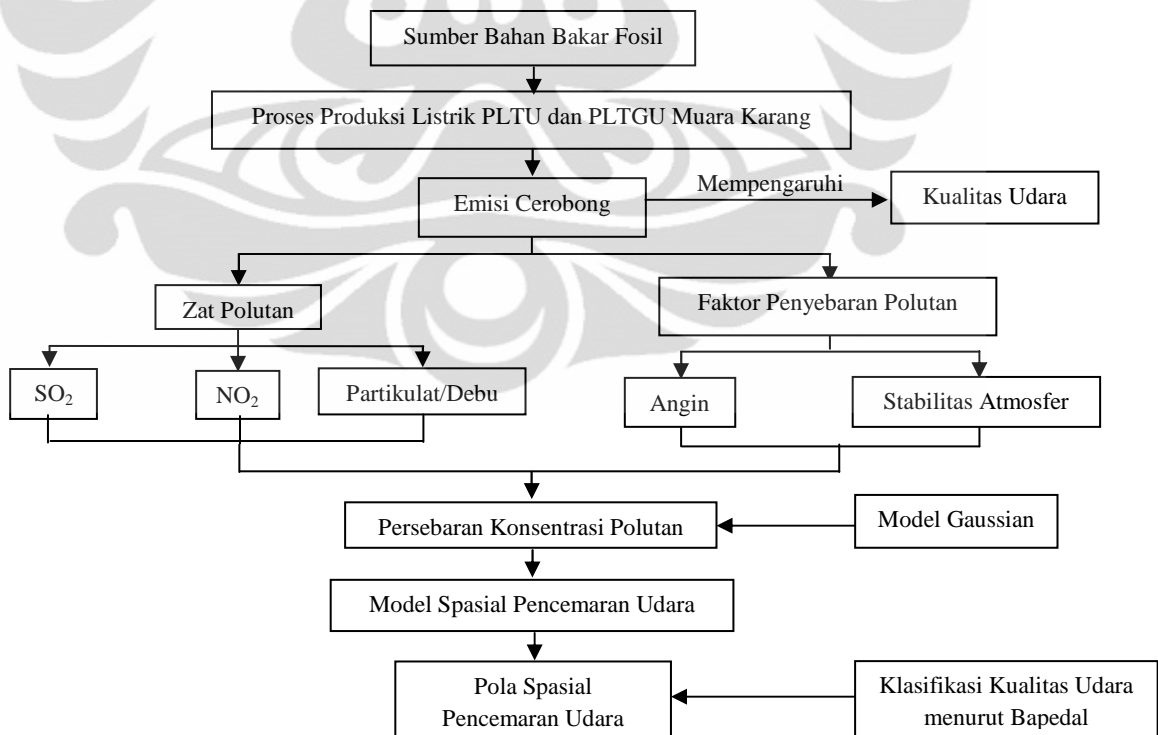
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Daerah Penelitian

Daerah penelitian meliputi lokasi pembangkit listrik PLTU dan PLTGU Muara Karang dan sekitarnya dengan radius 10 km ke barat, timur, utara dan selatan yang secara administrasi terletak di Kota Administrasi Jakarta Utara, Kota Administrasi Jakarta Barat dan Kota Administrasi Jakarta Pusat.

### 3.2 Kerangka Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan pokok permasalahan penelitian, maka arah penelitian dapat dirangkum dalam alur pikir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. Alur pikir tersebut dijadikan pedoman dari apa yang akan dibahas dan diamati dalam penelitian ini. Penelitian ini menggunakan tiga variabel yaitu jumlah polutan, angin dan stabilitas atmosfer. Ketiga variabel tersebut mempengaruhi penyebaran polutan yang berasal dari PLTU dan PLTGU Muara Karang.



Gambar 3.1. Alur Pikir Penelitian

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Konsentrasi zat buang cerobong,
2. Arah angin,
3. Kecepatan angin,
4. Penyinaran matahari,
5. Stabilitas Atmosfer, dan
6. Konsentrasi zat pencemar

### 3.4 Metode Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan antara lain:

1. Konsentrasi zat buang cerobong.

Zat buang cerobong yang menjadi kajian penelitian ini, yaitu parameter debu,  $\text{NO}_2$  dan  $\text{SO}_2$ . Data konsentrasi zat buang diperoleh dari PLTU dan PLTGU Muara Karang yang terdapat dalam Laporan Hasil Pemantauan Pelaksanaan RKL & RPL Tahun 2010.

2. Arah angin.

Data arah angin diperoleh dari stasiun pengamatan meteorologi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika di Kemayoran. Data arah angin yang digunakan adalah data arah angin per jam, dengan tujuan untuk melihat variasi arah angin dan dapat diketahui arah yang mendominasi.

3. Kecepatan angin.

Data kecepatan angin juga diperoleh dari stasiun pengamatan meteorologi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika di Kemayoran. Data kecepatan angin yang digunakan adalah data kecepatan angin per jam, dengan tujuan untuk melihat variasi kecepatan angin dan dapat dirata-ratakan.

4. Penyinaran matahari.

Data penyinaran matahari juga diperoleh dari stasiun pengamatan meteorologi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika di Kemayoran. Karena penyinaran matahari hanya terjadi saat siang,

digunakan juga data tutupan awan dalam penelitian ini. Data penyinaran matahari yang diperoleh berupa lamanya penyinaran per jam. Lama penyinaran akan dikonversi menjadi persen (%) yang menyatakan intensitas radiasi dalam satu jam. Sedangkan untuk data tutupan yang diperoleh adalah jumlah tutupan awan per jam yang terjadi sekitar stasiun pengamatan.

#### 5. Stabilitas Atmosfer.

Stabilitas atmosfer ditentukan berdasarkan penyinaran matahari dan/atau tutupan awan dengan kecepatan angin. Klasifikasi stabilitas atmosfer dapat dilihat pada Tabel 3.1. Ketiga variabel tersebut dinyatakan dalam waktu per jam, maka stabilitas atmosfer yang ditentukan juga dalam waktu per jam. Oleh karena itu, stabilitas atmosfer hanya dilihat yang paling mendominasi saja.

Tabel 3.1 Klasifikasi Stabilitas Atmosfer

Kecepatan Angin (m/dt)	Pagi/Siang Intensitas Sinar Matahari			Malam Keadaan Awan	
	Kuat	Sedang	Lemah	Berawan $\geq 4/8$	Cerah $\leq 3/8$
> 2	A	A - B	B	E	F
2-3	A - B	B	C	E	F
3-5	B	B - C	C	D	E
5-6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

[Sumber: KLH, 2007]

A = sangat tidak stabil

B = sedang

C = sedikit tidak stabil

D = netral

E = agak sedikit stabil

F = stabil

6. Konsentrasi zat pencemar.

Konsentrasi zat pencemar diperoleh dengan menggunakan perhitungan Gaussian. Sebelum melakukan perhitungan, dibuat terlebih dahulu grid pada daerah penelitian dengan ukuran 100x100 m dan diubah menjadi titik *centroid*. Untuk perhitungan teknis terkait emisi cerobong dapat dilihat pada lampiran 3. Perhitungan Gaussian dilakukan untuk mengetahui nilai konsentrasi setiap titik *centroid* grid dengan menggunakan persamaan Model Gaussian sebagai berikut:

$$C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{1}{2} \left[ \frac{y}{\sigma_y} \right]^2 \exp - \frac{1}{2} \frac{z - He^2}{\sigma_z^2} + \exp - \frac{1}{2} \frac{z + He^2}{\sigma_z^2} \dots\dots\dots(3)$$

[Sumber: [KLH](#), 2007]

Dimana:

C = Konsentrasi polutan udara dalam massa per volume (mg/m<sup>3</sup>)

Q = Laju emisi polutan dalam massa per waktu (mg/detik)

U = Kecepatan angin di titik sumber (m/detik)

$\sigma_y$  = Koefisien dispersi secara horizontal terhadap sumbu x (m)

$\sigma_z$  = Koefisien dispersi secara vertikal terhadap sumbu x (m)

$\pi$  = Konstanta matematika untuk phi (3,1415926... = 3,14)

He = Tinggi efektif *stack* (cerobong) di pusat kepulan (m)

Y = Jarak pengamatan sejajar dengan sumbu-y dari sumber emisi (m)

Z = Ketinggian titik pengamatan (vertikal) dari sumber emisi (m)

Rumus  $\sigma_y$  dan  $\sigma_z$  menurut Model ISC EPA

$$\sigma_z = ax^b$$

$$\sigma_y = 465,11628x (\tan \Theta)$$

$$\Theta = 0,017453293 (c-d \ln(x))$$

keterangan:

x = jarak dari titik emisi menurut arah angin (km)

a,b = koefisien tergantung x

$\Theta$  = radian

Tabel 3.2 Koefisien Stabilitas Atmosfer Pasquill

Stabilitas Atmosfer Pasquill	x (km)	a	b
A*	<0,10	122,800	0,94470
	0,10-0,15	158,080	1,05420
	0,16-0,20	170,220	1,09320
	0,21-0,25	179,520	1,12620
	0,26-0,30	217,410	1,26440
	0,31-0,40	258,890	1,40940
	0,41-0,50	346,750	1,72830
	0,51-3,11	453,850	2,11660
	>3,11	**	**
B*	<0,20	90,673	0,93198
	0,21-0,40	98,483	0,98332
	>0,40	109,300	1,09710
C*	Semua	61,141	0,91465
D	<0,30	34,459	0,86974
	0,31-1,00	32,093	0,81066
	1,01-3,00	32,093	0,64403
	3,01-10,00	33,504	0,60486
	10,01-30,00	36,650	0,56589
	>30,00	44,053	0,51179
E	<0,10	24,260	0,83660
	0,10-0,30	23,331	0,81956
	0,31-1,00	21,628	0,75660
	1,01-2,00	21,628	0,63077
	2,01-4,00	22,534	0,57154
	4,01-10,00	24,703	0,50527
	10,01-20,00	26,970	0,46713
	20,01-40,00	35,420	0,37615
>40,00	47,618	0,29592	
F	<0,20	15,209	0,81558
	0,21-0,70	14,457	0,78407
	0,71-1,00	13,953	0,68465
	1,01-2,00	13,953	0,63227
	2,01-3,00	14,823	0,54503
	3,01-7,00	16,187	0,46490
	7,01-15,00	17,836	0,41507
	15,01-30,00	22,651	0,32681
	30,01-60,00	27,074	0,27436
>60,00	34,219	0,21716	

[Sumber: <http://air-dispersion.com/> ]

Keterangan :

\* = Jika hasil perhitungan dari  $\sigma_z$  melebihi 5.000 m,  $\sigma_z$  diubah menjadi 5.000 m

\*\* =  $\sigma_z$  sama dengan 5.000 m

(lanjutan Tabel 3.2)

Stabilitas Atmosfer Pasquill	c	d
A	24,1670	2,5334
B	18,3330	1,8096
C	12,5000	1,0857
D	8,3330	0,72382
E	6,2500	0,54287
F	4,1667	0,36191

Kecepatan angin di titik sumber menggunakan rumus: 
$$U_s = U_{10} \left( \frac{H_s}{10} \right)^n \dots(4)$$

Ket :  $U_s$  = kecepatan angin pada ketinggian cerobong (m/dt)

$U_{10}$  = kecepatan angin pada ketinggian 10 m (m/dt)

$H_s$  = tinggi cerobong (m)

n = konstanta = 0.25 untuk angin tidak stabil, n = 0.50 untuk angin yang stabil

Nilai  $H_e$  (tinggi efektif) dapat diketahui menggunakan persamaan berikut ini: 
$$H_e = H_s + \Delta h \dots(5)$$

Atau 
$$H_e = H_s + \left( 3d \frac{V_s}{U_s} \right) \dots(6)$$

Dimana :  $H_s$  = Tinggi cerobong (m)

$\Delta h$  = Tinggi kepulan (m)

d = Diameter cerobong (m)

$V_s$  = Kecepatan aliran gas dalam cerobong (m/dt)

$U_s$  = Kecepatan angin pada ketinggian cerobong (m/dt)

### 3.5 Metode Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya diolah menggunakan *software ArcView 3.3* untuk menghasilkan peta-peta sebagai berikut:

#### 1. Peta daerah penelitian.

Peta daerah penelitian dibuat dengan cara men-*digit* citra Google Earth untuk mendapatkan wilayah PLTU dan PLTGU Muara Karang yang kemudian ditampilkan dengan Peta Rupa Bumi dari Bakosurtanal dengan skala 1 : 25.000 dalam bentuk *shape file* dengan program

*ArcView 3.3*, serta dibuat grid ukuran 10x10 km untuk membatasi daerah penelitian dan kemudian dilakukan interpretasi.

2. Peta jumlah penduduk di daerah penelitian.

Peta jumlah penduduk dibuat dengan cara memasukkan data jumlah penduduk menurut kecamatan yang telah diperoleh dari BPS ke dalam Peta Rupa Bumi dari Bakosurtanal dalam bentuk *shape file* dengan program *ArcView 3.3*, dan diklasifikasikan menjadi 5 (lima) klasifikasi dan kemudian dilakukan interpretasi.

3. Peta kepadatan penduduk di daerah penelitian.

Peta kepadatan penduduk dibuat dengan cara memasukkan data kepadatan penduduk menurut kecamatan yang telah diperoleh dari BPS ke dalam Peta Rupa Bumi dari Bakosurtanal dalam bentuk *shape file* dengan program *ArcView 3.3*, dan diklasifikasikan menjadi 5 (lima) klasifikasi yaitu, sangat jarang, jarang, sedang, padat dan sangat padat dan kemudian dilakukan interpretasi.

4. Peta penggunaan tanah daerah penelitian.

Peta penggunaan tanah daerah penelitian diperoleh dari Peta Penggunaan Tanah Tahun 2009 yang berasal dari BPN skala 1:25.000 dalam bentuk *shape file* dan kemudian dilakukan interpretasi ulang untuk menentukan jenis penggunaan tanah.

5. Peta *windrose* Bulan Juni dan Desember.

Mengelompokkan frekuensi kejadian angin berdasarkan arah dan kecepatan angin untuk diketahui distribusi delapan arah mata angin, sehingga akan didapatkan distribusi arah angin utama (*downwind*). Data yang dipilih yaitu data angin selama 3 hari pada bulan Juni untuk musim hujan dan data angin selama 3 hari pada bulan Desember untuk musim kemarau. Ini bertujuan untuk melihat perbedaan arah dan kecepatan angin saat musim hujan dengan saat musim kemarau. Frekuensi kumulatif kejadian angin digunakan untuk membuat diagram *windrose* selama periode pengukuran. Diagram *windrose* dibuat dengan perangkat lunak *WRPLOT View* dan kecepatan angin diklasifikasikan menjadi tiga. Diagram *windrose* yang telah dibuat



ditampilkan bersama peta daerah penelitian dengan menampilkan titik stasiun meteorologi BMKG.

6. Peta model spasial pencemaran udara PLTU dan PLTGU Muara Karang parameter debu,  $\text{NO}_2$  dan  $\text{SO}_2$ .

Peta model spasial pencemaran udara dibuat berdasarkan hasil perhitungan (nilai konsentrasi (C)) Gaussian dengan menggunakan persamaan Model Gaussian (persamaan (1)) pada setiap *centroid* dari grid ukuran 100x100 m dengan menggunakan *software Ms.Office Excel 2007* dan hasil perhitungan Gaussian dimasukkan ke dalam peta daerah penelitian menggunakan *software Arc View 3.3*, lalu diinterpolasi menggunakan *Extention Spatial Analys* dengan metode *Kriging Linear*. metode IDW (*Inverse Distance Weighted*) pada menu *interpolated grid*, kemudian dibuat kontur isokonsentrasi.

7. Peta wilayah dampak pencemaran udara berdasarkan model spasial.

Peta wilayah dampak pencemaran udara dibuat berdasarkan overlay peta model spasial pencemaran udara ketiga parameter pada setiap waktu pengamatan dan kemudian ditampilkan dengan peta penggunaan tanah dalam bentuk *shape file* menggunakan *software Arc View 3.3* dan kemudian dilakukan interpretasi.

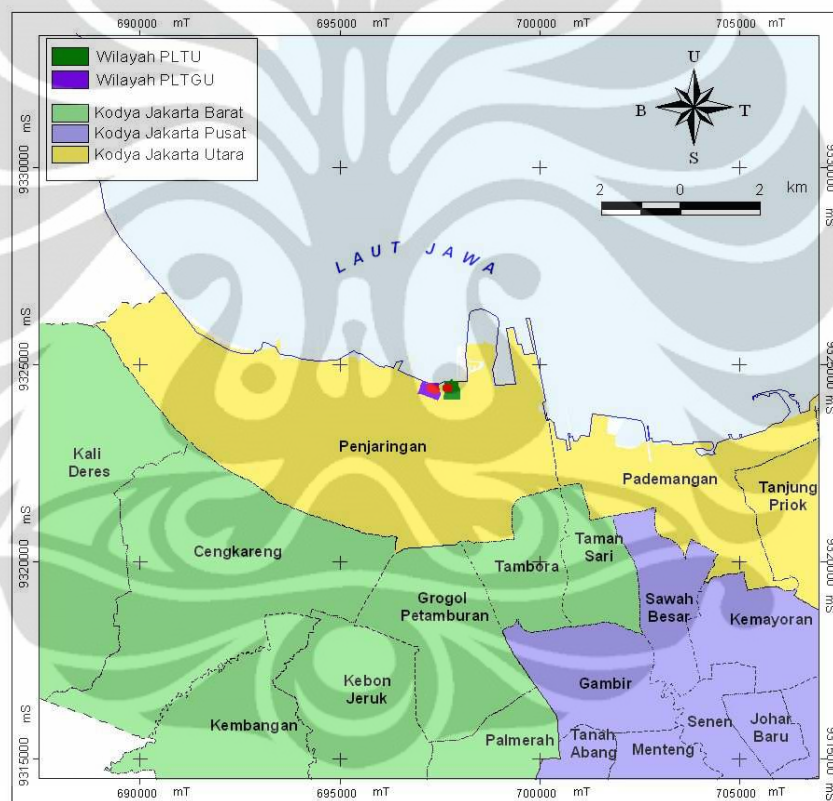
### 3.6 Analisis Data

Penelitian mengkaji data-data yang sudah diolah secara spasial kemudian dianalisis lebih lanjut untuk dapat menjawab pertanyaan penelitian. Metode analisis yang digunakan adalah analisis keruangan masing-masing peta model spasial pencemaran udara pada waktu yang berbeda dan dikaitkan dengan variabel penelitiannya. Dengan analisis keruangan dapat dijelaskan perbedaan pencemaran udara pada musim kemarau dan musim hujan dengan melihat variabel arah dan kecepatan angin serta stabilitas atmosfer.

## BAB IV FAKTA WILAYAH

### 4.1 Letak Daerah Penelitian

Lokasi pembangkit listrik PLTU dan PLTGU Muara Karang terletak di Jl. Raya Pluit Utara No. 2A Jakarta Utara Propinsi DKI Jakarta. Secara administratif lokasi PLTU dan PLTGU Muara Karang termasuk ke dalam wilayah Kelurahan Pluit, Kecamatan Penjaringan.



[Sumber: RBI Bakosurtanal 2009; Hasil Survey 2011; Pengolahan Data 2011]

Gambar 4.1. Daerah Penelitian

Daerah penelitian meliputi lokasi pembangkit listrik PLTU dan PLTGU Muara Karang dan sekitarnya dengan radius 10 km ke barat, timur, utara dan selatan (lihat Gambar 4.1). Daerah penelitian mencakup Kota Administrasi Jakarta Utara bagian barat, hampir seluruh Kota Administrasi Jakarta Barat dan hampir seluruh Kota Administrasi Jakarta Pusat. Secara geografis daerah penelitian ini terletak  $106^{\circ} 41' 31,56'' - 106^{\circ} 52' 37,2''$  BT dan antara  $6^{\circ} 1' 6,25'' - 6^{\circ} 12' 3,6''$

LS. Daerah penelitian berbatasan dengan Laut Jawa di sebelah utara, Kota Tangerang dan Kabupaten Tangerang di sebelah barat, sedangkan di sebelah timur berbatasan dengan Kota Administrasi Jakarta Utara yaitu Kecamatan Tanjung Priok, di sebelah selatan berbatasan dengan Kota Administrasi Jakarta Selatan.

## **4.2 Topografi**

Ketinggian daerah penelitian 0-2 m dpl, sebagian kecil dari Kota Administrasi Jakarta Utara ketinggiannya ada yang di bawah permukaan laut dimana sebagian besar terdiri dari rawa-rawa/ empang air. Jadi dilihat dari keadaan topografinya, daerah penelitian dapat dikategorikan sebagai daerah datar.

## **4.3 Meteorologi**

Berdasarkan data meteorologis yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik tahun 2009, pada wilayah Jakarta Utara diwakili dengan Stasiun Meteorologi Maritim Klas I Tanjung Priok diketahui bahwa suhu udara rata-rata sebesar  $28,7^{\circ}$  C dengan suhu udara maksimum sebesar  $35,9^{\circ}$  C dan suhu udara minimum sebesar  $25^{\circ}$  C. Curah hujan rata-rata pada tahun 2009 di Jakarta Utara sebesar  $1631,2 \text{ mm}^3$ , sedangkan penyinaran matahari rata-rata setahun sebesar 47.1%. Kelembaban udara Jakarta Utara rata-rata sebesar 74,7% dengan maksimum 93% dan minimum 60%. Kecepatan angin yang bertiup di wilayah Jakarta utara sebesar 4,79 knot, serta tekanan udaranya sebesar 1009,9 mb.

## **4.4 Bangunan di PLTU dan PLTGU Muara Karang**

PLTU dan PLTGU Muara Karang dinamakan dengan PT. PJB UP Muara Karang. PLTU dan PLTGU Muara Karang dipisahkan oleh Sungai Karang. Luas PLTU Muara Karang sekitar 17 ha yang terdiri dari 5 ha untuk bangunan sentral dan 12 ha untuk non-bangunan. Sedangkan luas PLTGU Muara Karang sekitar 16,1 ha yang terdiri dari 3,5 ha untuk bangunan sentral dan 12,6 ha untuk non-bangunan.

PLTU Muara Karang mempunyai 5 unit pembangkit, yang pembangunannya dibagi dalam dua tahap. Untuk tahap pertama pembangunan unit 1, unit 2 dan unit 3, sedangkan pembangunan tahap kedua untuk unit 4 dan unit 5. Tahap pertama mulai dibangun pada bulan November 1973 dan dilanjutkan dengan pembangunan tahap kedua. Pembangunan PLTU Muara Karang dilaksanakan oleh konsultan CHASS T. MAIN dan dilengkapi oleh hasil studi lebih lanjut oleh konsultan BLACK & VEATCH INTERNATIONAL.

Total kapasitas terpasang adalah sebesar 700 MW yang terdiri dari lima unit:

1. Unit 1 : 100 MW, mulai beroperasi pada 20 Januari 1979
2. Unit 2 : 100 MW, mulai beroperasi pada 28 Februari 1979
3. Unit 3 : 100 MW, mulai beroperasi pada 28 Juni 1979
4. Unit 4 : 200 MW, mulai beroperasi pada 26 November 1981
5. Unit 5 : 200 MW, mulai beroperasi pada 7 Juni 1982

Tetapi sekarang hanya tersisa Unit 4 dan Unit 5, karena Unit 1, 2 dan 3 sudah tidak bisa beroperasi lagi. Maka PLTU Muara Karang sekarang hanya mempunyai dua cerobong yaitu Unit 4 dan Unit 5.

Wilayah PLTU Muara Karang terdiri dari Unit 4, Unit 5, *transformer area*, enam buah tangki bahan bakar (empat tangki menyimpan minyak residu dengan kapasitas 2 x 19000 kiloliter dan 2 x 23000 kiloliter serta dua tangki menyimpan minyak solar dengan kapasitas 2x250 kiloliter), *switch yard area*, gudang, kantor dan sebagainya. Setiap unit terdapat sebuah cerobong yang berfungsi sebagai alat untuk membuang emisi ke atmosfer. Cerobong dibuat cukup tinggi untuk mendapatkan distribusi penyebaran gas buang secara luas.

PLTGU Muara Karang mempunyai kapasitas terpasang 508 MW. PLTGU Muara Karang terdiri dari 3 unit PLTG, 3 unit HRSG dan 1 unit PLTU. Daya listrik yang dihasilkan unit PLTU sebesar 50% dari daya unit PLTG, karena daya turbin uap unit PLTU tergantung dari banyaknya gas buang unit PLTG. 3 unit PLTG antara lain GTG 1.1, GTG 1.2 dan GTG 1.3, sedangkan 3 unit HRSG antara lain HRSG 1.1, HRSG 1.2 dan HRSG 1.3. Tetapi yang dikaji dalam penelitian ini adalah cerobong unit HRSG karena cerobong unit PLTG tidak

membuang gas buang ke udara tetapi gas buang PLTG mempunyai temperatur yang masih tinggi dan dapat digunakan untuk memanaskan air di HRSG unit PLTU dengan tidak menggunakan bahan bakar tambahan.

Wilayah PLTGU Muara Karang terdiri dari *Steam Turbin*, Bengkel, Unit 1.1, Unit 1.2, Unit 1.3, tiga buah Tangki Air, Cooling Water Pump, *Switch Yard Area*, *Monitor Room*, *Desalination*, kantor, gudang, lapangan sepakbola, dan sebagainya. Di PLTGU Muara Karang tidak terdapat tangki bahan bakar. Tangki bahan bakar untuk kegiatan PLTGU terletak di wilayah PLTU Muara Karang yang dialirkan melalui pipa bawah tanah.

Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTU dan PLTGU Muara Karang disalurkan ke GI (Gardu Induk) Angke I, GI Angke II, GI Petukangan I, GI Petukangan II, GI Duri Kosambi I dan GI Duri Kosambi II melalui jaringan kawat Tegangan Tinggi 150 kV. Dengan total daya terpasang 1.208,58 MW, UP Muara Karang berperan utama dalam memenuhi kebutuhan listrik Ibukota Jakarta, terutama daerah-daerah VVIP seperti Istana Presiden, Gedung MPR/DPR. Setiap tahunnya energi listrik yang dibangkitkan 5.569,06 GWh yang kemudian disalurkan melalui Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500/150 kV ke sistem interkoneksi Jawa Bali.

Cerobong yang menjadi fokus penelitian saya ada lima buah yaitu cerobong PLTU Muara Karang unit 4 dan unit 5, serta cerobong PLTGU HRSG 1.1, HRSG 1.2 dan HRSG 1.3. Koordinat cerobong-cerobong dapat dilihat pada Tabel 4.1 :

Tabel 4.1. Lokasi Koordinat Cerobong Sumber Pencemar Udara

No	Nama Cerobong	Koordinat Bujur	Koordinat Lintang
1	Cerobong PLTU Unit 4	106°47.193' BT	6°6.571' LS
2	Cerobong PLTU Unit 5	106°47.190' BT	6°6.621' LS
3	Cerobong PLTGU Unit HRSG 1.1	106°47.973' BT	6°6.573' LS
4	Cerobong PLTGU Unit HRSG 1.2	106°47.012' BT	6°6.591' LS
5	Cerobong PLTGU Unit HRSG 1.3	106°47.017' BT	6°6.587' LS

[Sumber : Laporan RKL dan RPL PT.PJB UP Muara Karang, 2010 dan Ploting di Google Earth, 2011]

#### 4.5 Jumlah dan Kepadatan Penduduk

Daerah penelitian yang secara administrasi mencakup Jakarta Utara, Jakarta Barat dan Jakarta Pusat. Berdasarkan hasil pencacahan Sensus Penduduk (SP) 2010 (lihat Tabel 4.2), jumlah Penduduk di daerah penelitian paling besar terdapat di Kecamatan Cengkareng dan paling kecil terdapat di Kecamatan Menteng. Sedangkan kepadatan penduduk di daerah penelitian paling besar terdapat di Kecamatan Johar Baru dan paling rendah terdapat di Kecamatan Penjaringan. Kecamatan Penjaringan merupakan kecamatan dimana PLTU dan PLTGU Muara Karang berlokasi.

Tabel 4.2. Jumlah dan Kepadatan Penduduk di Daerah Penelitian Tahun 2010

Kota Administrasi	Kecamatan	Jumlah Penduduk (jiwa)	Kepadatan Penduduk (jiwa/km <sup>2</sup> )
Jakarta Pusat	Cempaka Putih	83.848	17.969
	Gambir	79.982	10.675
	Johar Baru	116.359	49.134
	Kemayoran	215.042	28.499
	Menteng	67.269	10.391
	Sawah Besar	100.191	18.701
	Senen	90.890	20.891
	Tanah Abang	145.302	14.473
Jakarta Barat	Cengkareng	510.798	19.881
	Grogol Petamburan	223.256	20.492
	Kalideres	394.214	13.720
	Kebon jeruk	333.423	19.444
	Kembangan	272.080	10.669
	Palmerah	198.975	27.006
	Taman sari	109.686	24.579
	Tambora	236.393	43.638
Jakarta Utara	Cilincing	371.376	8.996
	Kelapa Gading	154.568	9.586
	Koja	288.226	25.080
	Pademangan	149.596	12.328
	Penjaringan	306.351	8.628
	Tanjung Priok	375.195	16.798

[Sumber : Hasil SP 2010]

Jumlah penduduk Kota Administrasi Jakarta Pusat adalah 898.883 orang, yang terdiri atas 452.852 laki-laki dan 446.031 perempuan. Dari hasil SP2010 diketahui bahwa jumlah penduduk Kota Administrasi Jakarta Pusat terbesar terdapat di Kecamatan Kemayoran dengan 215.042 jiwa, sedangkan jumlah penduduk terendah terdapat di Kecamatan Menteng dengan 67.269 jiwa. Sedangkan kepadatan penduduk paling tinggi berada pada Kecamatan Johar Baru dengan 49.134 jiwa/km<sup>2</sup> dan kepadatan penduduk paling rendah terdapat pada Kecamatan Menteng juga dengan 10.391 jiwa/km<sup>2</sup>. Hal ini mengasumsikan bahwa Kecamatan Menteng memiliki permukiman yang jarang.

Jumlah penduduk Kota Administrasi Jakarta Barat adalah 2.278.825 orang, yang terdiri atas 1.162.379 laki-laki dan 1.116.446 perempuan. Dari hasil SP2010 dapat diketahui bahwa jumlah penduduk Kota Administrasi Jakarta Barat terbesar terdapat di Kecamatan Cengkareng dengan 510.798 jiwa, sedangkan jumlah penduduk terendah terdapat di Kecamatan Taman Sari dengan 109.686 jiwa. Sedangkan kepadatan penduduk paling tinggi berada pada Kecamatan Tambora dengan 43.638 jiwa/km<sup>2</sup> dan kepadatan penduduk paling rendah terdapat pada Kecamatan Kembangan dengan 10.669 jiwa/km<sup>2</sup>.

Jumlah penduduk Kota Administrasi Jakarta Utara adalah 1.643.512 orang, yang terdiri atas 824.159 laki-laki dan 821.153 perempuan. Berdasarkan hasil Sensus Penduduk Tahun 2010 diketahui bahwa jumlah penduduk Kota Administrasi Jakarta Utara terbesar terdapat di Kecamatan Tanjung Priok dengan 375.195 jiwa, sedangkan jumlah penduduk terendah terdapat di Kecamatan Pademangan dengan 149.596 jiwa. Sedangkan kepadatan penduduk paling tinggi berada pada Kecamatan Koja dengan 25.080 jiwa/km<sup>2</sup> dan kepadatan penduduk paling rendah terdapat pada Kecamatan Penjaringan dengan 8.628 jiwa/km<sup>2</sup>.

#### **4.6 Penggunaan Tanah**

Penggunaan tanah yang terdapat di daerah penelitian antara lain industri, jasa/komersial, tanah kosong, permukiman, pertanian, ruang terbuka dan lain-lain. Penggunaan tanah yang paling dominan adalah permukiman. Untuk Kota

Administrasi Jakarta Barat luas permukiman mencapai 6.585 hektar, sedangkan untuk Kota Administrasi Jakarta Pusat luas permukiman sekitar 2.483 hektar dan untuk Jakarta Utara luas permukiman sekitar 2.434 hektar. Di Kota Administrasi Jakarta Barat penggunaan tanah yang paling luas kedua adalah pertanian yaitu seluas 1.152 hektar. Sedangkan untuk Kota Administrasi Jakarta Pusat, selain permukiman penggunaan tanah yang paling luas adalah jasa/komersial dengan luas 871 hektar. Hal ini menunjukkan bahwa Kota Administrasi Jakarta Pusat merupakan pusat kegiatan manusia seperti pemerintahan, perkantoran, perdagangan dan lain-lain. Untuk lebih jelasnya mengenai penggunaan tanah di daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.3 (lihat juga Gambar 4.2) sebagai berikut:

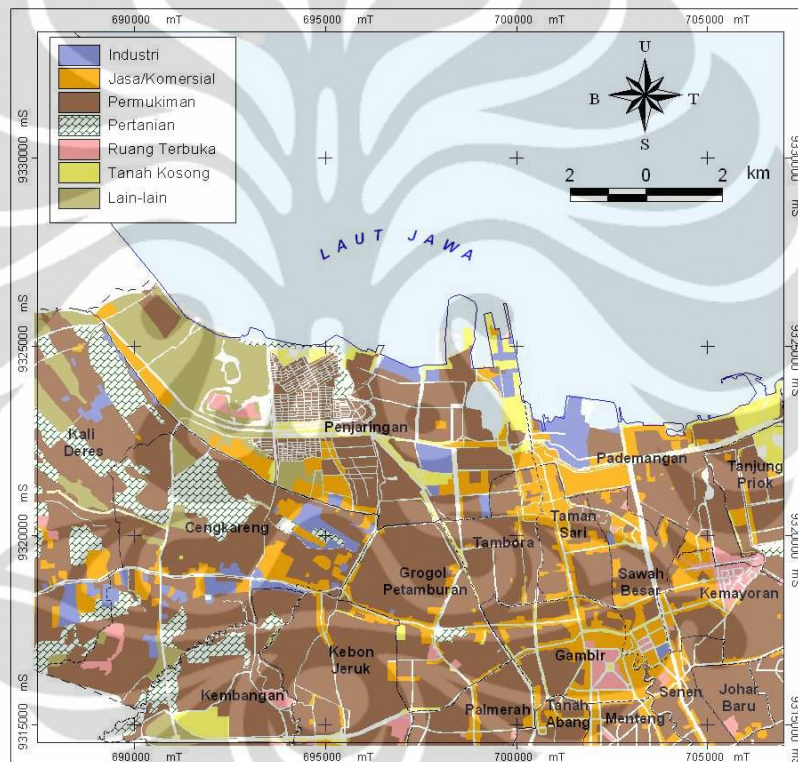
Tabel 4.3. Penggunaan Tanah Daerah Penelitian

Kota Administrasi	Penggunaan Tanah	Luas (ha)
Jakarta Barat	Industri	320
	Jasa/Komersial	804
	Tanah Kosong	125
	Permukiman	6.585
	Pertanian	1.152
	Ruang Terbuka	121
	Lain-lain	463
Jakarta Pusat	Industri	12
	Jasa/Komersial	871
	Tanah Kosong	27
	Permukiman	2.483
	Pertanian	4
	Ruang Terbuka	206
	Lain-lain	26
Jakarta Utara	Industri	298
	Jasa/Komersial	630
	Tanah Kosong	447
	Permukiman	2.434
	Pertanian	78
	Ruang Terbuka	34
	Lain-lain	724

[Sumber: BPN Tahun 2009]



Industri di Kota Administrasi Jakarta Utara memiliki luas 298 hektar. Wilayah PLTU dan PLTGU Muara Karang termasuk ke dalam penggunaan tanah industri. Di Kota Administrasi Jakarta Utara selain permukiman, penggunaan tanah yang luas adalah penggunaan tanah lainnya seperti rawa-rawa, hutan bakau dan lain-lain dengan luas mencapai 724 hektar. Hal ini dipengaruhi oleh letak Jakarta Utara yang berbatasan dengan laut. Penggunaan tanah berupa rawa-rawa dan hutan bakau terletak di Kota Administrasi Jakarta Utara bagian barat yaitu di Kelurahan Kamal Muara, Kecamatan Penjaringan.



[Sumber : BPN 2009]

Gambar 4.2. Penggunaan Tanah di Daerah Penelitian

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Parameter Emisi

Berdasarkan pengukuran emisi yang telah dilakukan oleh BBTKL-PPM (Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pemberantasan Penyakit Menular) terdapat beberapa zat pencemar yang dilepaskan oleh cerobong baik yang ada di PLTU maupun PLTGU Muara Karang. Zat pencemar terukur antara lain SO<sub>2</sub> (Sulfur Dioksida), NO<sub>x</sub> (Nitrogen Oksida) dan Partikulat/ debu. Ketiga zat pencemar tersebut dapat membahayakan kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya jika kadarnya melebihi baku mutu. Hasil pengukuran emisi selengkapnya disajikan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pengukuran Emisi Cerobong di PLTU dan PLTGU

Parameter	Nilai Parameter Emisi pada Cerobong				
	PLTGU 1.1	PLTGU 1.2	PLTGU 1.3	PLTU unit 4	PLTU unit 5
Tinggi (Hs), meter	45	45	45	107	107
Diameter (D), meter	5,4	5,4	5,4	4	4
Suhu Gas <i>Out</i> (Ts), K	398	398	398	398	398
Kecepatan Lepasn Emisi (Vs), m/dt	114,28	117,8	110,35	37,64	35,7
Konsentrasi SO <sub>2</sub> terukur, (mg/Nm <sup>3</sup> )	55,7	87,64	77,55	184,23	157,51
Konsentrasi NO <sub>2</sub> terukur, (mg/Nm <sup>3</sup> )	93,26	78,91	137,22	227,47	148,05
Konsentrasi debu terukur, (mg/Nm <sup>3</sup> )	19,8	29,88	12,6	22,93	25,72
Jam Operasi (Op Hours), jam/tahun	8011,12	2155,37	7271,8	4131,75	5038,6

[Sumber: Laporan Hasil Pemantauan Pelaksanaan RKL & RPL Triwulan IV 2010 PT.PJB UP Muara Karang]

Dalam KepGub No.670/2000 telah ditetapkan Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Propinsi DKI Jakarta. Nilai baku mutu emisi untuk SO<sub>2</sub> adalah 750 mg/m<sup>3</sup>, NO<sub>x</sub> adalah 850 mg/m<sup>3</sup> dan Partikulat/ debu adalah 150 mg/m<sup>3</sup>. Emisi yang dihasilkan oleh PLTU dan PLTGU Muara Karang masih di bawah baku mutu. Hasil pengukuran emisi yang telah diperoleh akan dihitung menjadi data parameter emisi yang dapat dimasukkan ke dalam Model Dispersi

Gaussian untuk mengetahui konsentrasi pencemar di sekitar wilayah Pembangkit Listrik Muara Karang.

## 5.2 Parameter Meteorologi

Data meteorologi yang diambil yaitu tiga hari pada bulan Juni untuk mewakili musim kemarau dan tiga hari pada bulan Desember untuk mewakili musim hujan. Data meteorologi yang diambil antara lain data angin meliputi arah dan kecepatannya, data suhu udara, data penyinaran matahari, dan tutupan awan. Untuk melakukan perhitungan dispersi Gaussian, diambil arah dan kecepatan angin dominan yang terjadi dalam satu hari. Sedangkan data penyinaran matahari dan tutupan awan digunakan untuk menentukan stabilitas atmosfer pada hari tersebut. Data meteorologi lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 2. Sedangkan data meteorologi yang digunakan untuk perhitungan disajikan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Parameter Meteorologi

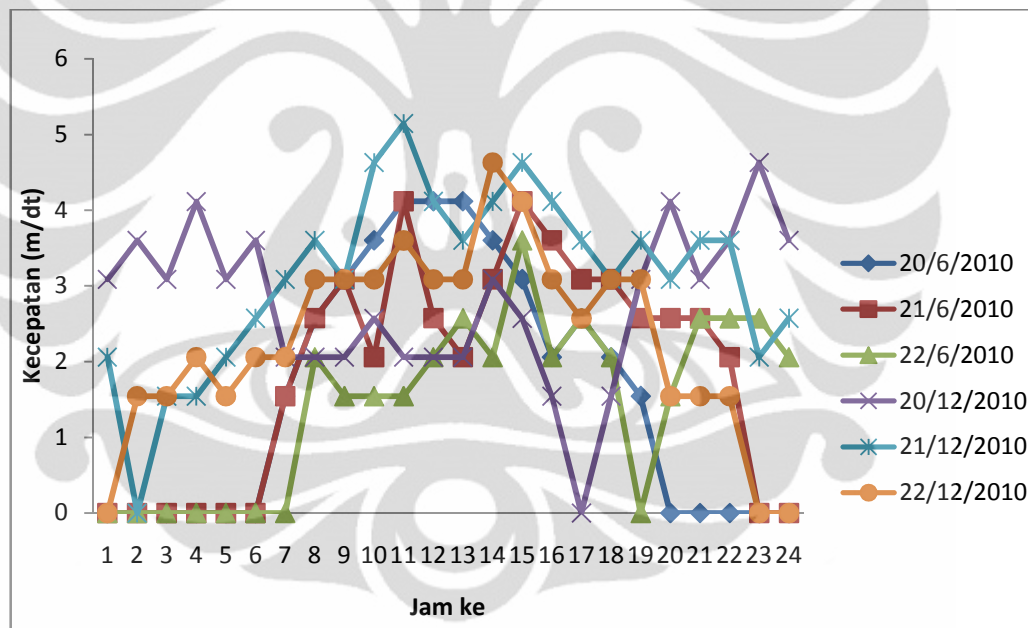
Parameter	Juni			Desember		
	20	21	22	20	21	22
Suhu Lingkungan (Ts), K	300	300,7	300,1	299	298,6	299
Kecepatan Angin Dominan (U10), m/dt	4,12	2,57	2,06	2,06	3,6	3,09
Arah Angin Dominan	Timur	Tenggara	Timur	Barat	Barat	Barat
Sudut Angin Dominan	90°	135°	90°	270°	270°	270°
Kestabilan Atmosfer Dominan	C	C	A	C	C	C

[Sumber: Stasiun Meteorologi BMKG Kemayoran 2010]

Waktu pengamatan ditentukan berdasarkan kelengkapan data dan keragaman data. Hal ini bertujuan untuk mengetahui dan dapat menganalisis perbedaan antara hari yang satu dengan hari yang lainnya. Data meteorologi ini kemudian dihitung agar dapat mengetahui tinggi keputan yang terjadi per masing-masing cerobong. Dari data meteorologi yang bervariasi tinggi keputan yang terjadi akan bervariasi pula.

Stabilitas atmosfer pada enam hari pengamatan dominan C atau sedikit tidak stabil, hanya pada tanggal 22 Juni 2010 memiliki stabilitas atmosfer A atau sangat tidak stabil. Stabilitas atmosfer berubah sesuai dengan tutupan awan pada

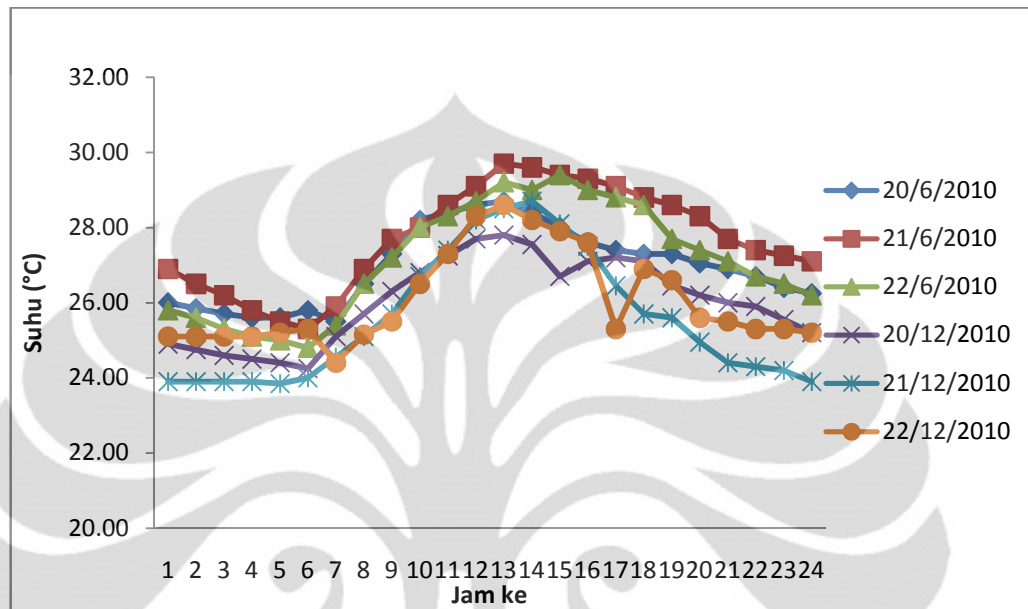
malam hari, penyinaran matahari pada siang hari dan kecepatan angin. Pada bulan Juni pukul 00.00-06.00 dan pukul 19.00-00.00 dominan tidak terjadi angin dan berawan. Hal ini menyebabkan pada saat itu stabilitas atmosfernya adalah E atau agak sedikit stabil. Sedangkan pada bulan Desember pukul 00.00-06.00 dan pukul 19.00-00.00 terjadi angin yang kecepatannya tergolong kecil. Tetapi karena pengaruh tutupan awan yang dominan berawan, stabilitas atmosfer yang terjadi tetap saja E atau agak sedikit stabil. Tetapi hal ini tidak terjadi pada tanggal 20 Desember 2010 yang stabilitas atmosfernya D atau netral yang disebabkan angin yang bertiup lebih besar dibanding hari lainnya. Walaupun begitu, stabilitas atmosfer yang digunakan dalam penelitian ini stabilitas atmosfer pada siang hari yang sering terjadi angin. Gambar 5.1 menggambarkan variasi angin pada hari-hari pengamatan selama 24 jam.



Gambar 5.1. Rata-rata Kecepatan Angin Pada Waktu Pengamatan

Suhu udara ambien di sekitar PLTU dan PLTGU Muara Karang sekitar 24-31°C. Setiap hari pengamatan suhu mengalami perubahan pada jam yang sama. Suhu mencapai puncaknya pada pukul 13.00 sedangkan suhu paling rendah terjadi pada pukul 06.00. Suhu pada bulan Juni tergolong lebih tinggi dibandingkan pada bulan Desember dan suhu pada bulan Juni lebih stabil. Hal ini dibuktikan pada bulan Desember terjadi penurunan suhu yang cukup besar pada tanggal 22 Desember 2010 pada pukul 17.00. hal ini mungkin terjadi karena

terjadi hujan deras yang dapat menurunkan suhu udara. Suhu rata-rata paling tinggi terjadi pada tanggal 21 Juni 2010, sedangkan suhu rata-rata paling rendah terjadi pada tanggal 21 Desember 2010. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Rata-rata Suhu Udara Ambien Pada Waktu Pengamatan

### 5.3 Hasil Perhitungan Model Dispersi Gaussian

Dari data parameter emisi dan parameter meteorologi yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan perhitungan Model Dispersi Gaussian (lihat lampiran 3). Karena letak cerobong yang berdekatan, maka pola spasial dari Model Dispersi Gaussian dibagi menjadi dua jenis. Hasil perhitungan Gaussian pada tiap titik grid dengan sumber cerobong PLTGU yang semula tiga digabung menjadi satu. Letak cerobong dianggap sama karena posisinya yang berdekatan. Begitu pula dengan cerobong PLTU yang semula hasil perhitungannya dua digabungkan menjadi satu.

Tabel 5.3. Nilai Konsentrasi Tertinggi Menurut Jarak dari Sumber Pencemar

Sumber	Tanggal	Koordinat		Konsentrasi Debu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Koordinat		Konsentrasi $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Koordinat		Konsentrasi $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
		x	y		X	y		x	y	
PLTGU	20/6/2010	4.500	0	18,01	4.500	0	68,94	4.500	0	110,62
	21/6/2010	5.200	0	12,41	5.100	0	47,51	5.100	0	76,26
	22/6/2010	1.100	0	38,94	1.100	0	148,47	1.100	0	237,80
	20/12/2010	9.200	0	10,30	9.200	0	39,44	9.100	0	63,30
	21/12/2010	5.200	0	16,26	5.200	0	62,07	5.100	0	99,83
	22/12/2010	6.100	0	14,39	6.000	0	55,09	6.000	0	88,41
PLTU	20/6/2010	700	0	31,41	700	0	217,06	700	0	234,63
	21/6/2010	800	0	19,77	800	0	136,57	800	0	147,56
	22/6/2010	500	0	22,83	500	0	158,07	500	0	171,19
	20/12/2010	1.400	0	15,88	1.400	0	109,63	1.400	0	118,40
	21/12/2010	800	0	27,56	900	0	190,40	800	0	205,79
	22/12/2010	900	0	23,74	900	0	163,91	900	0	177,04

[Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2011]

Dari Tabel 5.3 dapat diketahui bahwa nilai konsentrasi debu cenderung jauh lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$ . Pembangkit Listrik tidak menghasilkan emisi debu dalam jumlah yang besar, sehingga konsentrasi hasil perhitungan parameter debu cenderung lebih kecil. Konsentrasi tertinggi dengan sumber PLTU untuk ketiga parameter yaitu debu,  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  terletak pada koordinat yang sama untuk hari yang sama. Hal ini berbeda dengan yang terjadi pada sumber PLTGU yang berbeda koordinatnya untuk hari yang sama. Diketahui juga bahwa nilai konsentrasi tertinggi untuk sumber PLTGU terletak pada koordinat yang jauh dimana paling jauh dengan jarak 9.200 meter. Tetapi tidak terjadi pada sumber PLTU dimana konsentrasi tertinggi terletak pada jarak yang tidak begitu jauh dimana paling jauh dengan jarak 1.400 meter. Hal ini disebabkan karena tingginya kecepatan lepasan emisi pada PLTGU yang kemudian mengakibatkan keputihan asap cerobong lebih tinggi dibandingkan dengan keputihan asap dari cerobong PLTU.

Dari Tabel 5.3. juga dapat diketahui bahwa nilai konsentrasi polutan yang bersumber PLTU Muara Karang jauh lebih besar dibandingkan dengan pencemaran udara yang bersumber PLTGU Muara Karang. Nilai konsentrasi polutan dipengaruhi oleh jenis dan jumlah bahan bakar yang digunakan. PLTU

menggunakan bahan bakar MFO (*Marine Fuel Oil* atau minyak bakar) dan HSD (*High Speed Diesel Oil* atau minyak solar), sedangkan PLTGU menggunakan bahan bakar HSD dan gas. Kandungan belerang dalam MFO lebih tinggi daripada kandungan dalam HSD dan gas, sehingga MFO menghasilkan pencemar  $\text{SO}_2$  per satuan volume lebih tinggi dibanding bahan bakar minyak lainnya. Ditambah lagi dengan jumlah MFO yang digunakan untuk PLTU lebih besar dibandingkan dengan penggunaan HSD oleh PLTGU. Oleh karena itu, polutan yang dihasilkan oleh PLTU jauh lebih besar daripada yang dihasilkan oleh PLTGU.

#### 5.4 Pola Spasial Pencemaran Udara dari Sumber PLTGU

Dari hasil perhitungan model dispersi Gaussian diperoleh titik persebaran nilai konsentrasi zat pencemar. Dari titik-titik tersebut dibuatlah interpolasi untuk menggambarkan pola spasial pencemaran udara. Pola spasial dijelaskan dengan isopleth semburan emisi cerobong.

Pada sumber PLTGU, tinggi kepulan asap yang terjadi sangat tinggi yaitu melebihi 300 meter. Hal ini mengakibatkan semburan emisinya jauh dari titik cerobong. Tingginya kepulan asap disebabkan oleh tingginya kecepatan lepasan emisi/ kecepatan gas di cerobong. Untuk parameter debu laju emisi (Q) yang terjadi pada cerobong PLTGU 1.1 sebesar 47,37 gram/dt. Sedangkan untuk PLTGU 1.2 laju emisinya sebesar 19,82 gram/dt dan untuk PLTGU 1.3 sebesar 26,42 gram/dt Untuk parameter  $\text{NO}_2$  laju emisi (Q) yang terjadi pada cerobong PLTGU 1.1 sebesar 223,11 gram/dt. Sedangkan untuk PLTGU 1.2 laju emisinya sebesar 52,35 gram/dt dan untuk PLTGU 1.3 sebesar 287,73 gram/dt. Untuk parameter  $\text{SO}_2$  laju emisi (Q) yang terjadi pada cerobong PLTGU 1.1 sebesar 133,25 gram/dt. Sedangkan untuk PLTGU 1.2 laju emisinya sebesar 57,55 gram/dt dan untuk PLTGU 1.3 sebesar 162,61 gram/dt. Jadi, laju emisi akan berbeda pada cerobong yang berbeda meskipun termasuk dalam jenis yang sama. Laju emisi masing-masing parameter pada tiap cerobong tetap sama walau harinya berbeda, karena tidak dipengaruhi oleh kondisi meteorologisnya. Yang berbeda adalah tinggi kepulan asapnya karena sudah dipengaruhi oleh kondisi meteorologisnya.

Tabel 5.4. Kecepatan Angin, Kecepatan Lepasn Emisi dan Tinggi Kepulan Asap PLTGU Pada Waktu Pengamatan

Sumber	Tanggal	Kecepatan Angin di Ujung Cerobong (Us)	Kecepatan Lepasn Emisi (Vs)	Tinggi Kepulan Asap ( $\Delta H$ )
PLTGU 1.1	20/6/2010	5,99	114,28	308,86
	21/6/2010	3,75	114,28	494,17
	22/6/2010	3,00	114,28	617,71
	20/12/2010	3,00	114,28	617,71
	21/12/2010	5,24	114,28	352,98
	22/12/2010	4,50	114,28	411,81
PLTGU 1.2	20/6/2010	5,99	117,80	318,37
	21/6/2010	3,75	117,80	509,39
	22/6/2010	3,00	117,80	636,74
	20/12/2010	3,00	117,80	636,74
	21/12/2010	5,24	117,80	363,85
	22/12/2010	4,50	117,80	424,49
PLTGU 1.3	20/6/2010	5,99	110,35	298,24
	21/6/2010	3,75	110,35	477,18
	22/6/2010	3,00	110,35	596,47
	20/12/2010	3,00	110,35	596,47
	21/12/2010	5,24	110,35	340,84
	22/12/2010	4,50	110,35	397,65

[Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2011]

Tinggi kepulan asap akan berbeda sesuai dengan kondisi meteorologinya. Maka pada hari yang berbeda tinggi kepulan asap yang terjadi akan berbeda. Jika kecepatan angin di ujung cerobong tinggi, maka kepulan asap yang terjadi akan rendah. Sebaliknya jika kecepatan angin di ujung cerobong rendah, maka kepulan asap yang terjadi akan tinggi. Dengan makin tingginya kecepatan angin, asap yang telah dikeluarkan makin cepat terdifusi dan teruraikan menyebar ke udara. Sedangkan makin rendahnya kecepatan angin, maka makin lama asap akan terdifusi dan teruraikan menyebar di udara.

Selain faktor kecepatan angin, faktor yang mempengaruhi tinggi kepulan asap lainnya adalah kecepatan lepasn emisi. Kecepatan lepasn emisi akan berbeda sesuai dengan cerobongnya. Tabel 5.4 menjelaskan bahwa kecepatan lepasn emisi terbesar terjadi pada cerobong PLTU 1.2 yaitu sebesar 117,8 m/dt. Makin rendah kecepatan lepasn emisi maka kepulan asapnya semakin rendah.



Dan sebaliknya makin tinggi kecepatan lepasan emisi maka yang terjadi adalah kepulan asapnya makin tinggi. Hal ini terjadi karena kecepatan lepasan emisi dari yang tinggi dalam cerobong mengakibatkan asap menyembur ke atas terlebih dahulu hingga mencapai keadaan setimbang dan kemudian baru akan menyebar ke atmosfer. Dalam penelitian ini cerobong PLTGU terdiri dari tiga buah, tetapi untuk menganalisis hasil perhitungan cerobong akan dijadikan satu karena ketinggian objek penerima dampak disamakan yaitu 45 meter sesuai dengan tinggi ketiga cerobong tersebut.

Tabel 5.5. Pencemaran Udara dari Sumber PLTGU

Tanggal	Arah	Radius (m)			Luas (ha)		
		Debu	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Debu	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
20/6/2010	Timur	> 10.000	> 10.000	> 10.000	1.608	2.122	2.278
21/6/2010	Tenggara	> 10.000	> 10.000	> 10.000	2.454	3.231	3.451
22/6/2010	Timur	6.000	> 10.000	> 10.000	582	2.708	3.152
20/12/2010	Barat	> 10.000	> 10.000	> 10.000	1.144	1.697	1.864
21/12/2010	Barat	> 10.000	> 10.000	> 10.000	1.570	2.085	2.242
22/12/2010	Barat	> 10.000	> 10.000	> 10.000	1.500	2.021	2.181

[Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2011]

Dari Tabel 5.5. dapat diketahui bahwa pencemaran udara dengan sumber pencemar PLTGU umumnya menyebar secara luas dan jauh dari sumber. Hal ini ditunjukkan dengan radius semburan emisi PLTGU serta luas daerah yang terkena pencemaran udara. Hanya pada tanggal 22 Juni 2010 untuk parameter debu yang memiliki radius pencemaran lebih dekat yaitu 6.000 meter atau 6 km dan memiliki daerah pencemaran udara dengan luas 582 hektar.

Berdasarkan hasil perhitungan model dispersi Gaussian pada keenam hari pengamatan, dapat diketahui bahwa daerah yang sering terkena pencemaran udara dengan sumber PLTGU yaitu daerah dengan radius 4.100 meter hingga 10.000 meter di sebelah barat. Sedangkan daerah yang paling jarang terkena pencemaran udara pada keenam hari pengamatan yaitu daerah tenggara karena hanya pada tanggal 21 Juni 2010 yang pencemaran udaranya terjadi ke arah tenggara.

Tabel 5.6. Nilai Konsentrasi Tertinggi Pencemaran Udara dari Sumber PLTGU Berdasarkan Perhitungan Gaussian

Tanggal	Koordinat		Konsentrasi Debu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Koordinat		Konsentrasi $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Koordinat		Konsentrasi $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	x	y		x	y		x	y	
20/6/2010	4.500	0	18.01	4.500	0	68,94	4.500	0	110,62
21/6/2010	5.200	0	12.41	5.100	0	47,51	5.100	0	76,26
22/6/2010	1.100	0	38.94	1.100	0	148,47	1.100	0	237,80
20/12/2010	9.200	0	10.30	9.200	0	39,44	9.100	0	63,30
21/12/2010	5.200	0	16.26	5.200	0	62,07	5.100	0	99,83
22/12/2010	6.100	0	14.39	6.000	0	55,09	6.000	0	88,41

[Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2011]

Berdasarkan perbedaan stabilitas atmosfer pada enam hari pengamatan dapat diketahui bahwa pencemaran udara paling berbahaya terjadi pada saat keadaan atmosfer agak tidak stabil yaitu pada tanggal 20 dan 21 Juni, 20, 21 dan 22 Desember 2010, sedangkan pencemaran paling tidak berbahaya terjadi pada saat keadaan atmosfer sangat tidak stabil yaitu pada tanggal 22 Juni 2010. Keadaan atmosfer yang tidak stabil menyebabkan asap bergerak vertikal dan terus ke atas. Ini terjadi karena suhu massa udara dekat cerobong lebih besar dibandingkan suhu udara sekitar. Konsentrasi polutan akan meningkat hingga mencapai nilai maksimum, kemudian akan mengalami penurunan.

Terlihat pada Tabel 5.6. bahwa pada tanggal 22 Juni 2010 konsentrasi ketiga parameter lebih besar dibandingkan pada hari yang lain, tetapi hal tersebut tidak membahayakan karena asap akan terus bergerak vertikal. Keadaan atmosfer yang tidak stabil memungkinkan terjadi pembentukan awan khususnya mempunyai ukuran vertikal yang mencolok. Hal ini dapat sangat membahayakan jika terjadi hujan, dimana awan yang mengandung polutan dapat menimbulkan terjadinya hujan asam. Untuk keadaan normal tanpa hujan, keadaan atmosfer yang stabil dapat membahayakan.

Keadaan atmosfer yang lebih stabil menyebabkan asap terakumulasi dekat permukaan bumi dan tidak dapat bergerak lebih tinggi lagi karena tidak terjadi gerakan udara vertikal. Hal ini dapat membahayakan daerah yang terkena asap tersebut. Terlihat pada Tabel 5.6. bahwa pada tanggal 20 dan 21 Juni dan 20, 21

dan 22 Desember 2010 konsentrasi ketiga parameter jauh lebih kecil dibandingkan pada tanggal 22 Juni 2010. Walaupun seperti itu, pada hari selain tanggal 22 Juni 2010 polutan yang dihasilkan dapat turun ke permukiman penduduk karena keadaan atmosfer yang agak tidak stabil.

### 5.5 Pola Spasial Pencemaran Udara dari Sumber PLTU

Berbeda dengan PLTGU, cerobong PLTU menghasilkan kepulan asap yang lebih rendah. Ini terjadi karena kecepatan lepasan emisi dari dalam cerobong rendah. Kepulan asap tertinggi yaitu 121,36 meter di atas cerobong, sedangkan yang paling rendah adalah 57,34 meter di atas cerobong (lihat Tabel 5.7). Kecepatan lepasan emisi yang paling menentukan tinggi kepulan asap. Semakin besar kecepatan lepasan emisi suatu cerobong, maka semakin tinggi kepulan asap yang terjadi. Selain itu ada pula faktor lain yang menentukan tinggi kepulan asap yaitu kecepatan angin di ujung cerobong. Berbeda dengan kecepatan lepasan emisi yang berbanding lurus dengan tinggi kepulan asap, kecepatan angin di ujung berbanding terbalik dengan tinggi kepulan asap. Makin besar kecepatan angin, maka tinggi kepulan asap makin rendah. Hal ini terjadi karena emisi akan mengalami pengenceran dan penyebaran lebih cepat dengan kecepatan angin yang besar.

Tabel 5.7. Kecepatan Angin, Kecepatan Lepasn Emisi dan Tinggi Kepulan Asap PLTU Pada Waktu Pengamatan

Sumber	Tanggal	Kecepatan Angin di Ujung Cerobong (Us)	Kecepatan Lepasn Emisi (Vs)	Tinggi Kepulan Asap ( $\Delta H$ )
PLTU 4	20/6/2010	7,44	37,64	60,68
	21/6/2010	4,65	37,64	97,09
	22/6/2010	3,72	37,64	121,36
	20/12/2010	3,72	37,64	121,36
	21/12/2010	6,51	37,64	69,35
	22/12/2010	5,58	37,64	80,91
PLTU 5	20/6/2010	7,44	35,57	57,34
	21/6/2010	4,65	35,57	91,75
	22/6/2010	3,72	35,57	114,69
	20/12/2010	3,72	35,57	114,69
	21/12/2010	6,51	35,57	65,54
	22/12/2010	5,58	35,57	76,46

[Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2011]

PLTU Muara Karang mempunyai dua cerobong yaitu unit 4 dan unit 5. Masing-masing cerobong memiliki kecepatan lepasan emisi yang berbeda walaupun tinggi dan diameter sama. Kecepatan lepasan emisi antara cerobong PLTU unit 4 dan unit 5 hanya mempunyai selisih 2,07 m/dt. Kecepatan lepasan emisi yang lebih tinggi dimiliki oleh PLTU unit 4, sehingga kepulan asap dari PLTU 4 lebih tinggi dari kepulan asap dari PLTU 5. Tinggi kepulan asap akan berbeda pada waktu yang berbeda. Hal ini berhubungan dengan kondisi meteorologisnya yaitu kecepatan angin. Pada cerobong PLTU 4 kepulan asap paling tinggi terjadi pada saat kecepatan angin terendah yaitu 3,72 m/dt. Sedangkan kepulan asap paling rendah terjadi saat kecepatan angin terbesar yaitu 7,44 m/dt. Demikian pula yang terjadi pada PLTU 5, kepulan asap tertinggi terjadi pada saat angin bertiup dengan kecepatan terendah yaitu 3,72 m/dt. Jadi, yang menentukan perbedaan tinggi kepulan asap cerobong satu dengan cerobong lainnya adalah kecepatan lepasan emisi masing-masing cerobong, sedangkan yang menentukan perbedaan tinggi kepulan asap cerobong pada waktu yang berbeda-beda adalah kecepatan angin di ujung cerobong. Makin tinggi kepulan asap yang terjadi maka makin lama dan jauh untuk zat pencemar untuk dapat jatuh ke tanah. Jadi, banyak dilakukan untuk mengantisipasi pencemaran udara yaitu dengan membuat cerobong yang tinggi atau dengan meningkatkan kecepatan lepasan emisi cerobong.

Sama seperti dengan cerobong PLTGU, cerobong PLTU akan dijadikan satu untuk menganalisis pola spasial dari pencemaran udara hasil dari emisi yang mencakup tiga parameter yaitu debu/partikulat,  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$ .

Tabel 5.8. Pencemaran Udara dari Sumber PLTU

Tanggal	Arah	Radius (m)			Luas (ha)		
		Debu	$\text{SO}_2$	$\text{NO}_2$	Debu	$\text{SO}_2$	$\text{NO}_2$
20/6/2010	Timur	7.000	> 10.000	> 10.000	503	1.839	1.876
21/6/2010	Tenggara	9.200	> 10.000	> 10.000	803	3032	3.084
22/6/2010	Timur	1.700	4.000	4.300	90	376	422
20/12/2010	Barat	> 10.000	> 10.000	> 10.000	997	2.001	2.032
21/12/2010	Barat	7.500	> 10.000	> 10.000	579	1.883	1.918
22/12/2010	Barat	8.300	> 10.000	> 10.000	675	1.926	1.959

[Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2011]

Dari Tabel 5.8. dapat diketahui bahwa pencemaran udara dengan sumber pencemar PLTU memiliki jangkauan yang lebih kecil dibandingkan dengan sumber pencemar PLTGU. Hal ini terjadi karena dipengaruhi oleh tinggi cerobong dan kecepatan lepasan emisi yang lebih rendah. Tinggi cerobong yang lebih tinggi dilakukan untuk mengurangi emisi PLTU yang sifatnya lebih kotor dibandingkan dengan emisi PLTGU. Radius pencemaran udara dengan sumber PLTU paling dekat terjadi pada tanggal 22 Juni 2010 yaitu sekitar 1.700 meter untuk parameter debu, 4.000 meter untuk parameter SO<sub>2</sub> dan 4.300 meter untuk parameter NO<sub>2</sub>. Hal ini sejalan dengan daerah yang terkena pencemaran udara pada tanggal 22 Juni 2010 memiliki luas yang lebih kecil dibandingkan dengan hari-hari yang lainnya. Untuk daerah pencemaran udara yang paling luas terdapat pada tanggal 21 Juni 2010 untuk parameter SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub>, tetapi daerah pencemaran udara parameter debu paling luas terdapat pada tanggal 20 Desember 2010.

Berdasarkan hasil perhitungan model dispersi Gaussian pada keenam hari pengamatan, dapat diketahui bahwa daerah yang sering terkena pencemaran udara dengan sumber PLTU yaitu daerah dengan radius 7.500 meter hingga 10.000 meter di sebelah barat. Sedangkan daerah yang paling jarang terkena pencemaran udara pada keenam hari pengamatan yaitu daerah tenggara karena hanya pada tanggal 21 Juni 2010 yang pencemaran udaranya terjadi ke arah tenggara.

Tabel 5.9. Nilai Konsentrasi Tertinggi Pencemaran Udara dari Sumber PLTU  
Berdasarkan Perhitungan Gaussian

Tanggal	Koordinat		Konsentrasi Debu (µg/m <sup>3</sup> )	Koordinat		Konsentrasi SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Koordinat		Konsentrasi NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
	x	y		x	y		x	y	
20/6/2010	700	0	31,41	700	0	217,06	700	0	234,63
21/6/2010	800	0	19,77	800	0	136,57	800	0	147,56
22/6/2010	500	0	22,83	500	0	158,07	500	0	171,19
20/12/2010	1.400	0	15,88	1.400	0	109,63	1.400	0	118,40
21/12/2010	800	0	27,56	900	0	190,40	800	0	205,79
22/12/2010	900	0	23,74	900	0	163,91	900	0	177,04

[Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2011]

Berdasarkan perbedaan stabilitas atmosfer pada enam hari pengamatan dapat diketahui bahwa pencemaran udara dengan sumber PLTU paling berbahaya

juga terjadi pada saat keadaan atmosfer agak tidak stabil yaitu pada tanggal 20 dan 21 Juni, 20,21 dan 22 Desember 2010, sedangkan pencemaran paling tidak berbahaya terjadi pada saat keadaan atmosfer sangat tidak stabil yaitu pada tanggal 22 Juni 2010. Keadaan atmosfer yang tidak stabil menyebabkan asap bergerak vertikal dan terus ke atas. Ini terjadi karena suhu massa udara dekat cerobong lebih besar dibandingkan suhu udara sekitar. Konsentrasi polutan akan meningkat hingga mencapai nilai maksimum, kemudian akan mengalami penurunan.

Terlihat pada Tabel 5.9. bahwa konsentrasi tertinggi terjadi pada tanggal 20 Juni 2010. Hal ini berbeda dengan pencemaran udara dengan sumber pencemar PLTGU. Walaupun seperti itu, pencemaran udara yang paling tidak berbahaya tetap terjadi pada tanggal 22 Juni karena keadaan atmosfernya lebih tidak stabil dibandingkan dengan keadaan atmosfer pada hari lainnya. Terlihat juga pada Tabel 5.9. bahwa pada tanggal 21 dan 22 Juni dan 20, 21 dan 22 Desember 2010 konsentrasi ketiga parameter jauh lebih kecil dibandingkan pada tanggal 20 Juni 2010. Walaupun seperti itu, pada hari selain tanggal 22 Juni 2010 polutan yang dihasilkan dapat turun ke permukiman penduduk karena keadaan atmosfer yang agak tidak stabil.

#### **5.6 Pola Spasial Pencemaran Udara dari Sumber Gabungan (PLTGU dan PLTU)**

Semburan emisi PLTU dan semburan emisi PLTGU akan mengalami pencampuran zat-zat yang diemisikan. Oleh karena itu, nilai konsentrasi zat-zat pencemar termasuk debu.  $\text{NO}_2$  dan  $\text{SO}_2$  akan bertambah. Pertambahan nilai konsentrasi ini terjadi pada saat semburan emisi yang dikeluarkan PLTGU dan PLTU dalam waktu yang sama.

Tabel 5.10. Percampuran Antara Pencemaran Udara dari Sumber PLTGU  
Dengan Sumber PLTU

Tanggal	Radius (m)			Luas Daerah Percampuran (ha)			Konsentrasi Percampuran ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	Debu	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Debu	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Debu	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
20/6/2010	1.600-7.100	1.300-10.000	1.200-10.000	417	1.658	1.762	6-24	2-136	2-148
21/6/2010	3.000-9.300	2.500-10.000	2.300-10.000	583	2.674	2.764	6-20	2-98	2-106
22/6/2010	500-1.800	400-4.000	400-5.000	82	363	414	2-54	2-248	2-342
20/12/2010	4.300-10.000	3.500-10.000	3.400-10.000	613	1.488	1.578	6-16	2-62	2-90
21/12/2010	2.300-7.400	1.900-10.000	1.800-10.000	420	1.660	1.716	6-22	2-94	2-140
22/12/2010	2.700-8.100	2.300-10.000	2.100-10.000	478	1.650	1.713	6-20	2-92	2-138

[Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2011]

Dari Tabel 5.10. dapat diketahui bahwa ketiga parameter zat pencemar yakni debu, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> akan mengalami percampuran pada radius yang berbeda-beda. Pencemaran udara dari setiap parameter dan setiap waktu pengamatan jika digabung akan dapat dilihat daerah yang akan sering terkena pencemaran atau terkena dampak yaitu daerah dengan radius 4.300 hingga 7.100 meter, dan kecuali pada tanggal 22 Juni 2010 daerah yang terkena pencemaran yaitu daerah dengan radius 500-1.800 meter.

### 5.7 Pola Spasial Pencemaran Udara antara Musim Kemarau dan Musim Hujan

Pengamatan pencemaran udara emisi masing-masing parameter dilakukan pada enam hari pengamatan yaitu tiga hari pada bulan Juni dan tiga hari pada bulan Desember. Bulan Juni di sini dipilih untuk mewakili periode musim kemarau yaitu bulan Juni hingga bulan Agustus, sedangkan bulan Desember dipilih untuk mewakili periode musim hujan yaitu bulan Desember hingga bulan Februari.

Berdasarkan penjelasan hasil perhitungan dispersi Gauss dengan sumber PLTGU dan PLTU pada subbab sebelumnya, dapat diketahui bahwa pada musim kemarau dan musim hujan pola spasial pencemaran udara memiliki perbedaan. Pada musim kemarau pencemaran udara terjadi menyebar ke berbagai arah sesuai dengan anginnya, sedangkan pada musim hujan pencemaran udara terjadi

umumnya ke arah barat sesuai dengan arah angin yang umumnya barat. Selain itu, nilai konsentrasi zat pencemar di udara ada musim kemarau cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan nilai konsentrasi zat pencemar pada musim hujan. Hal ini disebabkan karena pada musim hujan zat pencemar yang ada di atmosfer mengalami proses penghilangan atau pengurangan akibat adanya pencucian udara oleh hujan. Selain berbeda nilai konsentrasinya, perbedaan juga terjadi pada jangkauan dimana konsentrasi zat pencemar mencapai puncaknya atau nilai tertinggi. Pada musim kemarau konsentrasi tertinggi terdapat pada jarak yang cenderung lebih dekat dibandingkan pada musim hujan. Hal ini disebabkan karena jumlah awan pada musim hujan lebih banyak daripada musim kemarau. Sebelum mencapai udara ambien dan tanah, semburan emisi akan lebih dahulu menyentuh awan dan kemudian baru turun ke bawah menuju udara ambien. Semakin banyak awan maka makin lama dan makin banyak penghalang zat pencemar untuk dapat turun ke bawah. Awan yang telah mengandung zat pencemar bergerak ke tempat lain dengan jarak yang cukup jauh, dan setelah itu zat-zat tersebut dapat turun ke bawah baik dalam bentuk hujan ataupun partikel biasa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Tabel 5.11.

Tabel 5.11. Nilai Konsentrasi Maksimum Tiga Parameter Zat Pada Hari Pengamatan

Periode Musim	Sumber	Tanggal	Jarak (x)	Konsentrasi Debu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Jarak (x)	Konsentrasi $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Jarak (x)	Konsentrasi $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Musim Kemarau	PLTGU	20/6/2010	4.500	18,01	4.500	68,94	4.500	110,62
		21/6/2010	5.200	12,41	5.100	47,51	5.100	76,26
		22/6/2010	1.100	38,94	1.100	148,47	1.100	237,80
	PLTU	20/6/2010	700	31,41	700	217,06	700	234,63
		21/6/2010	800	19,77	800	136,57	800	147,56
		22/6/2010	500	22,83	500	158,07	500	171,19
Musim Hujan	PLTGU	20/12/2010	9.200	10,30	9.200	39,44	9.100	63,30
		21/12/2010	5.200	16,26	5.200	62,07	5.100	99,83
		22/12/2010	6.100	14,39	6.000	55,09	6.000	88,41
	PLTU	20/12/2010	1.400	15,88	1.400	109,63	1.400	118,40
		21/12/2010	800	27,56	800	190,40	800	205,79
		22/12/2010	900	23,74	900	163,91	900	177,04

[Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2011]



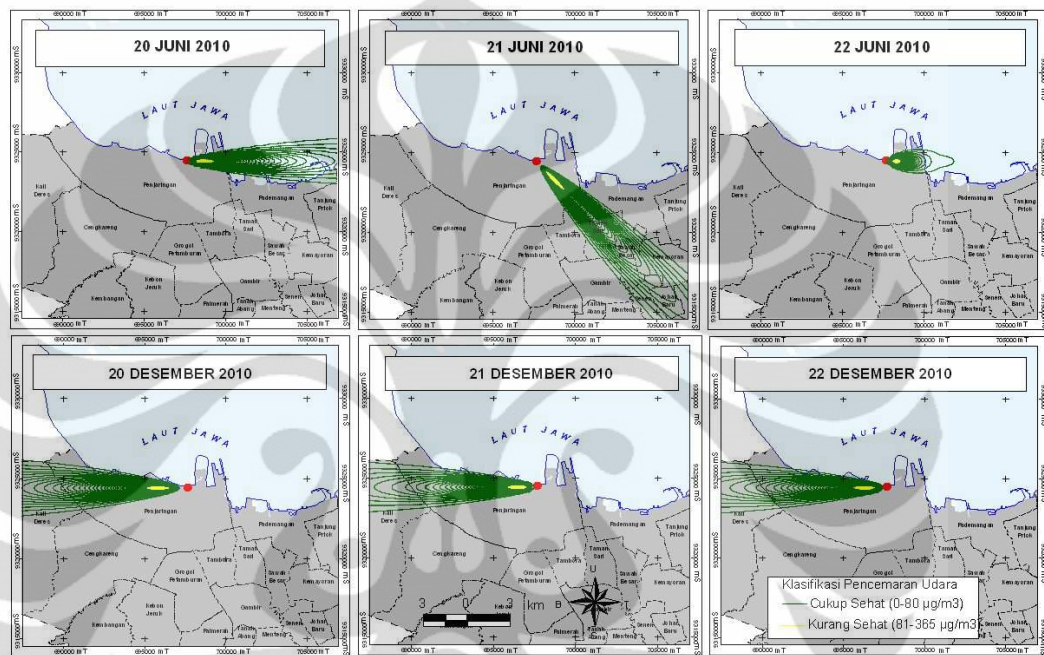
## 5.8 Wilayah dampak Pencemaran Udara dari Sumber Pencemar PLTGU dan PLTU Muara Karang

Parameter yang diukur dalam penelitian ini antara lain debu,  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$ . Ketiga parameter tersebut dapat membahayakan makhluk hidup termasuk manusia apabila jumlahnya melebihi nilai batas atau baku mutu. Masing-masing parameter memiliki klasifikasi kualitas udara yang berbeda-beda. Umumnya kualitas udara dibedakan menjadi beberapa kelas, yaitu cukup sehat, kurang sehat, tidak sehat, sangat tidak sehat dan berbahaya. Kualitas udara diberlakukan pada daerah reseptor atau daerah penerima pencemaran udara akibat emisi PLTGU dan PLTU Muara Karang. Dalam penelitian ini daerah reseptor semburan emisi adalah daerah sekitar yang terkena semburan dalam radius 10 km atau 10.000 meter. Daerah penerima semburan cerobong sangat luas karena pengaruh tinggi cerobong dan pengaruh tinggi kepulan asap dari cerobong. Makin tinggi semburannya maka makin luas daerah reseptornya.

Berdasarkan perhitungan model Gaussian dapat diketahui bahwa jangkauan terjauh pencemaran udara tergantung kondisi meteorologinya. Pada kecepatan angin yang tinggi dan stabilitas atmosfer yang stabil, pencemaran udara akan mencapai jangkauan yang jauh (lebih dari 10 km). Jadi, pada saat kondisi meteorologi seperti itu, tidak dapat diketahui radius lebih pasti dimana konsentrasi pencemar akan mencapai nol. Sedangkan pada kecepatan angin yang rendah dan stabilitas atmosfer yang sangat tidak stabil, pencemaran udara akan mencapai jangkauan yang lebih kecil. Untuk sumber pencemar PLTU konsentrasi pencemar debu akan mencapai nol yaitu pada radius 1.700 meter, sedangkan PLTGU konsentrasi pencemar debu akan mencapai nol pada radius 5.900 meter. Sedangkan untuk konsentrasi pencemar lainnya juga tidak dapat diketahui radius yang pasti karena nilai konsentrasi yang besar.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa ketiga parameter yaitu debu,  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  yang dihasilkan oleh PLTGU Muara Karang baik pada bulan Juni maupun Desember masih termasuk dalam kualitas udara yang cukup sehat, hanya parameter  $\text{SO}_2$  tanggal 22 Juni 2010 ada yang termasuk dalam kelas kurang sehat karena nilai konsentrasinya antara 81-365  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Daerah yang sering mendapat

udara kurang sehat adalah sekitar perumahan Pantai Mutiara di sebelah timur dan rumput/tanah kosong di sebelah barat PLTU dan PLTGU. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 5.3. Nilai  $\text{SO}_2$  pada daerah tersebut melebihi angka  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sebagai batas kualitas udara sehat. Tetapi hal tersebut tidak berpengaruh pada penduduk karena kualitas udara kurang sehat hanya berpengaruh pada beberapa spesies tumbuhan.



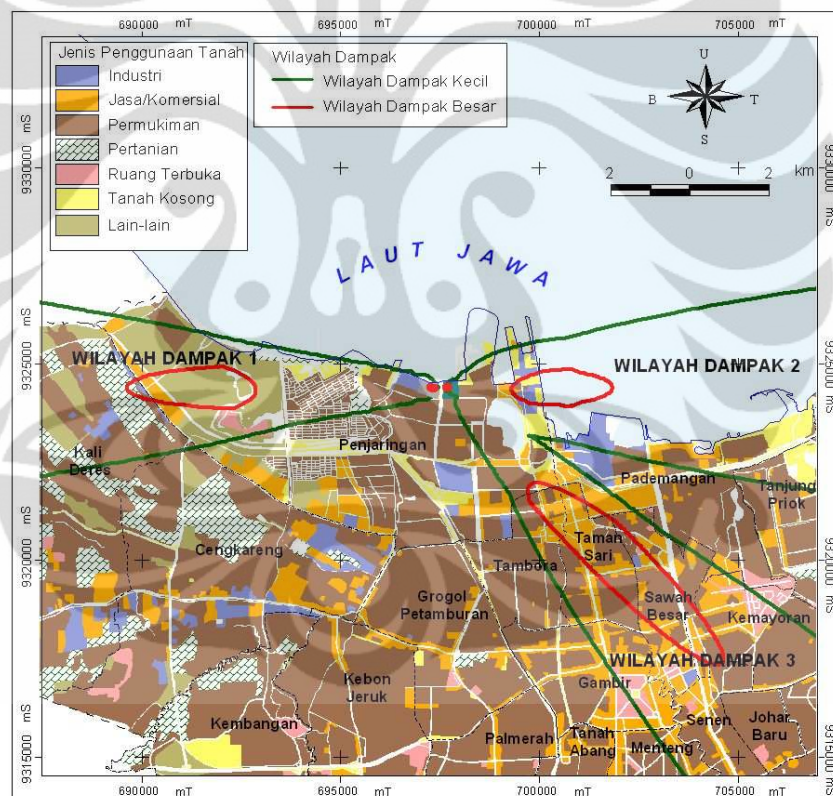
[Sumber: Hasil Pengolahan Data 2011]

Gambar 5.3. Model Spasial Pencemaran Udara Parameter  $\text{SO}_2$  dengan Sumber PLTU

Pada Subbab sebelumnya telah dapat diketahui bahwa daerah yang sering terkena pencemaran udara dari PLTGU dan PLTU adalah daerah dengan radius 4.300 hingga 7.100 meter. Daerah tersebut merupakan daerah permukiman, industri, jasa/komersial, lahan pertanian, ruang terbuka dan lain-lain (seperti rawa). Yang termasuk ke dalam daerah tersebut adalah Kecamatan Pademangan, Penjaringan, Tambora, Taman Sari, Grogol Petamburan, Sawah Besar, dan Cengkareng.

Berdasarkan wilayah yang terkena pencemaran udara ketiga parameter pada enam hari pengamatan diketahui bahwa terdapat wilayah dampak pencemaran udara dari sumber PLTU dan PLTGU Muara Karang. Wilayah

dampak pencemaran udara pada bulan Juni dan Desember 2010 dapat dilihat pada Gambar 5.4. Wilayah dampak dibedakan menjadi dua wilayah dampak besar dan wilayah dampak kecil. Wilayah dampak kecil adalah daerah penerima dampak pencemaran udara dengan nilai lebih kecil dan frekuensi terkena dampak lebih kecil. Sedangkan wilayah dampak besar merupakan daerah penerima dampak pencemaran udara dengan nilai yang lebih besar dan frekuensi terkena dampak lebih sering, Wilayah dampak besar mendapat pencemaran emisi dari kedua sumber pencemar. Dari pengamatan tiga hari pada bulan Juni dan Desember, maka diketahui terdapat tiga wilayah dampak pencemaran udara dengan sumber pencemar PLTU dan PLTGU Muara Karang.



[Sumber: Hasil Pengolahan Data 2011]

Gambar 5.4. Wilayah Dampak Pencemaran Udara dengan Sumber PLTGU dan PLTU Muara Karang

Wilayah dampak 1 terletak di sebelah barat sumber pencemar. Wilayah dampak 1 terdiri dari Kecamatan Penjarangan dan Kecamatan Kalideres. Kecamatan Penjarangan merupakan kecamatan paling dekat dengan sumber

pencemar dan dimana PLTU dan PLTGU berada. Pada Kecamatan Penjaringan terdapat penggunaan tanah berupa permukiman, jasa/komersial, tanah kosong, ruang terbuka, industri dan lain-lain. Penggunaan tanah lain-lain seperti rawa dan hutan bakau. Pada Kecamatan Penjaringan terdapat permukiman teratur seperti kompleks perumahan elit. Permukiman teratur memiliki jumlah penduduk yang lebih sedikit dibandingkan penduduk yang terdapat di permukiman tidak teratur. Ini berarti bahwa penduduk di Kecamatan Penjaringan yang dapat terancam oleh pencemaran udara dari PLTU dan PLTGU Muara Karang jumlahnya lebih sedikit. Kecamatan Penjaringan mempunyai jumlah penduduk 250.000-350.000 jiwa dan dengan kepadatan penduduk rendah yaitu sekitar 80.000-10.000 jiwa/km<sup>2</sup>. Ini berarti bahwa ada sekitar 250.000-350.000 jiwa yang terancam kesehatannya jika pencemaran udara melebihi baku mutu. Sedangkan untuk Kecamatan Kalideres, penggunaan tanahnya terdiri dari lahan pertanian, permukiman, industri dan lain-lain. Permukiman yang termasuk wilayah dampak 1 hanya sebagian. Jumlah penduduk di Kecamatan Kalideres sangat tinggi yaitu 350.000-520.000 jiwa, sedangkan kepadatan penduduknya sekitar 10.000-15.000 jiwa/km<sup>2</sup>. Jadi, ada sekitar 350.000 hingga 520.000 orang yang memiliki resiko terkena dampak pencemaran udara jika pencemaran udara melebihi baku mutu. Pada bagian tengah wilayah dampak 1 terdapat daerah yang dapat terkena dampak yang besar. Wilayah dampak besar terletak pada radius 4.300 hingga 7.400 meter dari sumber pencemar. Pada wilayah dampak besar terdapat sedikit permukiman dan sebagian besar merupakan rawa, sehingga tidak membahayakan manusia.

Wilayah dampak 2 terletak di sebelah timur sumber pencemar. Wilayah dampak 2 terdiri dari daratan yang mencakup Kecamatan Pademangan dan Kecamatan Tanjung Priok dan selebihnya merupakan laut. Kecamatan Pademangan terdiri dari permukiman, jasa/komersial dan industri, sedangkan Kecamatan Tanjung Priok terdiri dari permukiman, tanah kosong dan jasa/komersial. Penduduk di Kecamatan Pademangan berjumlah 67.000-100.000 jiwa dan memiliki kepadatan penduduk 10.000-15.000 jiwa/km<sup>2</sup>, sedangkan Kecamatan Tanjung Priok 350.000-520.000 jiwa dan kepadatan penduduknya sekitar 10.000-15.000 jiwa/km<sup>2</sup>. Kedua kecamatan sangat sedikit mendapat pencemaran udara, maka penduduk tidak memiliki resiko terkena dampak

pencemaran udara oleh PLTU dan PLTGU Muara Karang. Pada radius 1.700-4.100 terdapat daerah dengan dampak besar, tetapi pada daerah tersebut tidak terdapat permukiman, yang ada hanya jasa/komersial, industri dan tanah kosong yang jumlahnya sedikit dan selebihnya merupakan laut. Jadi, resiko penduduk untuk terkena dampak pencemaran di daerah tersebut tidak terlalu besar.

Wilayah dampak 3 terletak di sebelah tenggara sumber pencemar. Daerah ini terdiri dari Kecamatan Taman Sari, Sawah Besar, Kemayoran, Gambir, Tambora, Senen, Johar Baru, dan Cempaka Putih. Kecamatan Taman Sari dan Sawah Besar memiliki jumlah penduduk 100.000-150.000 jiwa dan kepadatan penduduk di Taman Sari sekitar 20.000-30.000 jiwa/km<sup>2</sup>. Sedangkan Kecamatan Sawah Besar memiliki kepadatan penduduk 15.000 hingga 20.000 jiwa/km<sup>2</sup>. Kecamatan Tambora dan Kemayoran memiliki penduduk dengan jumlah yang sama yaitu 150.000-250.000 jiwa, Kecamatan Johar Baru penduduknya berjumlah 100.000-150.000 jiwa/, Kecamatan Senen dan Cempaka Putih memiliki jumlah penduduk 67.000-100.000 jiwa. Sedangkan untuk kepadatan penduduk, Kecamatan Tambora dan Johar Baru sama-sama memiliki kepadatan 30.000-50.000 jiwa/km<sup>2</sup>, Kecamatan Kemayoran dan Senen memiliki kepadatan penduduk 20.000-30.000 jiwa/km<sup>2</sup>, dan Kecamatan Cempaka Putih memiliki kepadatan penduduk sekitar 15.000-20.000 jiwa/km<sup>2</sup>. Daerah ini hampir seluruhnya merupakan permukiman, jasa/komersial dan selebihnya adalah tanah kosong dan ruang terbuka. Pada bagian tengah daerah ini dengan radius 3.100-9.300 meter terdapat daerah yang memiliki dampak yang besar atas pencemaran udara dari PLTU dan PLTGU. Yang termasuk daerah dengan dampak yang besar adalah Kecamatan Taman Sari, Tambora, Sawah Besar dan Kemayoran. Pada daerah tersebut terdiri dari permukiman dan jasa/komersial. Jadi, daerah tersebut merupakan daerah dengan resiko terkena dampak pencemaran udara yang paling tinggi.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN**

Pola spasial pencemaran udara yang bersumber dari PLTGU dan PLTU menunjukkan perbedaan jangkauan dan nilai konsentrasi. Pencemaran udara dari PLTGU jangkauannya lebih jauh dan lebih luas tetapi nilai konsentrasi polutan lebih kecil dibandingkan dengan pencemaran udara dengan sumber PLTU. Pola spasial pencemaran udara dari sumber PLTGU dan PLTU Muara Karang menunjukkan karakteristik yaitu pada keadaan stabilitas atmosfer yang lebih stabil, polutan menyebar lebih jauh (lebih dari 10 km) dan nilai polutan cenderung lebih kecil, sedangkan pada keadaan stabilitas atmosfer yang tidak stabil polutan menyebar lebih dekat (kurang dari 6 km) dan nilai polutan lebih besar. Jangkauan daerah pencemaran pada musim kemarau lebih sempit dibandingkan dengan jangkauan daerah pencemaran pada musim hujan. Pada keenam hari pengamatan, daerah yang sering terpapar bahan pencemar adalah daerah dengan radius/jarak 4.300-7.100 meter. Selama waktu pengamatan (bulan Juni dan Desember) dapat diketahui bahwa terdapat tiga wilayah dampak pencemaran udara sesuai arah anginnya, dimana wilayah Kecamatan Taman Sari, Sawah Besar, Kemayoran, dan Tambora memiliki resiko paling tinggi terkena dampak pencemaran udara dari sumber PLTGU dan PLTU Muara Karang.

## DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Bapedal. (1997). *Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No: Kep-107/KABAPEDAL/11/1997 Tentang Perhitungan dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara*.
- Beychok, M. (2008). *Error Propagation In Air Dispersion Modeling*. 24 Februari, 2011. pk.08.08 WIB. <http://www.air-dispersion.com/default.htm>.
- Bohling, G. (2005). *Kriging*. Kansas Geological Survey.
- BPS. (2010). *Hasil Sensus Penduduk 2010 Kota Administrasi Jakarta Barat*
- BPS. (2010). *Hasil Sensus Penduduk 2010 Kota Administrasi Jakarta Pusat*.
- BPS. (2010). *Hasil Sensus Penduduk 2010 Kota Administrasi Jakarta Selatan*.
- BPS. (2010). *Hasil Sensus Penduduk 2010 Kota Administrasi Jakarta Utara*.
- BPS. (2010). *JAKARTA UTARA Dalam Angka*.
- BPS. (2010). *Kecamatan Penjaringan Dalam Angka*.
- Budihardjo, E. dan Hardjohubojo, S. (1993). *Kota Berwawasan Lingkungan*. Bandung : Penerbit Alumni.
- Budiman, A. Ramdoner, J. Adha, M.L. dan Parulian, S. (2010). *Generation of Electricity*. Depok: Departemen Teknik Elektro FT UI.
- Budisulistiorini, S.H. (2007). *Air Pollution Dispersion Modeling For Implementation in Jakarta Indonesia: A literature Review*. Melbourne : Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Melbourne.
- Faridha. (2004). *Kajian Pengendalian Pencemaran Udara Khususnya Partikulat dan SO<sub>2</sub> dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Studi Kasus Unit Pembangkitan Muara Karang, Kec. Penjaringan, Kota Jakarta Utara, DKI Jakarta)*. Tesis. Jakarta : Program Studi Ilmu Lingkungan UI.
- Fotheringham, A. Stewart, B. Chris, dan Charlton. M. (2000). *Quantitative Geography, Perspective on Spatial Data Analysis*. London: Sage Publication.

- Hadi, A.S. (2007). *Hubungan Antara Penderita Penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Akut dengan Kualitas Udara di Jakarta Tahun 2005*. Tesis. Jakarta : Departemen Geografi FMIPA UI.
- Iriani, D.U. (2004). *Hubungan Iklim, Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan Kejadian Serangan Asma/Bronkitis di DKI Jakarta Tahun 2002-2003 (Studi Ekologi Time Trend pada 5 Rumah Sakit Umum di DKI Jakarta)*. Tesis. Jakarta : Program Studi Ilmu Lingkungan UI.
- Kadir, A. (1996). *Pembangkit Tenaga Listrik*. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Kartono, H, dan Sandy, I.M. (2002). *Perencanaan dan Pembangunan Wilayah*. Depok: Jurusan Georafi FMIPA-UI.
- Kementrian Lingkungan Hidup . (1997). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. Kep 45/MENLH/1997 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara*.
- Kementrian Lingkungan Hidup. (2004). *Status Lingkungan Hidup Daerah 2004*. Jakarta : KLH.
- Kementrian Lingkungan Hidup. (2007). *Memprakirakan Dampak Lingkungan Kualitas Udara*. Jakarta : KLH.
- Kementrian Lingkungan Hidup. (2008). *Peraturan Menteri Negeri Lingkungan Hidup No.21 Tahun 2008*. Jakarta : KLH.
- Kementrian Lingkungan Hidup. (2008). *Status Lingkungan Hidup Indonesia 2008*. Jakarta : KLH.
- Kementrian Lingkungan Hidup. (2009). *Modul Diklat Pengendalian Pencemaran Udara Evaluasi Data Hasil Pemantauan Kualitas Udara*. Jakarta : Penerbit Pusat Pendidikan dan Pelatihan.
- Kementrian Lingkungan Hidup. (2009). *Modul Diklat Pengendalian Pencemaran Udara, Pengendalian Pencemaran Udara dari Sumber Tidak Bergerak*. Jakarta : Penerbit Pusat Pendidikan dan Pelatihan.
- Nevers, N.D. (2000). *Air Pollution Control Engineering*. Singapura : Mc Grow – Hill Publishing.
- Nugroho, S.B. (2001). *Pengaruh Kegiatan Penambangan Batubara Terhadap Kualitas Udara Ambien (Studi Kasus di PT.Arutmin Indonesia, Lokasi*



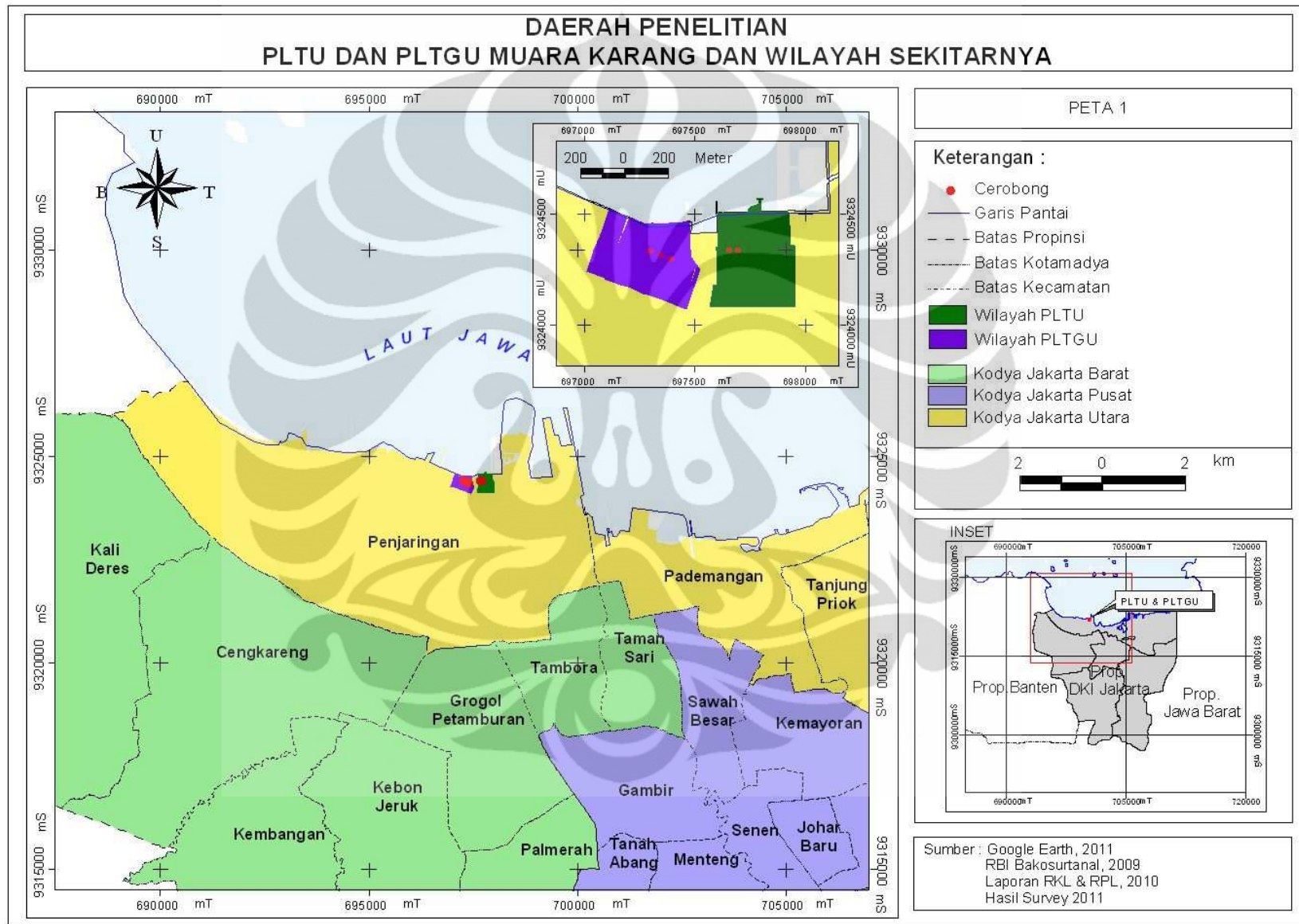
- Tambang Satul, Kecamatan Kintap dan Kecamatan Satui, Kalimantan Selatan*). Tesis. Jakarta : Program Studi Ilmu Lingkungan UI.
- Muhammad, A. (1996). *Kualitas Udara di DKI Jakarta (Status Beberapa Pencemar Penting Menurut hasil Pemantauan Tahun 1995)*. Jakarta : Program Studi Ilmu Lingkungan UI.
- Muhammad, A. dan Nurbianto, B. (2006). *Jakarta Kota Polusi (menggugat hak atas udara bersih)*. Jakarta : LP3S.
- Muslim, S. (2008). *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Pawenang, E.T. (2002). *Hubungan Antara Faktor Meteorologi, Kualitas Udara Ambien dan Kejadian Gangguan Saluran Pernafasan di Kecamatan Semarang*. Tesis. Depok: Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat FKM UI.
- Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Muara Karang. (2010). *Laporan Hasil Pemantauan Pelaksanaan RKL dan RPL Triwulan IV Tahun 2010*. Jakarta: PT. PJB UP Muara Karang.
- Pembangkitan Jawa Bali.(n.d). *Alur Proses Produksi PLTU dan PLTGU Muara Karang*. 24 Februari, 2011. pk.08.24 WIB.  
<http://www.ptjpb.com/modules/>
- Pemerintah Daerah DKI Jakarta. (1999). *PP 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara*.
- Pemerintah Daerah DKI Jakarta. (2000). *Surat Keputusan Gubernur Propinsi DKI Jakarta No. 670/2000 Tentang Penetapan Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak di Propinsi DKI Jakarta*,
- Pemerintah Daerah DKI Jakarta. (2005). *Peraturan Daerah Propinsi DKI Jakarta No.2 Tahun 2005 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara*.
- Pemerintah Daerah DKI Jakarta. (2005). *Perda Provinsi DKI Jakarta No.2 Tahun 2005*
- Pramono, G. (2008). *Akurasi Metode IDW dan Kriging Untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi*. Jurnal Forum Geografi Hal 97-110. Bogor: Bakosurtanal.

- Prasasti, I. Wijayanto, H. dan Christanto, M. (2005). *Analisis Penerapan Metode Kriging dan Invers Distance Pada Interpolasi Data Dugaan Suhu, Air Mampu Curah (AMC) dan Indeks stabilitas Atmosfer (ISA) dari Data NOAA-TOVS*. Jurnal Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV Hal 316-317. Surabaya : ITS.
- Purwaningsih, D.W. (2007). *Analisis Cluster Terhadap Tingkat Pencemaran Udara Pada Sektor Industri di Jawa Tengah*. Skripsi. Semarang : Departemen Matematika FMIPA UNS.
- Rahmawati, F. (1999). *Kualitas Udara di Jakarta Tahun 1997*. Skripsi. Depok : Departemen Geografi FMIPA UI.
- Rao, M.N dan Rao, H.V.N.. (1994). *Air Pollution*. New Delhi : Tata Mc Grow – Hill Publishing.
- Rita. (2007). *Studi Kualitas Udara Ambien di Sekitar Lokasi Pembakaran Briket Batubara*. Tesis. Jakarta : Program Studi Ilmu Lingkungan UI.
- Salim, Emil. (1993). *Pembangunan Berwawasan Lingkungan*. Jakarta : LP3S.
- Sandy, I.M. (1973). *Esensi Geografi*. Depok: Jurusan Geografi FMIPA-UI.
- Saputra, I.D. (2008). *Fluktuasi Indeks Polusi Udara di DKI Jakarta (Studi Kasus : Tahun 2001-2006)*. Skripsi. Depok : Departemen Geografi FMIPA UI.
- Satriyo, S. (2008). *Studi Kondisi Kimiawi Penyebaran Pb, Debu, dan kebisingan di Kota Jakarta*. Jurnal Kajian Ilmiah lembaga Penelitian Ubhara Jaya vol. 9 No. 2.
- Simanjuntak, P. (2009). *Perancangan Heat Recovery Steam Generator (HRSG) Kapasitas 209 Ton Uap/ Jam dengan Memanfaatkan Gas Buang dari Lima Unit Turbin Gas*. Skripsi. Medan: Departemen Teknik Mesin FT USU.
- Wahono, G. (2003). *Kajian Dinamika Spatial Zat Pencemar Udara (Studi Kasus di Lokasi PT. National Gobel)*. Skripsi. Depok : Departemen Geografi FMIPA UI.
- Warlina, L. (2008). *Estimasi Emisi Dioksin/Furan dan Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Konsentrasi Emisi ke Udara Yang Berasal dari Industri Logam*. Jurnal Matematika, Sains dan Teknologi Vol 9 No. 1 Hal 11-20.

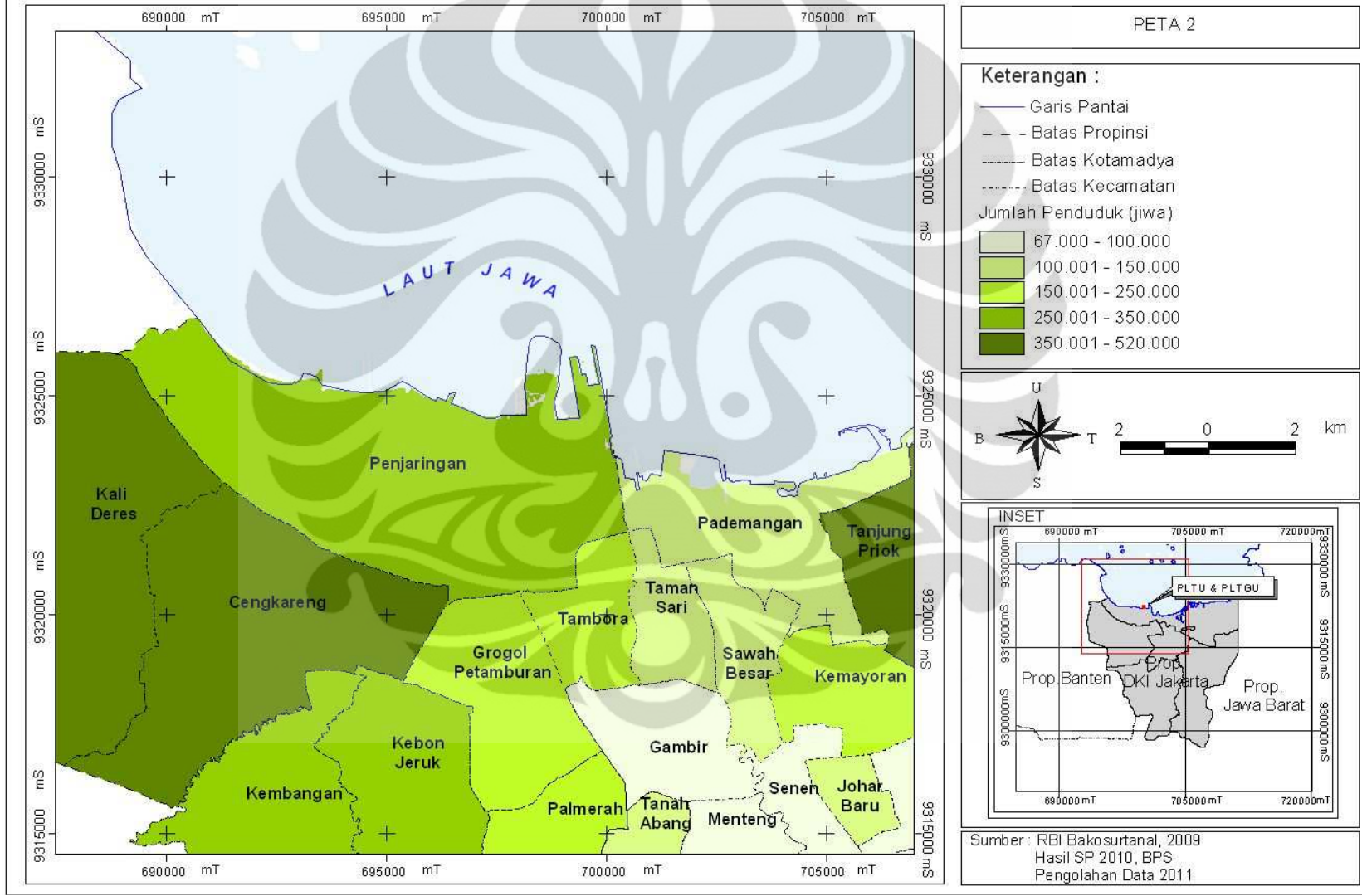
Witono, D. (2003). *Karakteristik Pencemaran Udara di PLTGU UJB-I Tambak Lorok Semarang (Studi Kasus Pencemaran SO<sub>2</sub> dan Partikel Debu)*. Tesis. Jakarta : Program Studi Ilmu Lingkungan UNDIP.



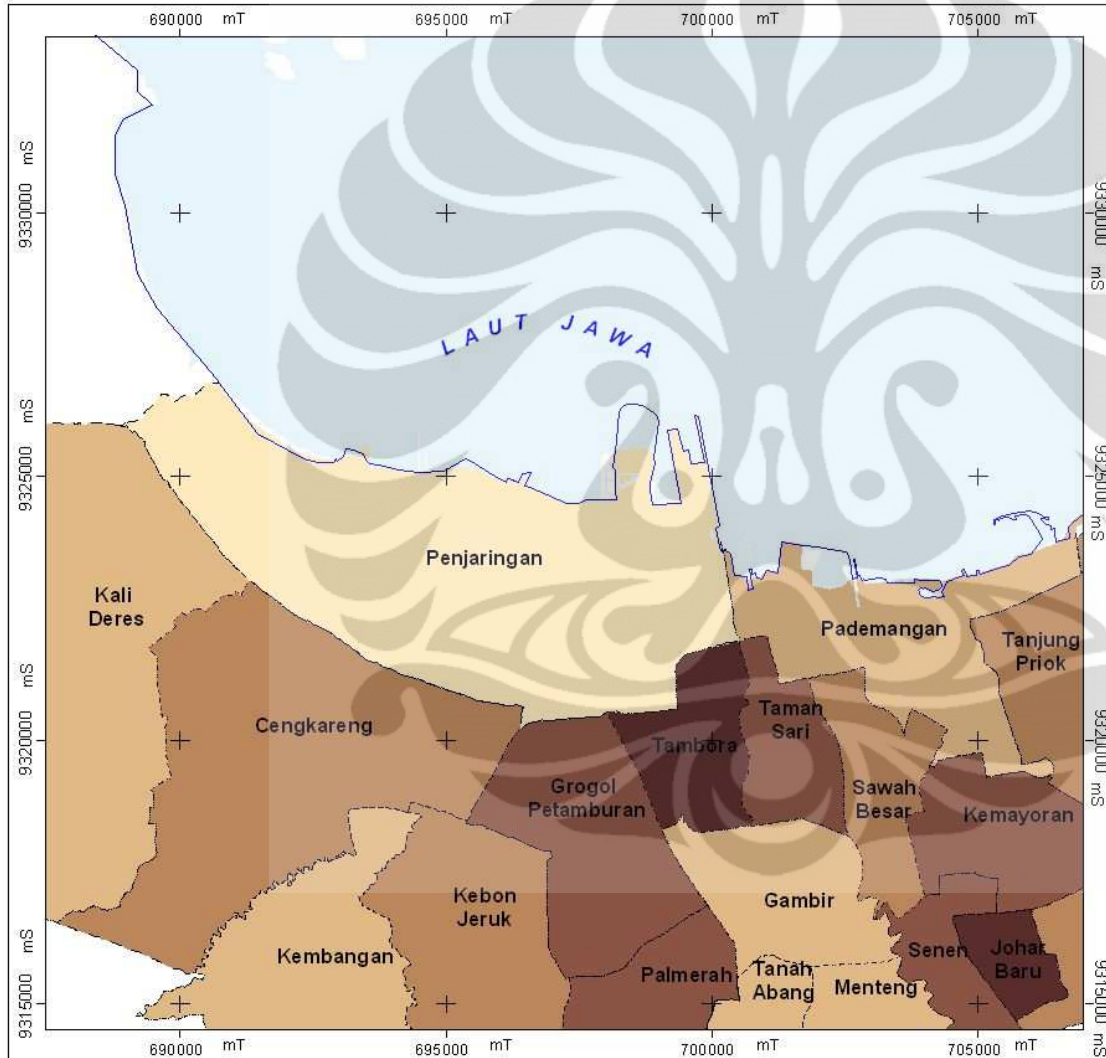




## JUMLAH PENDUDUK DAERAH PENELITIAN TAHUN 2010



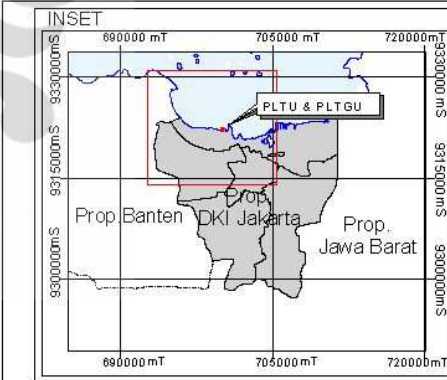
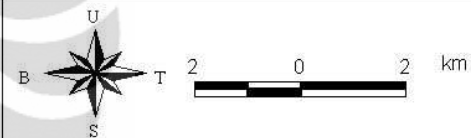
## KEPADATAN PENDUDUK DAERAH PENELITIAN TAHUN 2010



**PETA 3**

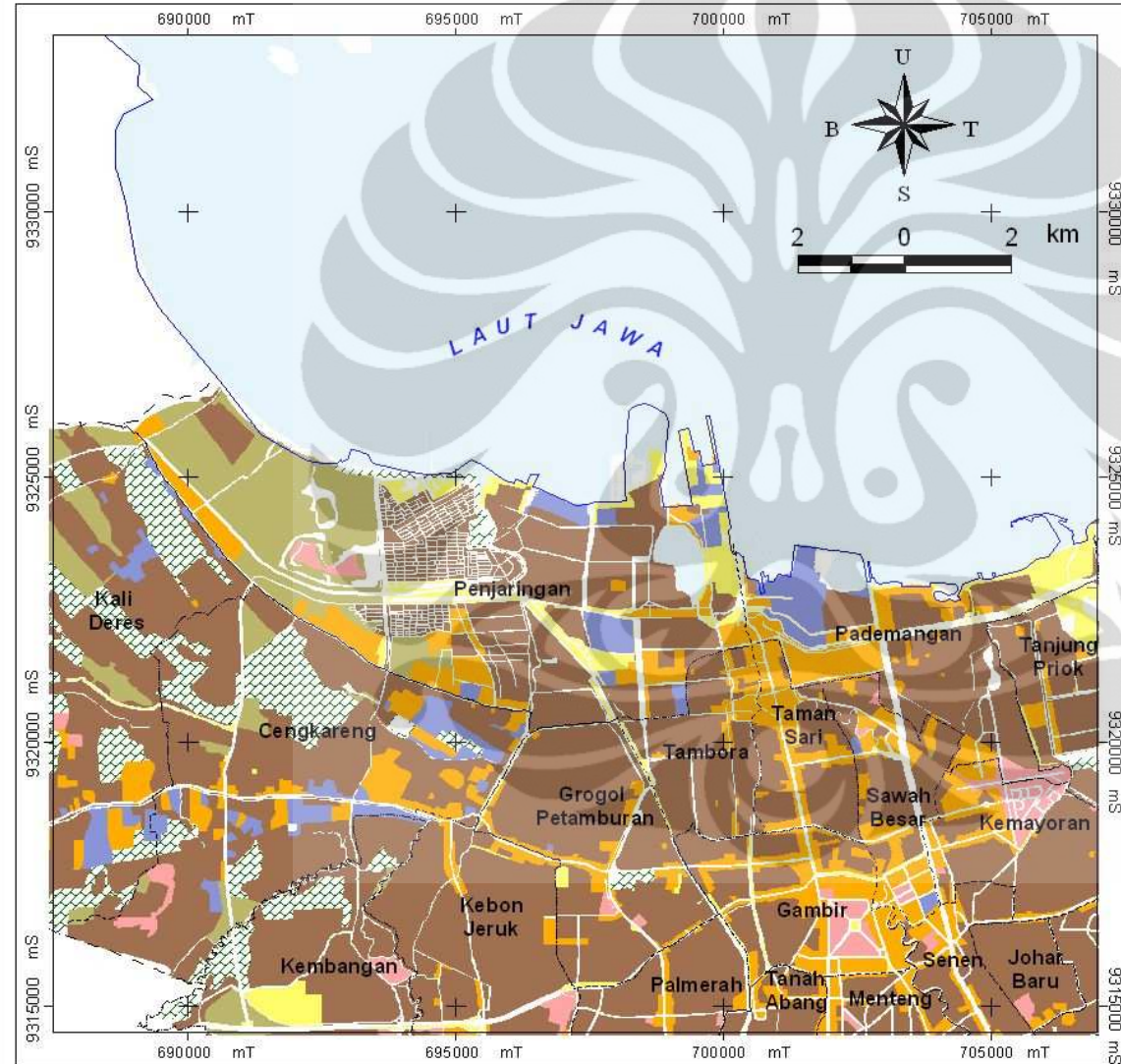
**Keterangan :**

- Garis Pantai
  - - - Batas Propinsi
  - ..... Batas Kotamadya
  - ..... Batas Kecamatan
- Kepadatan Penduduk (jiwa/km<sup>2</sup>)
- 8.000 - 10.000 (Sangat Jarang)
  - 10.000 - 15.000 (Jarang)
  - 15.000 - 20.000 (Sedang)
  - 20.000 - 30.000 (Padat)
  - 30.000 - 50.000 (Sangat Padat)



Sumber: RBI Bakosurtanal, 2009  
 Hasil SP 2010, BPS  
 Pengolahan Data 2011

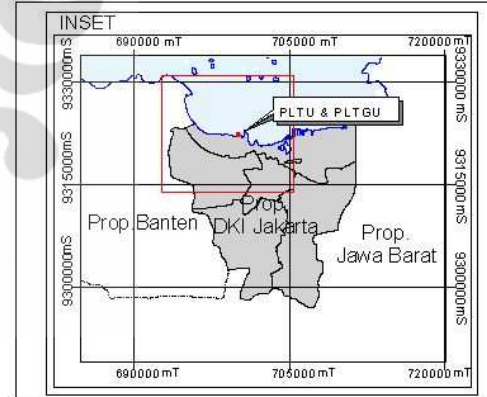
# PENGUNAAN TANAH TAHUN 2009



PETA 4

### Keterangan :

- Garis Pantai
- - - Batas Propinsi
- ..... Batas Kotamadya
- ..... Batas Kecamatan
- Industri
- Jasa/Komersial
- Permukiman
- Pertanian
- Ruang Terbuka
- Tanah Kosong
- Lain-lain

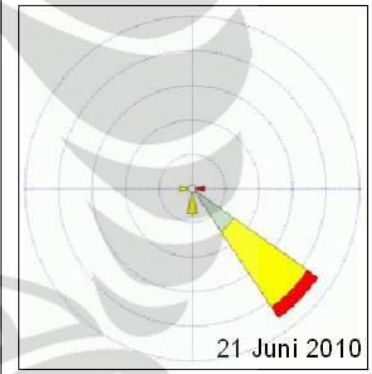
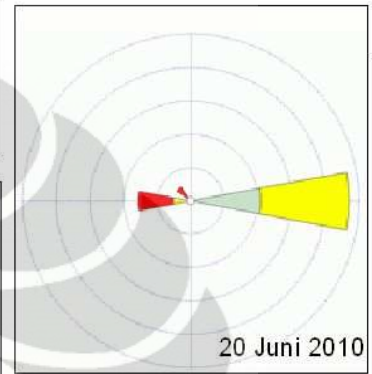
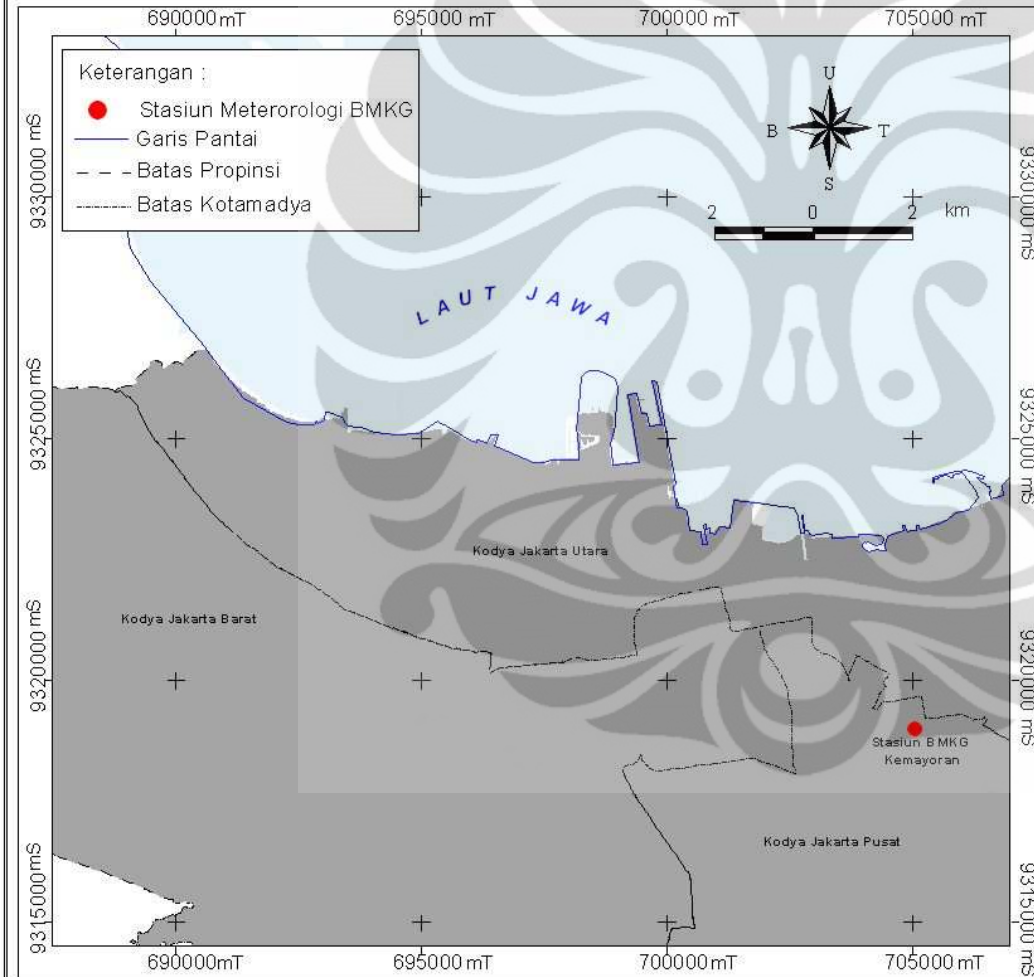


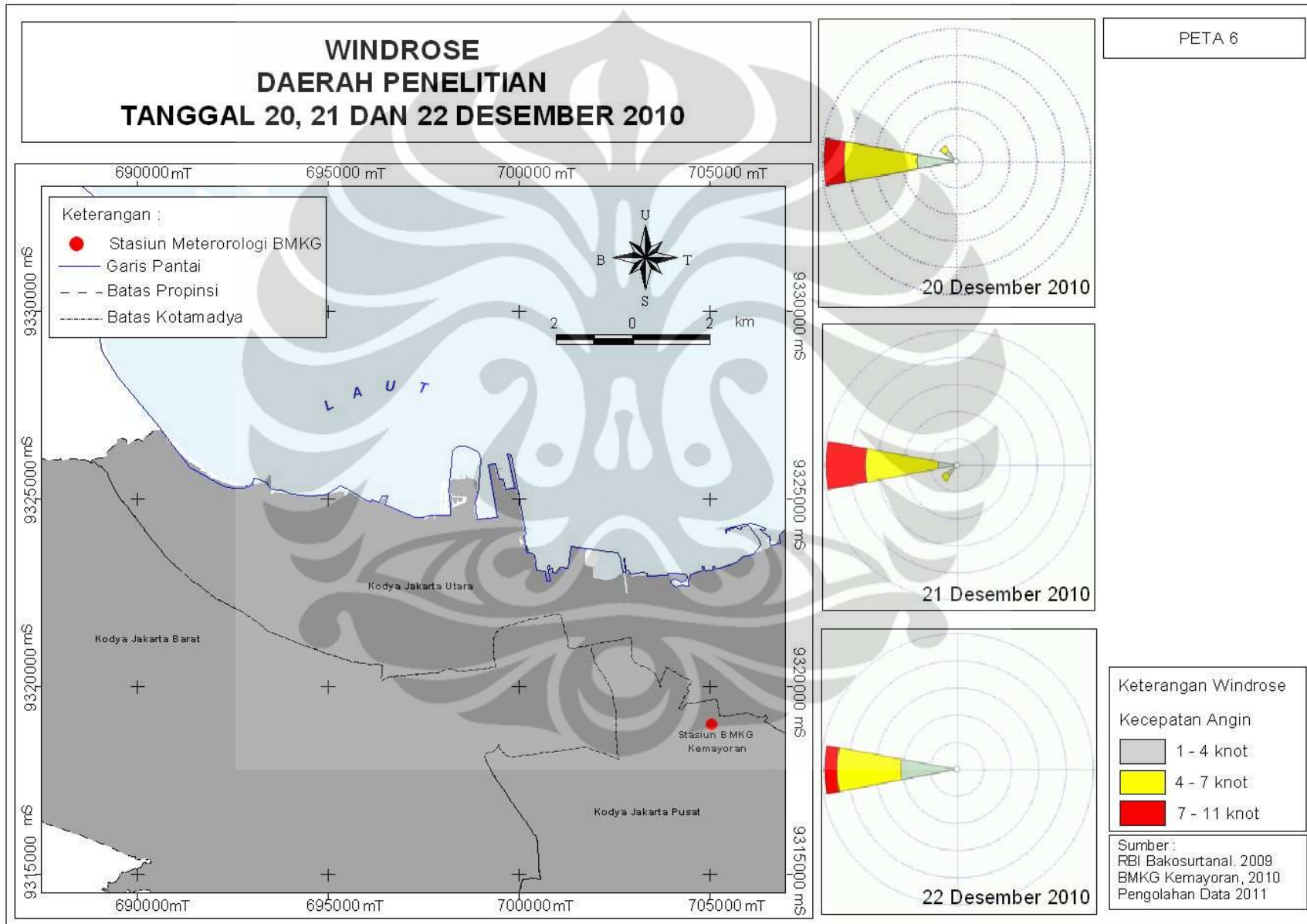
Sumber : RBI Bakosurtanal, 2009  
 BPN, 2009  
 Pengolahan Data 2011



# WINDROSE DAERAH PENELITIAN TANGGAL 20, 21 DAN 22 JUNI 2010

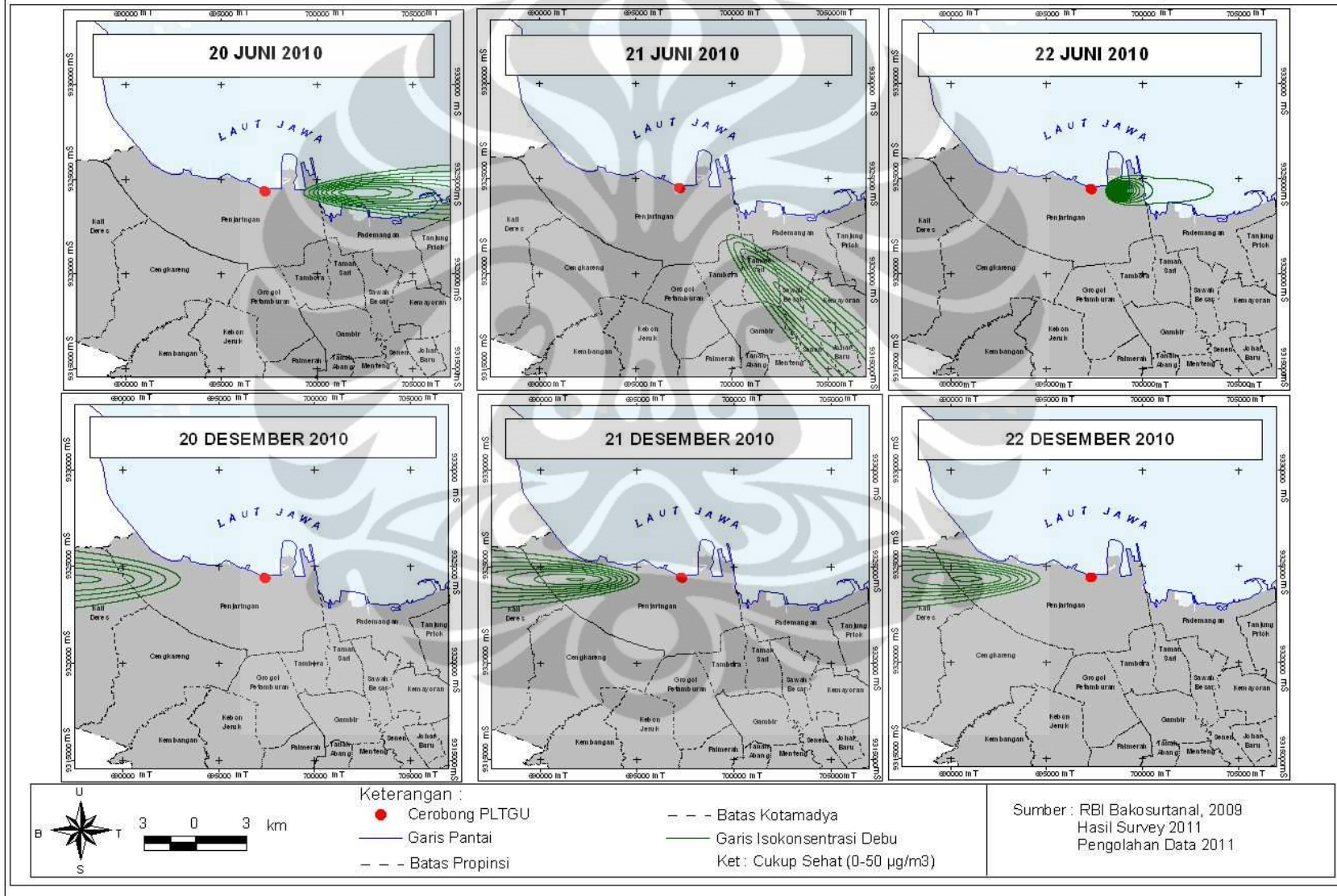
PETA 5





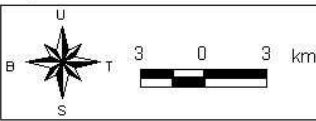
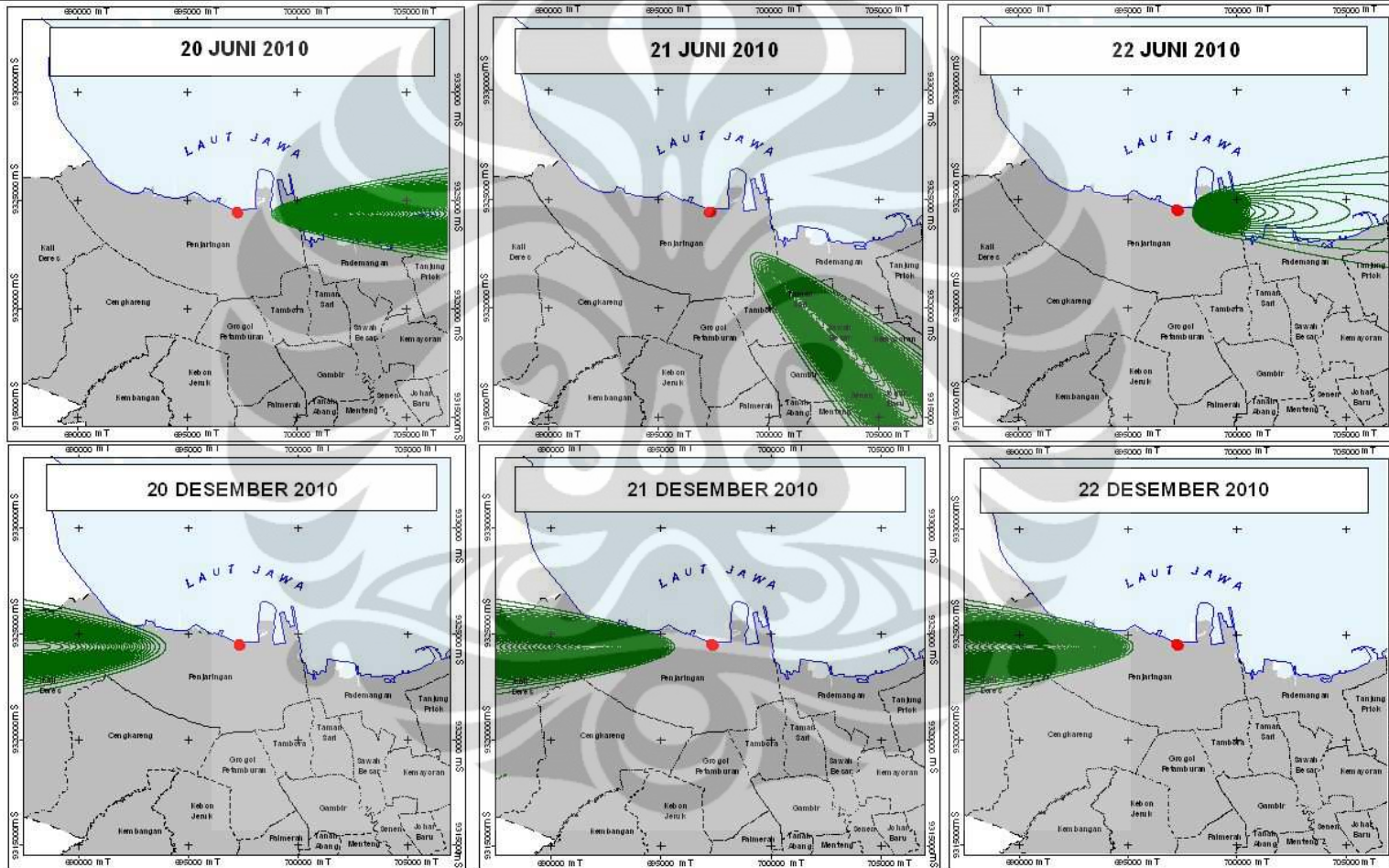
**MODEL SPASIAL PENCEMARAN UDARA PARAMETER DEBU  
DENGAN SUMBER PLTGU MUARA KARANG**

PETA 7



**MODEL SPASIAL PENCEMARAN UDARA PARAMETER NO2  
DENGAN SUMBER PLTGU MUARA KARANG**

PETA 8

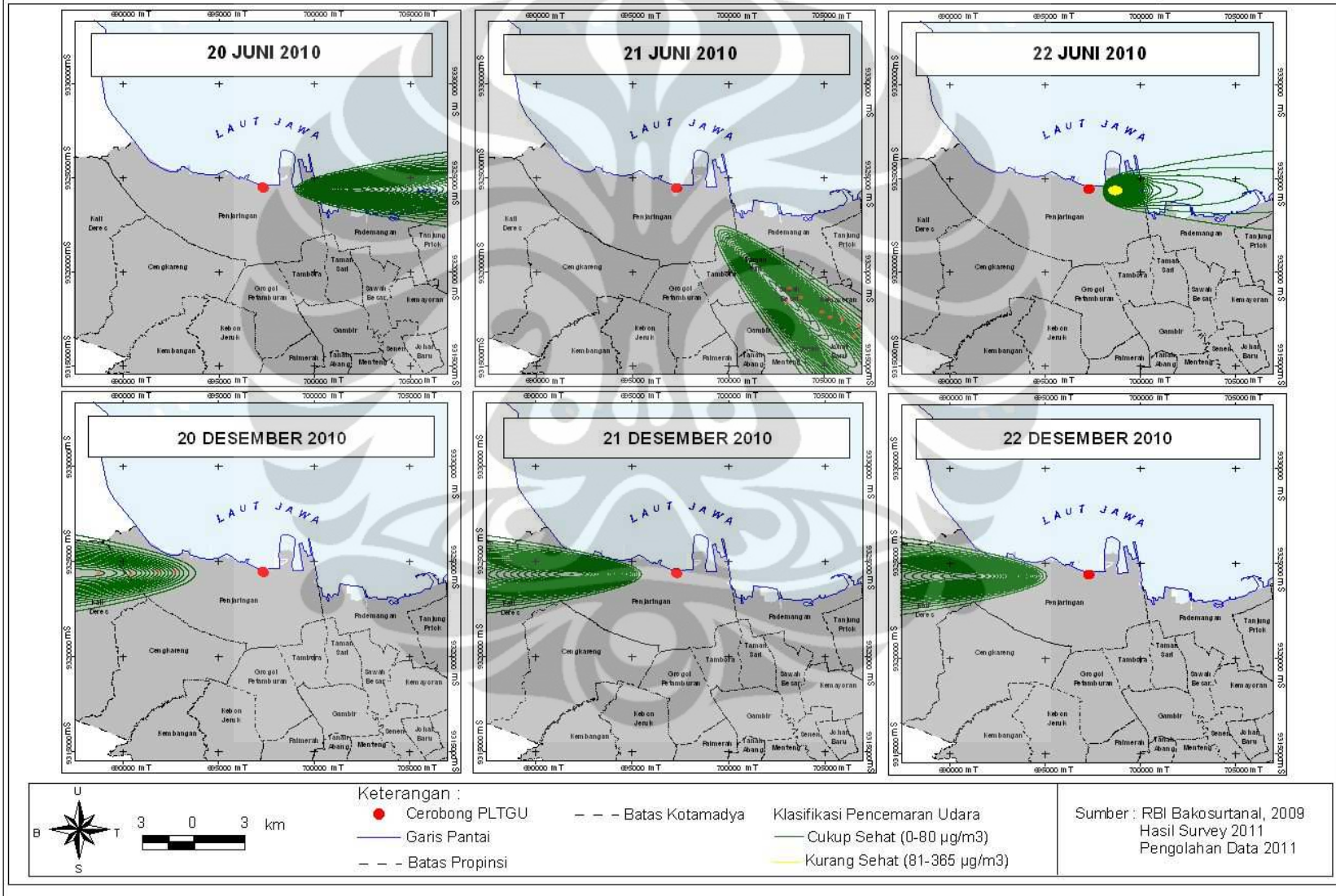


- Keterangan :**
- Cerobong PLTGU
  - Garis Pantai
  - - - Batas Propinsi
  - - - Batas Kotamadya
  - Garis Isokonsentrasi NO2
  - Ket : Cukup Sehat (0-1130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Sumber : RBI Bakosurtanal, 2009  
Hasil Survey 2011  
Pengolahan Data 2011

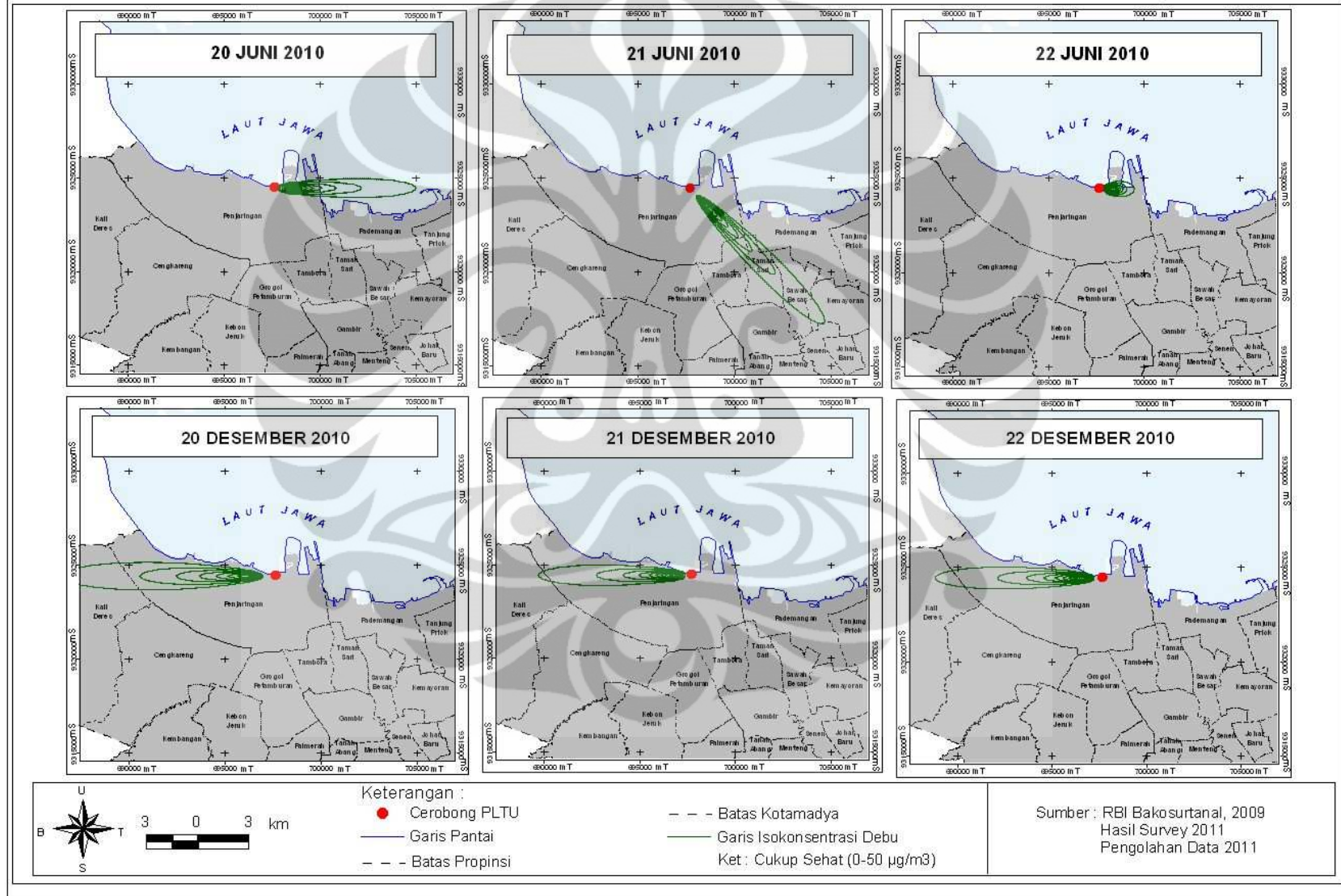
## MODEL SPASIAL PENCEMARAN UDARA PARAMETER SO<sub>2</sub> DENGAN SUMBER PLTGU MUARA KARANG

PETA 9



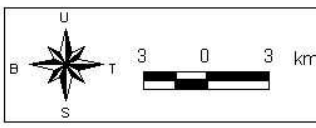
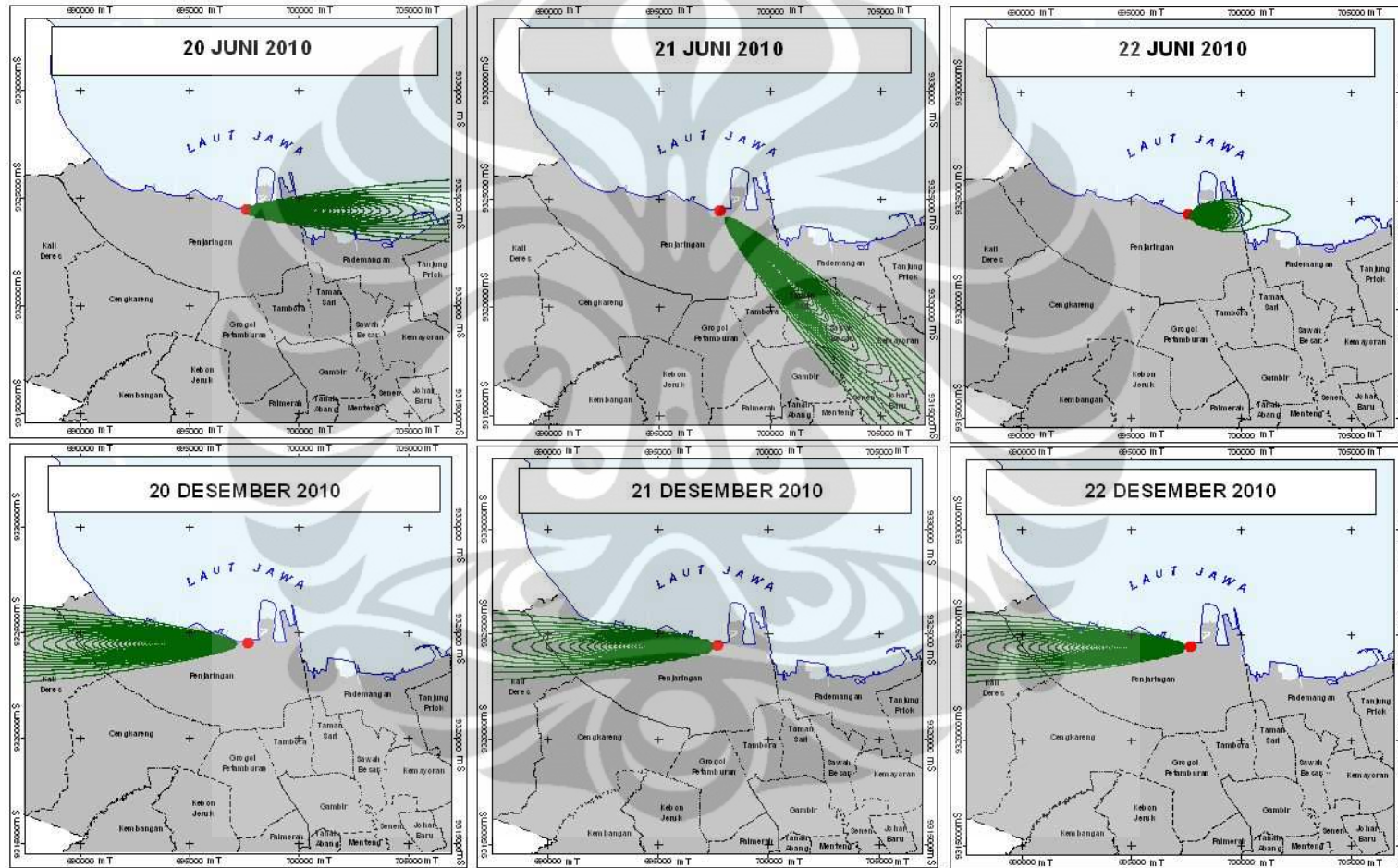
## MODEL SPASIAL PENCEMARAN UDARA PARAMETER DEBU DENGAN SUMBER PLTU MUARA KARANG

PETA 10



**MODEL SPASIAL PENCEMARAN UDARA PARAMETER NO2  
DENGAN SUMBER PLTU MUARA KARANG**

PETA 11

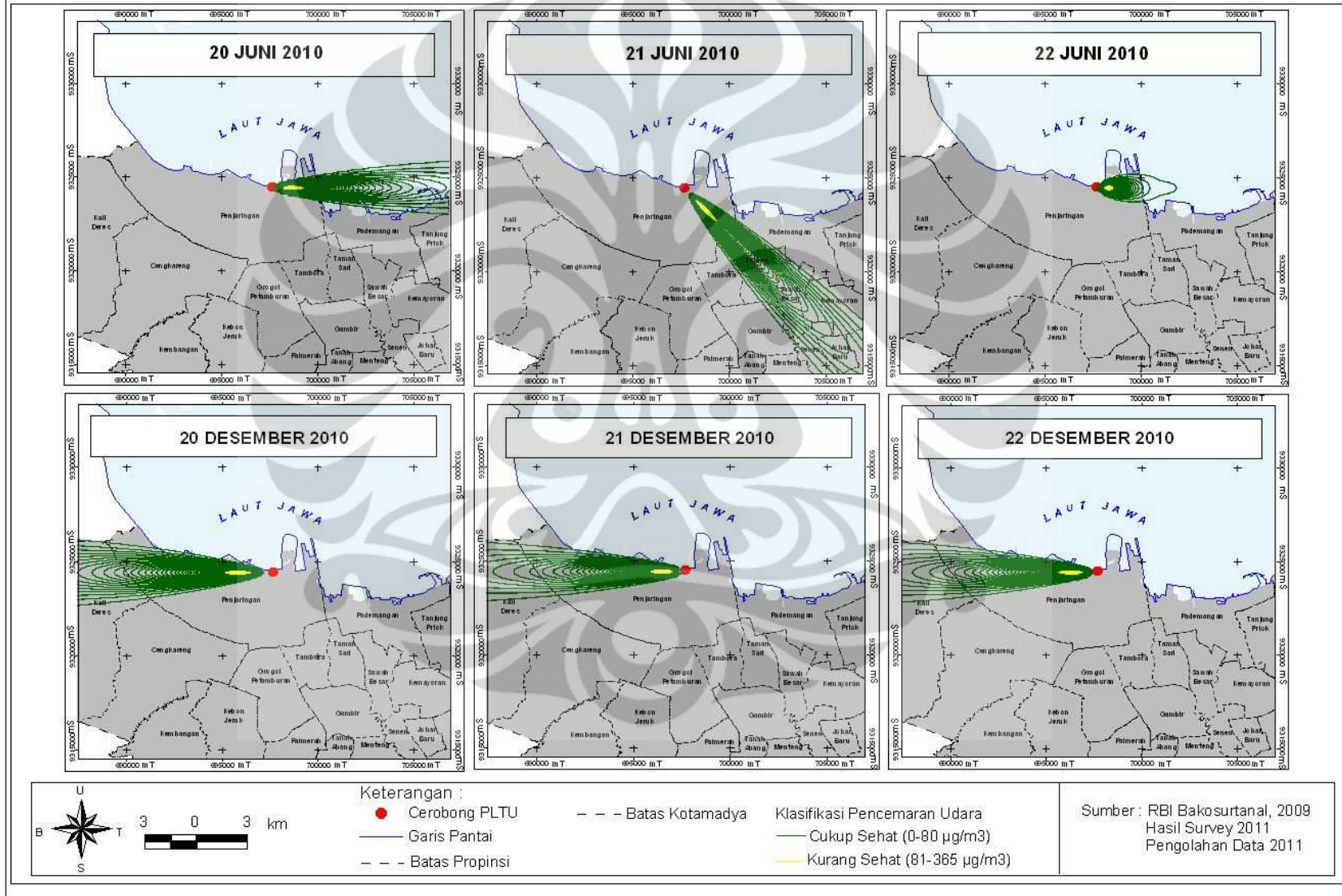


- Keterangan :**
- Cerobong PLTU
  - Garis Pantai
  - - - Batas Propinsi
  - - - Batas Kotamadya
  - Garis Isokonsentrasi NO2
  - Ket : Cukup Sehat (0-1130 µg/m3)

Sumber : RBI Bacosurtanal, 2009  
Hasil Survey 2011  
Pengolahan Data 2011

**MODEL SPASIAL PENCEMARAN UDARA PARAMETER SO<sub>2</sub>  
DENGAN SUMBER PLTU MUARA KARANG**

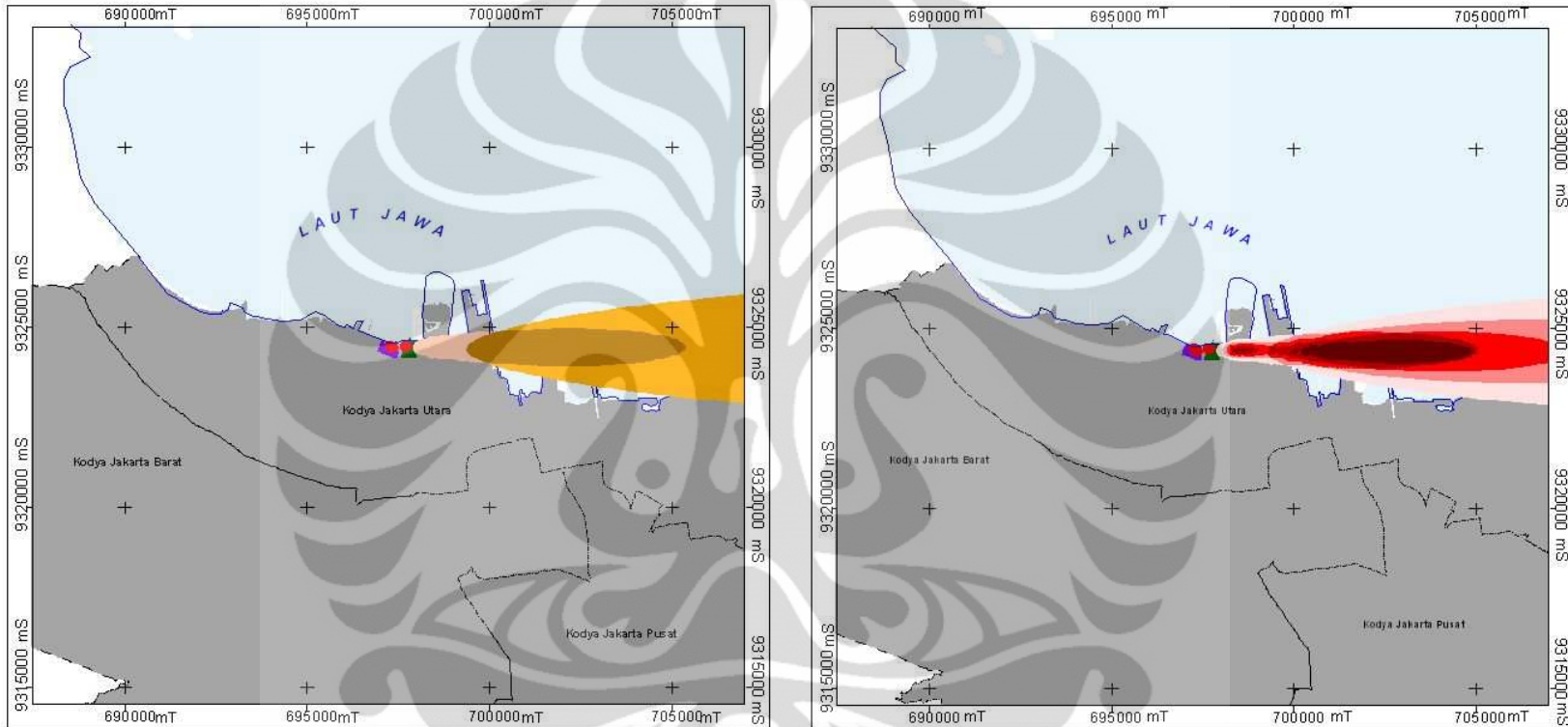
PETA 12





## MODEL SPASIAL PENCEMARAN UDARA PARAMETER DEBU TANGGAL 20 JUNI 2010

PETA 13



Keterangan :

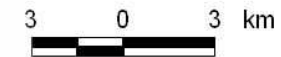
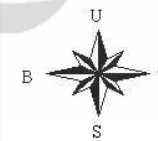
- Cerobong
- Garis Pantai
- - - Batas Propinsi
- Batas Kotamadya
- Wilayah PLTU Muara Karang
- Wilayah PLTGU Muara Karang

Sumber Pencemaran

- PLTU
- PLTGU
- PLTU dan PLTGU

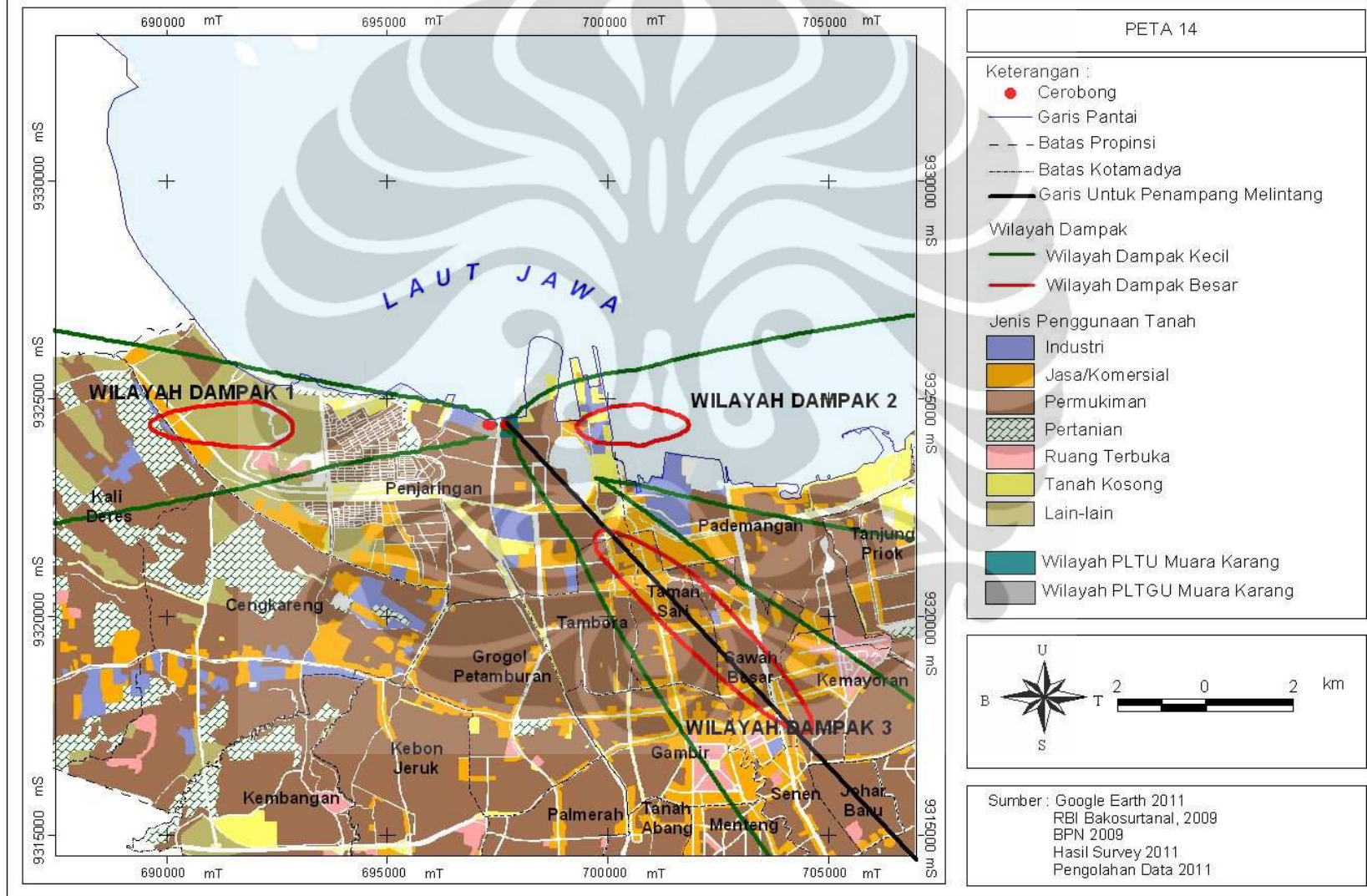
Nilai Konsentrasi

- 2 - 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 6 - 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 10 - 14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 14 - 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 18 - 24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

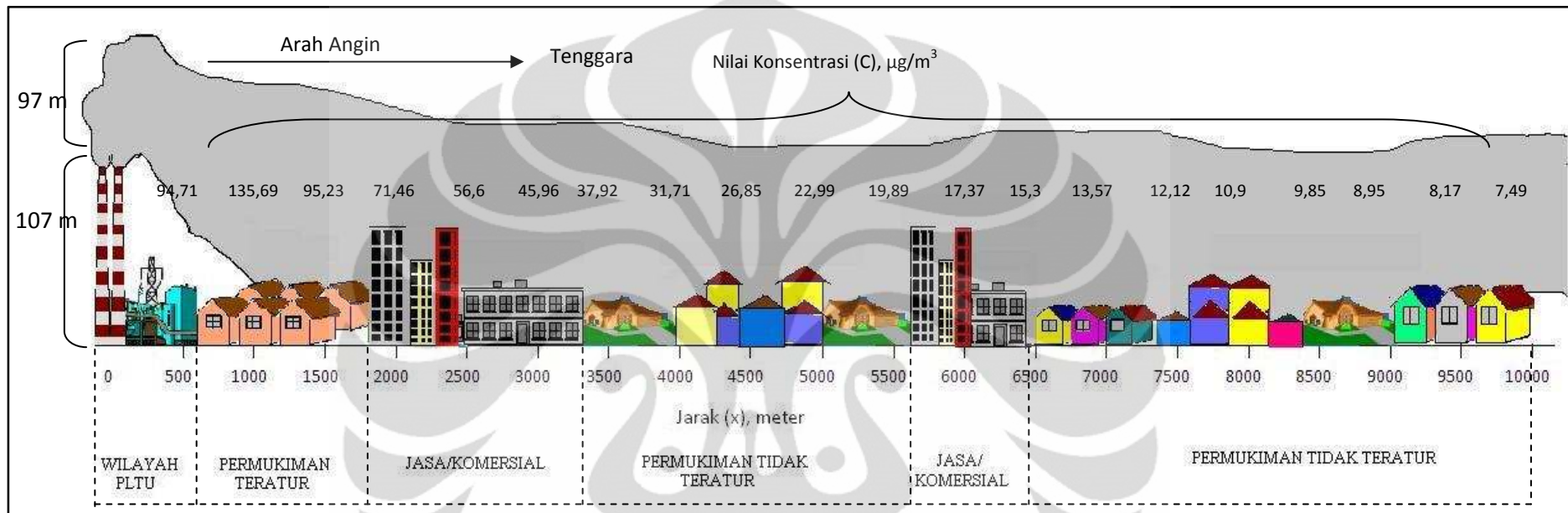


Sumber : Google Earth, 2011  
RBI Bakosurtanal, 2009  
Hasil Survey 2011  
Pengolahan Data 2011

## WILAYAH DAMPAK PENCEMARAN UDARA DARI SUMBER PENCEMAR PLTU DAN PLTGU PADA BULAN JUNI DAN DESEMBER 2010



Penampang Melintang Wilayah Dampak Pencemaran Dari Sumber Pencemar PLTU Pada Tanggal 21 Juni 2010



Lampiran 2

Tabel 1. Meteorologi

Tanggal	Jam Ke	Arah Angin	Kec Angin	Suhu Udara	Stabilitas Atmosfer
20/6/2010	1	0	0	26,0	E
20	2	0	0	25,9	E
20	3	0	0	25,7	E
20	4	0	0	25,6	E
20	5	0	0	25,6	E
20	6	0	0	25,8	E
20	7	90	3	25,5	B
20	8	90	5	26,5	B
20	9	90	6	27,3	A
20	10	270	7	28,2	B
20	11	270	8	28,4	B
20	12	270	8	28,6	B
20	13	315	8	28,7	C
20	14	90	7	28,4	C
20	15	90	6	28,0	C
20	16	90	4	27,6	C
20	17	90	5	27,4	C
20	18	90	4	27,3	C
20	19	90	3	27,3	E
20	20	0	0	27,1	E
20	21	0	0	26,9	E
20	22	0	0	26,7	E
20	23	0	0	26,4	E
20	24	0	0	26,3	E

Tanggal	Jam Ke	Arah Angin	Kec Angin	Suhu Udara	Stabilitas Atmosfer
21/6/2010	1	0	0	26,9	E
21	2	0	0	26,5	E
21	3	0	0	26,2	E
21	4	0	0	25,8	E
21	5	0	0	25,5	E
21	6	0	0	25,3	E
21	7	135	3	25,9	B
21	8	135	5	26,9	A
21	9	135	6	27,7	B
21	10	135	4	28,0	A
21	11	90	8	28,6	B
21	12	135	5	29,1	A
21	13	135	4	29,7	C
21	14	135	6	29,6	B
21	15	135	8	29,4	C
21	16	180	7	29,3	C
21	17	180	6	29,1	C
21	18	135	6	28,8	C
21	19	270	5	28,6	E
21	20	135	5	28,3	E
21	21	135	5	27,7	E
21	22	135	4	27,4	E
21	23	0	0	27,3	E
21	24	0	0	27,1	E

Tanggal	Jam Ke	Arah Angin	Kec Angin	Suhu Udara	Stabilitas Atmosfer
22/6/2010	1	0	0	25,8	E
22	2	0	0	25,6	E
22	3	0	0	25,3	E
22	4	0	0	25,1	E
22	5	0	0	25,0	E
22	6	0	0	24,8	E
22	7	0	0	25,4	B
22	8	135	4	26,5	C
22	9	135	3	27,2	A
22	10	90	3	28,0	A
22	11	135	3	28,3	A
22	12	90	4	28,7	A

22	13	90	5	29,2	A
22	14	45	4	29,0	B
22	15	90	7	29,4	C
22	16	90	4	29,0	C
22	17	45	5	28,8	C
22	18	90	4	28,6	C
22	19	0	0	27,7	E
22	20	90	3	27,4	E
22	21	90	5	27,1	E
22	22	90	5	26,7	E
22	23	90	5	26,5	E
22	24	90	4	26,2	E

(lanjutan)

Tanggal	Jam Ke	Arah Angin	Kec Angin	Suhu Udara	Stabilitas Atmosfer
20/12/2010	1	270	6	24,9	D
20	2	270	7	24,8	D
20	3	270	6	24,6	D
20	4	270	8	24,5	D
20	5	270	6	24,4	D
20	6	270	7	24,3	D
20	7	315	4	25,1	C
20	8	270	4	25,7	C
20	9	270	4	26,3	C
20	10	270	5	26,8	C
20	11	270	4	27,3	C
20	12	270	4	27,7	C
20	13	270	4	27,8	C
20	14	270	6	27,6	D
20	15	315	5	26,7	C
20	16	315	3	27,1	B
20	17	0	0	27,2	B
20	18	270	3	27,1	B
20	19	270	6	26,5	D
20	20	270	8	26,2	D
20	21	270	6	26,0	D
20	22	270	7	25,9	D
20	23	270	9	25,6	D
20	24	270	7	25,2	D

Tanggal	Jam Ke	Arah Angin	Kec Angin	Suhu Udara	Stabilitas Atmosfer
21/12/2010	1	220	4	23,9	E
21	2	0	0	23,9	E
21	3	240	3	23,9	E
21	4	270	3	23,9	E
21	5	250	4	23,9	E
21	6	270	5	24,0	E
21	7	270	6	24,6	C
21	8	280	7	25,1	C
21	9	290	6	25,7	C
21	10	280	9	26,7	B
21	11	280	10	27,4	D
21	12	280	8	28,2	C
21	13	240	7	28,5	C
21	14	270	8	28,7	C
21	15	270	9	28,1	C
21	16	270	8	27,5	C
21	17	270	7	26,5	C
21	18	270	6	25,7	C
21	19	280	7	25,6	D
21	20	270	6	25,0	D
21	21	250	7	24,4	D
21	22	270	7	24,3	D
21	23	260	4	24,2	E
21	24	270	5	23,9	E

Tanggal	Jam Ke	Arah Angin	Kec Angin	Suhu Udara	Stabilitas Atmosfer
22/12/2010	1	0	0	25,1	E
22	2	270	3	25,1	E
22	3	270	3	25,1	E
22	4	270	4	25,1	E
22	5	270	3	25,2	E
22	6	270	4	25,3	E
22	7	270	4	24,4	C
22	8	270	6	25,2	C
22	9	270	6	25,5	B
22	10	270	6	26,5	C
22	11	270	7	27,3	C
22	12	270	6	28,3	C

22	13	270	6	28,6	C
22	14	270	9	28,2	C
22	15	270	8	27,9	C
22	16	270	6	27,6	C
22	17	270	5	25,3	C
22	18	270	6	26,9	C
22	19	270	6	26,6	D
22	20	270	3	25,6	E
22	21	270	3	25,5	E
22	22	270	3	25,3	E
22	23	0	0	25,3	E
22	24	0	0	25,2	E

Lampiran 2.

Tabel 2. Kejadian Angin

H1 (20/6/2010)	Kelas Kecepatan Angin (Knot)				Jumlah Kejadian
	V<1	1≤V≤3	3<V≤7	V>7	
Arah Ke-					
Utara	0	0	0	0	0
Timur Laut	0	0	0	0	0
Timur	0	2	7	0	9
Tenggara	0	0	0	0	0
Selatan	0	0	0	0	0
Barat Daya	0	0	0	0	0
Barat	0	0	0	3	3
Barat Laut	0	0	0	1	1
Jumlah kejadian angin					13
Jumlah tidak terjadi angin					11

H2 (21/6/2010)	Kelas Kecepatan Angin (Knot)				Jumlah Kejadian
	V<1	1≤V≤3	3<V≤7	V>7	
Arah Ke-					
Utara	0	0	0	0	0
Timur Laut	0	0	0	0	0
Timur	0	0	0	1	1
Tenggara	0	0	10	1	11
Selatan	0	0	3	0	3
Barat Daya	0	0	0	0	0
Barat	0	0	1	0	1
Barat Laut	0	0	0	0	0
Jumlah kejadian angin					16
Jumlah tidak terjadi angin					8

H3(22/6/2010)	Kelas Kecepatan Angin (Knot)				Jumlah Kejadian
	V<1	1≤V≤3	3<V≤7	V>7	
Arah Ke-					
Utara	0	0	0	0	0
Timur Laut	0	0	2	0	2
Timur	0	2	9	0	11
Tenggara	0	2	1	0	3
Selatan	0	0	0	0	0
Barat Daya	0	0	0	0	0
Barat	0	0	0	0	0
Barat Laut	0	0	0	0	0
Jumlah kejadian angin					16
Jumlah tidak terjadi angin					8

(lanjutan)

H4 (20/12/2010)	Kelas Kecepatan Angin (Knot)				Jumlah Kejadian
	V<1	1≤V≤3	3<V≤7	V>7	
Arah Ke-					
Utara	0	0	0	0	0
Timur Laut	0	0	0	0	0
Timur	0	0	0	0	0
Tenggara	0	0	0	0	0
Selatan	0	0	0	0	0
Barat Daya	0	0	0	0	0
Barat	0	1	12	3	16
Barat Laut	0	1	6	0	7
Jumlah kejadian angin					23
Jumlah tidak terjadi angin					1

H5 (21/12/2010)	Kelas Kecepatan Angin (Knot)				Jumlah Kejadian
	V<1	1≤V≤3	3<V≤7	V>7	
Arah Ke-					
Utara	0	0	0	0	0
Timur Laut	0	0	0	0	0
Timur	0	0	0	0	0
Tenggara	0	0	0	0	0
Selatan	0	0	0	0	0
Barat Daya	0	1	2	0	3
Barat	0	1	13	6	20
Barat Laut	0	0	0	0	0
Jumlah kejadian angin					23
Jumlah tidak terjadi angin					1

H6(22/12/2010)	Kelas Kecepatan Angin (Knot)				Jumlah Kejadian
	V<1	1≤V≤3	3<V≤7	V>7	
Arah Ke-					
Utara	0	0	0	0	0
Timur Laut	0	0	0	0	0
Timur	0	0	0	0	0
Tenggara	0	0	0	0	0
Selatan	0	0	0	0	0
Barat Daya	0	0	0	0	0
Barat	0	6	13	2	21
Barat Laut	0	0	0	0	0
Jumlah kejadian angin					21
Jumlah tidak terjadi angin					3

Tabel 3. Hasil Perhitngan

Sumber PLTGU- Tanggal 20 Juni 2010

Koordinat		Konsentrasi Debu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Konsentrasi SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Konsentrasi NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
x	y								
100	0	0	0	0	2400	0	7,381661467	29,03957773	47,18472677
200	0	1,54401E-95	9,503E-95	1,6815E-94	2500	0	8,395121683	32,93373763	53,44697005
300	0	1,82378E-44	1,12204E-43	1,98535E-43	2600	0	9,387343487	36,73342276	59,54753594
400	0	1,46512E-25	8,93113E-25	1,57958E-24	2700	0	10,34490382	40,38860091	65,40708151
500	0	1,8707E-16	1,10205E-15	1,94528E-15	2800	0	11,25719564	43,86019774	70,96400922
600	0	2,40701E-11	1,3418E-10	2,35819E-10	2900	0	12,11624143	47,11926559	76,17304012
700	0	3,51449E-08	1,84466E-07	3,22082E-07	3000	0	12,91642462	50,14586921	81,0033565
800	0	4,39732E-06	2,18557E-05	3,78642E-05	3100	0	13,65418117	52,9278463	85,43656399
900	0	0,000126872	0,000602603	0,001035575	3200	0	14,32768176	55,45955355	89,46464736
1000	0	0,001441031	0,006598834	0,011252646	3300	0	14,93652486	57,74067126	93,08803359
1100	0	0,008794701	0,039116347	0,066232897	3400	0	15,48145337	59,77511052	96,31382958
1200	0	0,03493312	0,151797232	0,255414802	3500	0	15,96410153	61,57004539	99,15426763
1300	0	0,102182732	0,435785449	0,729219795	3600	0	16,38677498	63,13507765	101,6253687
1400	0	0,239064887	1,004184877	1,672298872	3700	0	16,75226381	64,48153162	103,745818
1500	0	0,473530226	1,964448083	3,257850826	3800	0	17,06368678	65,62187059	105,5360364
1600	0	0,826566893	3,393891281	5,608130936	3900	0	17,32436405	66,56922279	107,0174304
1700	0	1,308624331	5,327160641	8,775058596	4000	0	17,53771497	67,3370035	108,2117949
1800	0	1,919118783	7,755785009	12,74052736	4100	0	17,70717762	67,93861997	109,1408494
1900	0	2,648052341	10,63553735	17,42910436	4200	0	17,83614683	68,38724592	109,8258848
2000	0	3,478592968	13,89701678	22,72558664	4300	0	17,92792766	68,69565415	110,2875038
2100	0	4,389777009	17,45629503	28,4923618	4400	0	17,98570145	68,87609649	110,5454348
2200	0	5,358876289	21,2240004	34,58404346	4500	0	18,01250235	68,9402222	110,6184079
2300	0	6,363249864	25,11226913	40,85855177	4600	0	18,01120203	68,89902683	110,5240787
					4700	0	17,98450092	68,76282516	110,2789896
					4800	0	17,93492459	68,54124264	109,8985603

Ket: E = 10<sup>x</sup>



(lanjutan)

4900	0	17,86482403	68,24322097	109,3971006
5000	0	17,7763788	67,87703408	108,787839
5100	0	17,67160235	67,45031169	108,0829629
5200	0	17,55234884	66,97006799	107,2936669
5300	0	17,420321	66,4427338	106,4302059
5400	0	17,2770785	65,87419053	105,5019515
5500	0	17,12404675	65,26980508	104,5174486
5600	0	16,96252568	64,63446469	103,4844726
5700	0	16,79369849	63,97261119	102,410085
5800	0	16,61864011	63,28827419	101,3006871
5900	0	16,43832545	62,58510293	100,1620716
6000	0	16,25363713	61,86639647	98,99947144
6100	0	16,06537292	61,13513231	97,81760584
6200	0	15,87425271	60,39399314	96,62072344
6300	0	15,68092498	59,64539186	95,41264257
6400	0	15,4859729	58,89149491	94,19678859
6500	0	15,28992	58,13424378	92,97622858
6600	0	15,09323532	57,37537498	91,75370327
6700	0	14,8963383	56,61643845	90,53165648
6800	0	14,69960322	55,85881442	89,31226223
6900	0	14,50336323	55,10372895	88,09744956
7000	0	14,30791418	54,35226822	86,88892526
7100	0	14,11351798	53,60539147	85,68819471
7200	0	13,92040581	52,86394297	84,49658088
7300	0	13,72878099	52,12866289	83,31524168
7400	0	13,53882155	51,40019722	82,1451858

7500	0	13,35068271	50,67910681	80,98728711
7600	0	13,16449901	49,96587562	79,8422978
7700	0	12,98038633	49,26091822	78,71086032
7800	0	12,7984437	48,56458662	77,59351826
7900	0	12,61875494	47,87717649	76,49072615
8000	0	12,44139019	47,19893276	75,40285852
8100	0	12,26640726	46,53005479	74,33021797
8200	0	12,09385284	45,87070097	73,27304258
8300	0	11,92376371	45,22099301	72,23151262
8400	0	11,75616767	44,58101971	71,20575661
8500	0	11,59108456	43,95084047	70,19585687
8600	0	11,42852702	43,33048844	69,20185444
8700	0	11,26850131	42,71997335	68,22375367
8800	0	11,111008	42,11928412	67,2615263
8900	0	10,95604258	41,52839119	66,31511513
9000	0	10,80359605	40,94724866	65,38443745
9100	0	10,65365541	40,37579618	64,46938797
9200	0	10,50620416	39,81396072	63,56984166
9300	0	10,3612227	39,2616581	62,68565618
9400	0	10,21868873	38,71879444	61,81667412
9500	0	10,07857757	38,18526743	60,96272503
9600	0	9,940862512	37,66096748	60,12362724
9700	0	9,805515065	37,14577878	59,29918949
9800	0	9,672505233	36,63958022	58,48921243
9900	0	9,541801737	36,14224624	57,69348994
10000	0	9,413372222	35,6536476	56,91181033

(lanjutan)

Sumber PLTU-Tanggal 20 Juni 2010

Koordinat		Konsentrasi Debu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Konsentrasi $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Konsentrasi $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
x	y			
100	0	1,9902E-10	1,22702E-09	1,16351E-09
200	0	0,12897608	0,844412974	0,861333717
300	0	5,615160423	37,86810666	39,90866964
400	0	18,06920992	123,3799791	131,742853
500	0	27,37192198	188,0627538	202,1019692
600	0	31,19926808	215,1167382	232,0127474
700	0	31,41156785	217,0580102	234,6322287
800	0	29,82469543	206,3956067	223,4395256
900	0	27,52011846	190,6437674	206,6024899
1000	0	25,05016953	173,6639319	188,3443688
1100	0	22,6734636	157,2758304	170,6681172
1200	0	20,49955437	142,2578198	154,4385426
1300	0	18,5649461	128,8755714	139,9575726
1400	0	16,87065487	117,1444637	127,2510121
1500	0	15,40066441	106,958983	116,2104748
1600	0	14,13139288	98,1592996	106,6666218
1700	0	13,03685431	90,56765867	98,42929685
1800	0	12,09155673	84,00887693	91,31019802
1900	0	11,27206567	78,32145835	85,13523615
2000	0	10,557727	73,36279787	79,75038937
2100	0	9,930862185	69,01066869	75,0234623
2200	0	9,376651832	65,16250627	70,84340987
2300	0	8,882855761	61,73352943	67,11836681

2400	0	8,439466643	58,65437933	63,77313132
2500	0	8,038356018	55,8686913	60,74655984
2600	0	7,672944983	53,3308278	57,9891259
2700	0	7,337914454	51,00387935	55,46076251
2800	0	7,028959357	48,85796582	53,1290258
2900	0	6,742585241	46,86882923	50,96757196
3000	0	6,475942949	45,0166889	48,95491691
3100	0	6,226695897	43,28532162	47,07343926
3200	0	5,992914496	41,66132966	45,30858616
3300	0	5,772992679	40,13356161	43,64824482
3400	0	5,565582176	38,69265635	42,08224739
3500	0	5,369540896	37,33068464	40,60198172
3600	0	5,183892421	36,04086789	39,20008587
3700	0	5,007794222	34,81735741	37,87020826
3800	0	4,840512684	33,65506088	36,6068191
3900	0	4,681403442	32,54950585	35,40506202
4000	0	4,529895855	31,49673175	34,26063673
4100	0	4,385480695	30,49320445	33,16970614
4200	0	4,247700349	29,53574813	32,12882228
4300	0	4,116140969	28,62149076	31,13486714
4400	0	3,990426155	27,74782027	30,1850049
4500	0	3,870211839	26,91234891	29,27664334
4600	0	3,755182098	26,11288427	28,40740224
4700	0	3,64504572	25,34740536	27,57508748
4800	0	3,539533347	24,61404285	26,77766951

Ket: E =  $10^x$

(lanjutan)

4900	0	3,438395098	23,91106247	26,01326538
5000	0	3,341398549	23,23685109	25,28012359
5100	0	3,248327029	22,58990483	24,57661119
5200	0	3,158978146	21,96881888	23,90120273
5300	0	3,073162524	21,37227867	23,25247071
5400	0	2,990702692	20,79905224	22,62907723
5500	0	2,91143211	20,24798346	22,02976669
5600	0	2,835194315	19,71798606	21,45335933
5700	0	2,761842146	19,20803834	20,89874543
5800	0	2,691237066	18,71717841	20,36488016
5900	0	2,623248537	18,24449986	19,85077896
6000	0	2,557753463	17,78914794	19,35551329
6100	0	2,494635684	17,35031599	18,87820683
6200	0	2,433785504	16,92724223	18,41803197
6300	0	2,375099273	16,51920682	17,97420662
6400	0	2,318478991	16,12552912	17,54599127
6500	0	2,263831952	15,74556524	17,13268628
6600	0	2,211070407	15,3787057	16,73362939
6700	0	2,16011126	15,02437329	16,34819337
6800	0	2,110875782	14,68202114	15,97578392
6900	0	2,063289345	14,35113083	15,61583766
7000	0	2,017281177	14,03121071	15,26782026
7100	0	1,972784132	13,72179429	14,93122476
7200	0	1,929734477	13,42243881	14,6055699
7300	0	1,888071694	13,1327238	14,29039868
7400	0	1,847738291	12,85224981	13,98527692

7500	0	1,80867963	12,58063721	13,68979198
7600	0	1,770843765	12,31752505	13,4035515
7700	0	1,734181288	12,06257002	13,12618229
7800	0	1,698645188	11,81544546	12,85732923
7900	0	1,664190717	11,5758404	12,59665428
8000	0	1,630775264	11,34345874	12,34383553
8100	0	1,598358239	11,11801841	12,09856631
8200	0	1,566900961	10,89925058	11,86055438
8300	0	1,536366557	10,686899	11,62952112
8400	0	1,506719863	10,48071929	11,40520081
8500	0	1,47792733	10,28047828	11,18733997
8600	0	1,449956946	10,08595348	10,97569666
8700	0	1,422778147	9,896932461	10,77003991
8800	0	1,396361745	9,713212347	10,57014912
8900	0	1,370679856	9,534599329	10,37581355
9000	0	1,345705832	9,360908182	10,18683179
9100	0	1,321414198	9,191961831	10,00301128
9200	0	1,297780591	9,027590935	9,824167879
9300	0	1,274781706	8,867633494	9,650125421
9400	0	1,252395242	8,711934479	9,480715315
9500	0	1,230599849	8,560345488	9,315776174
9600	0	1,209375085	8,412724412	9,155153455
9700	0	1,188701368	8,268935126	8,998699118
9800	0	1,168559936	8,128847198	8,846271313
9900	0	1,148932805	7,99233561	8,697734075
10000	0	1,129802733	7,859280496	8,552957042

Lampiran 3.

## PERHITUNGAN EMISI

### PLTGU HRSG 1.1

Data yang digunakan untuk perhitungan emisi secara teoritis antara lain:

1. Tinggi Cerobong (Hs) : 45 meter
2. Diameter Cerobong (D) : 5,4 meter
3. Luas Penampang (A) : 22,8906 m<sup>2</sup>
4. Jam Operasi (Op Hours) : 8011,12 jam/tahun
5. Kecepatan lepasan emisi (Vs) : 114.28 m/dt
6. Konsentrasi emisi Terukur
  - SO<sub>2</sub> : 55,7 mg/Nm<sup>3</sup>
  - NO<sub>2</sub> : 93,26 mg/Nm<sup>3</sup>
  - Debu : 19,8 mg/Nm<sup>3</sup>
7. Suhu Gas Out (Ts) : 125° C = 398 K

#### Perhitungan untuk PLTGU HRSG 1.1

$$\text{Kecepatan emisi (Q)} = C \times q \times 0,0036 \times (\text{Op Hours})$$

$$\text{Laju Alir Volumetrik (q)} = V_s \times A$$

$$C = \text{Konsentrasi terukur (mg/Nm}^3\text{)}$$

$$q = \text{Laju alir volumetrik (m}^3\text{/dt)}$$

$$0,0036 = \text{Faktor konversi dari mg/dt ke kg/jam}$$

Op Hours = Jam operasi pembangkit dalam 1 tahun

$$V_s = \text{Kecepatan lepasan emisi (m/dt)}$$

$$A = \text{Luas penampang cerobong (m}^2\text{)}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju Alir Volumetrik (q)} &= 114,28 \text{ m/dt} \times 22,8906 \text{ m}^2 \\ &= 2615,937768 \text{ m}^3\text{/dt} \end{aligned}$$

a. Untuk SO<sub>2</sub>

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan emisi (Q)} &= C \times q \times 0,0036 \times (\text{Op Hours}) \\ &= 55,7 \text{ mg/Nm}^3 \times 2615,937768 \text{ m}^3\text{/dt} \times 0,0036 \times 8011,12 \\ &= 4202215,702 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

(lanjutan)

$$= 133,2514 \text{ g/dt}$$

b. Untuk  $\text{NO}_2$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan emisi (Q)} &= C \times q \times 0,0036 \times (\text{Op Hours}) \\ &= 93,26 \text{ mg/Nm}^3 \times 2615,937768 \text{ m}^3/\text{dt} \times 0,0036 \times 8011,12 \\ &= 7035882,161 \text{ kg/jam} \\ &= 223,1064 \text{ g/dt} \end{aligned}$$

c. Untuk debu

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan emisi (Q)} &= C \times q \times 0,0036 \times (\text{Op Hours}) \\ &= 19,8 \text{ mg/Nm}^3 \times 2615,937768 \text{ m}^3/\text{dt} \times 0,0036 \times 8011,12 \\ &= 1493785,833 \text{ kg/jam} \\ &= 47,36764 \text{ g/dt} \end{aligned}$$

#### PLTU UNIT 4

Data yang digunakan untuk perhitungan emisi secara teoritis antara lain:

1. Tinggi Cerobong ( $H_s$ ) : 107 meter
2. Diameter Cerobong ( $D$ ) : 4 meter
3. Luas Penampang ( $A$ ) :  $12,56 \text{ m}^2$
4. Jam Operasi ( $\text{Op Hours}$ ) : 4131,75 jam/tahun
5. Kecepatan lepasan emisi ( $V_s$ ) :  $37,64 \text{ m/dt}$
6. Konsentrasi emisi Terukur
  - $\text{SO}_2$  :  $184,23 \text{ mg/Nm}^3$
  - $\text{NO}_2$  :  $227,47 \text{ mg/Nm}^3$
  - Debu :  $22,93 \text{ mg/Nm}^3$
7. Suhu Gas Out ( $T_s$ ) :  $125^\circ \text{C} = 398 \text{ K}$

#### Perhitungan untuk PLTU UNIT 4

$$\text{Kecepatan emisi (Q)} = C \times q \times 0,0036 \times (\text{Op Hours})$$

$$\text{Laju Alir Volumetrik (q)} = V_s \times A$$

$$C = \text{Konsentrasi terukur (mg/Nm}^3\text{)}$$

$$q = \text{Laju alir volumetrik (m}^3/\text{dt)}$$

(lanjutan)

0,0036 = Faktor konversi dari mg/dt ke kg/jam

Op Hours = Jam operasi pembangkit dalam 1 tahun

Vs = Kecepatan lepasan emisi (m/dt)

A = Luas penampang cerobong (m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned}\text{Laju Alir Volumetrik (q)} &= 37,64 \text{ m/dt} \times 12,56 \text{ m}^2 \\ &= 472,7584 \text{ m}^3/\text{dt}\end{aligned}$$

a. Untuk SO<sub>2</sub>

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan emisi (Q)} &= C \times q \times 0,0036 \times (\text{Op Hours}) \\ &= 184,23 \text{ mg/Nm}^3 \times 472,7584 \text{ m}^3/\text{dt} \times 0,0036 \times 4131,75 \\ &= 1295496,198 \text{ kg/jam} \\ &= 41,07991 \text{ g/dt}\end{aligned}$$

b. Untuk NO<sub>2</sub>

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan emisi (Q)} &= C \times q \times 0,0036 \times (\text{Op Hours}) \\ &= 227,47 \text{ mg/Nm}^3 \times 472,7584 \text{ m}^3/\text{dt} \times 0,0036 \times 4131,75 \\ &= 1599557,728 \text{ kg/jam} \\ &= 50,72164 \text{ g/dt}\end{aligned}$$

c. Untuk debu

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan emisi (Q)} &= C \times q \times 0,0036 \times (\text{Op Hours}) \\ &= 22,93 \text{ mg/Nm}^3 \times 472,7584 \text{ m}^3/\text{dt} \times 0,0036 \times 4131,75 \\ &= 161242,6197 \text{ kg/jam} \\ &= 5,11297 \text{ g/dt}\end{aligned}$$

## 2. PERHITUNGAN DISPERSI

### TANGGAL 20 JUNI 2010

1. Suhu Lingkungan (Ts) : 27° C = 300 K
2. Kecepatan angin dominan (U<sub>10</sub>) : 8 knot = 4,11552 m/dt
3. Arah angin dominan : Timur
4. Sudut angin dominan : 90°
5. Kestabilan atmosfer : C (sedikit tidak stabil)
6. Kecepatan angin di ujung cerobong (Us)

(lanjutan)

Untuk PLTGU dengan tinggi cerobong ( $H_s$ ) 45 m:

$$U_s = U_{10} \times \left(\frac{H_s}{10}\right)^{0,25}$$

$$U_s = 4,11553 \text{ m/dt} \times \left(\frac{45}{10}\right)^{0,25}$$

$$U_s = 5,994153 \text{ m/dt}$$

Untuk PLTU dengan tinggi cerobong ( $H_s$ ) 107 m:

$$U_s = U_{10} \times \left(\frac{H_s}{10}\right)^{0,25}$$

$$U_s = 4,11553 \text{ m/dt} \times \left(\frac{107}{10}\right)^{0,25}$$

$$U_s = 7,443388 \text{ m/dt}$$

#### 7. Tinggi keputan ( $\Delta H$ )

Untuk PLTGU 1.1 dengan kecepatan lepasan emisi ( $V_s$ ) 114,28 m/dt dan diameter (D) 5,4 m

$$\Delta H = 3 d \left(\frac{V_s}{U_s}\right)$$

$$\Delta H = 3 \times 5,4 \text{ m} \times \left(\frac{114,28}{5,994153}\right)$$

$$\Delta H = 308,857 \text{ m}$$

Untuk PLTGU 1.2 dengan kecepatan lepasan emisi ( $V_s$ ) 117,8m/dt dan diameter (D) 5,4 m

$$\Delta H = 3 d \left(\frac{V_s}{U_s}\right)$$

$$\Delta H = 3 \times 5,4 \text{ m} \times \left(\frac{117,8}{5,994153}\right)$$

$$\Delta H = 318,3702 \text{ m}$$

Untuk PLTGU 1.3 dengan kecepatan lepasan emisi ( $V_s$ ) 110,35 m/dt dan diameter (D) 5,4 m

$$\Delta H = 3 d \left(\frac{V_s}{U_s}\right)$$

$$\Delta H = 3 \times 5,4 \text{ m} \times \left(\frac{110,35}{5,994153}\right)$$

$$\Delta H = 298,2356 \text{ m}$$

Untuk PLTU UNIT 4 dengan kecepatan lepasan emisi ( $V_s$ ) 37,64 m/dt dan diameter (D) 4 m

$$\Delta H = 3 d \left(\frac{V_s}{U_s}\right)$$

$$\Delta H = 3 \times 4 \text{ m} \times \left(\frac{37,64}{7,443388}\right)$$

$$\Delta H = 60,68204 \text{ m}$$

Untuk PLTU UNIT 5 dengan kecepatan lepasan emisi ( $V_s$ ) 35,57 m/dt dan diameter (D) 4 m

(lanjutan)

$$\Delta H = 3 d \left( \frac{Vs}{Us} \right)$$

$$\Delta H = 3 \times 4 \text{ m} \times \left( \frac{35,57}{7,443388} \right)$$

$$\Delta H = 57,34485 \text{ m}$$

#### 8. Tinggi efektif (He)

Untuk PLTGU 1.1 dengan tinggi cerobong (Hs) 45 m

$$He = Hs + \Delta H$$

$$He = 45 \text{ m} + 308,857 \text{ m} = 353,857 \text{ m}$$

Untuk PLTGU 1.2 dengan tinggi cerobong (Hs) 45 m

$$He = Hs + \Delta H$$

$$He = 45 \text{ m} + 318,3702 \text{ m} = 363,3702 \text{ m}$$

Untuk PLTGU 1.3 dengan tinggi cerobong (Hs) 45 m

$$He = Hs + \Delta H$$

$$He = 45 \text{ m} + 298,2356 \text{ m} = 343,2356 \text{ m}$$

Untuk PLTU UNIT 4 dengan tinggi cerobong (Hs) 107 m

$$He = Hs + \Delta H$$

$$He = 107 \text{ m} + 60,68204 \text{ m} = 167,68204 \text{ m}$$

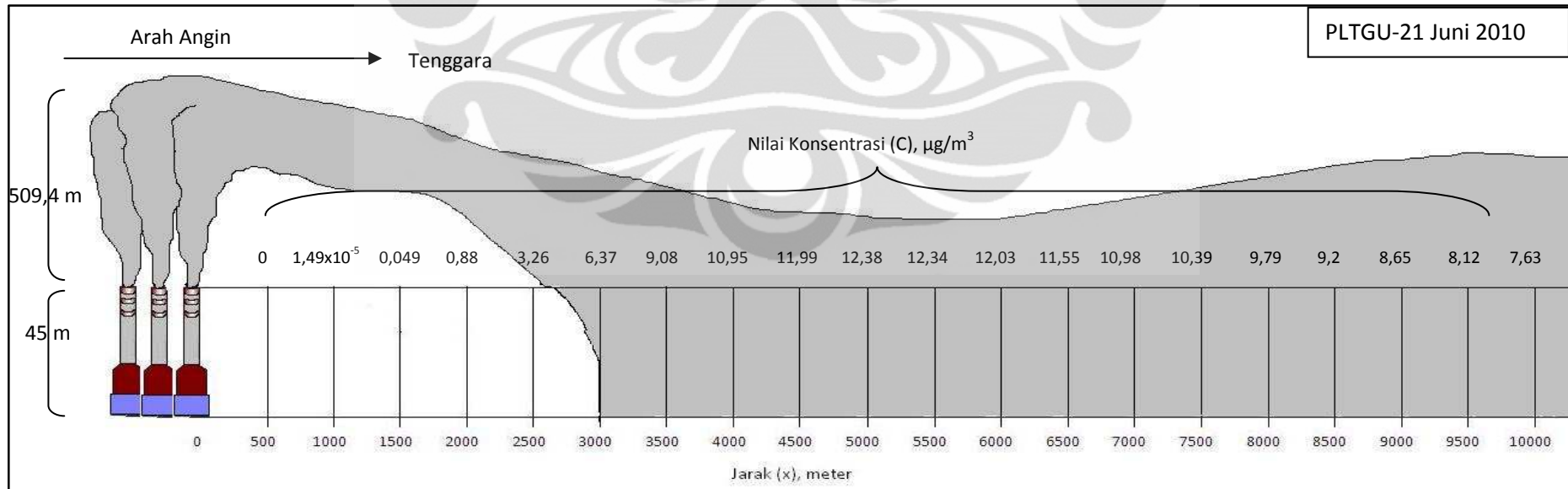
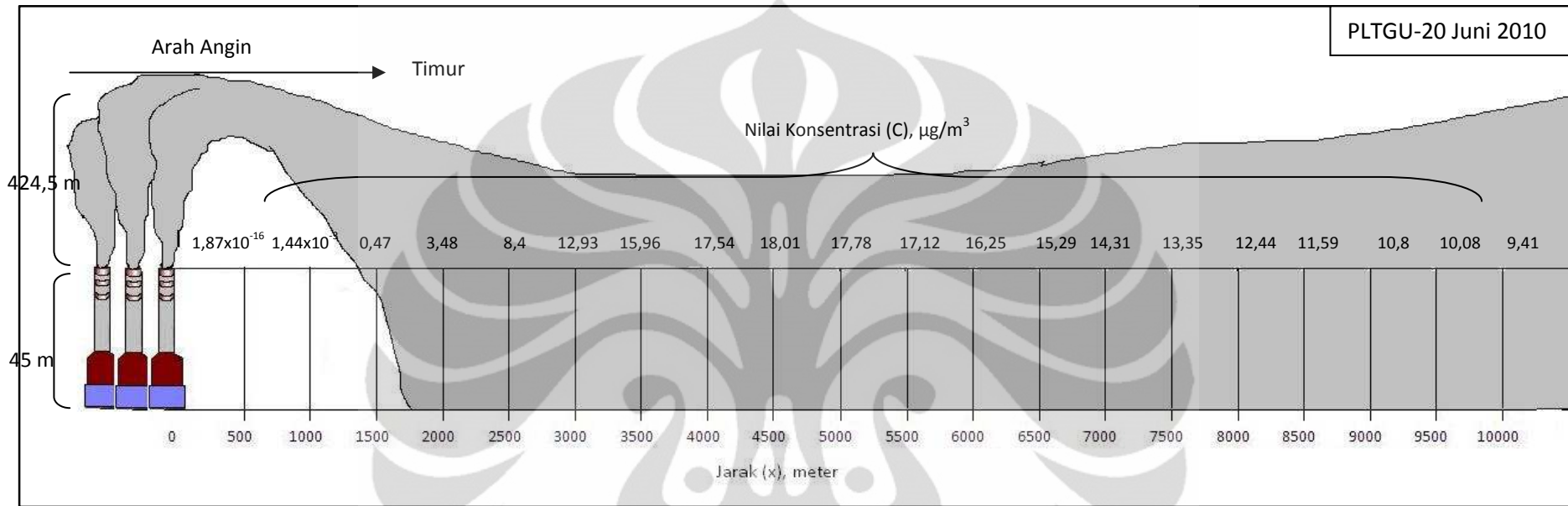
Untuk PLTU UNIT 5 dengan tinggi cerobong (Hs) 107 m

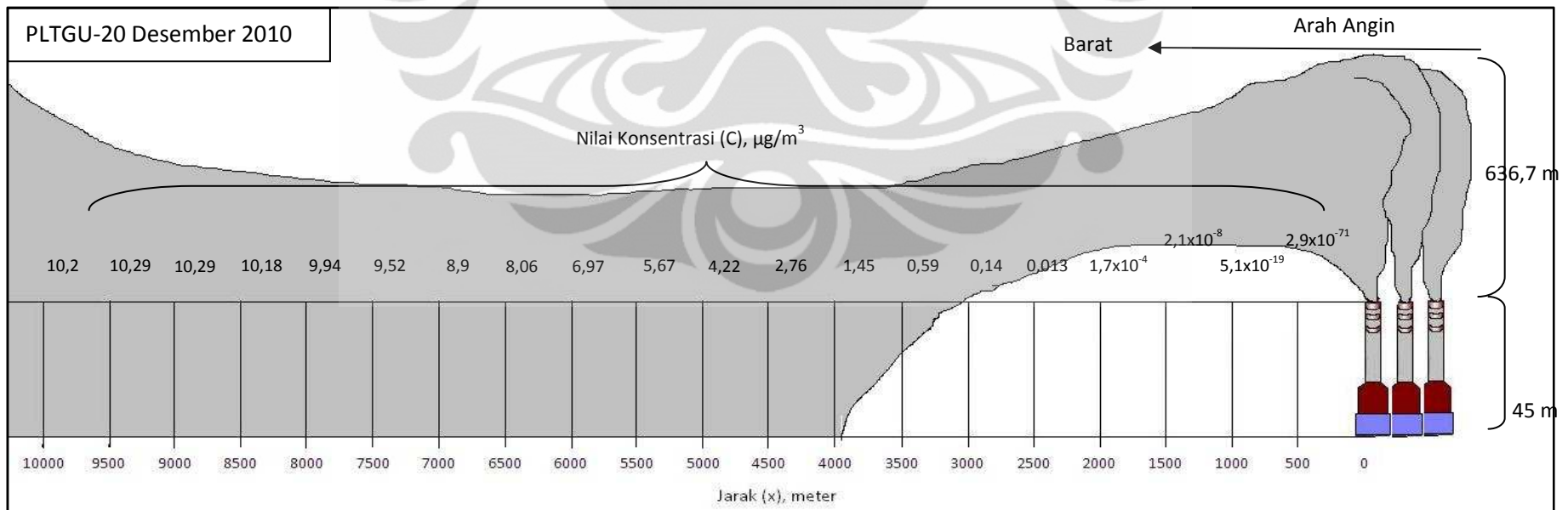
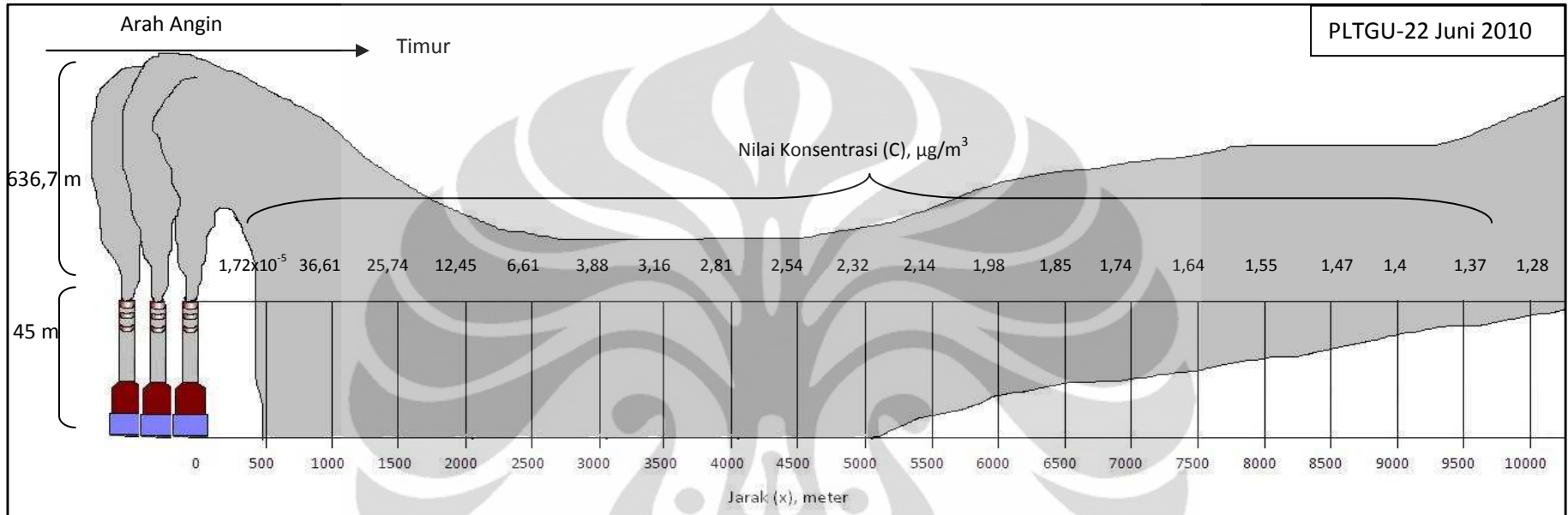
$$He = Hs + \Delta H$$

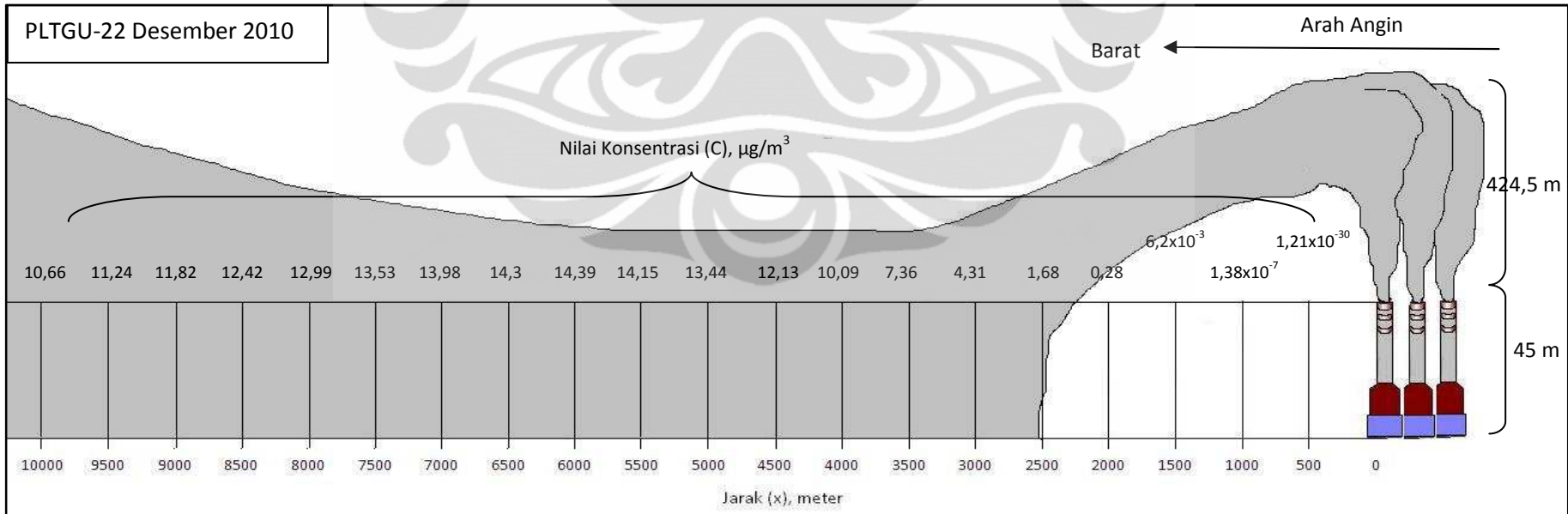
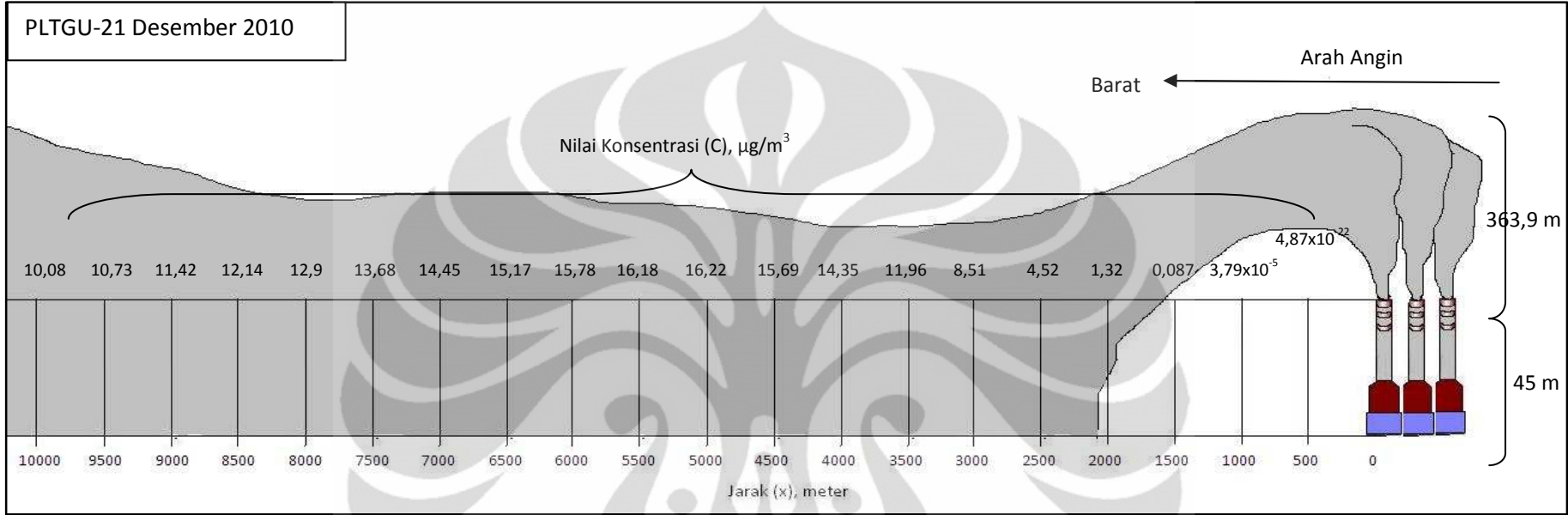
$$He = 107 \text{ m} + 57,34485 \text{ m} = 164,34485 \text{ m}$$

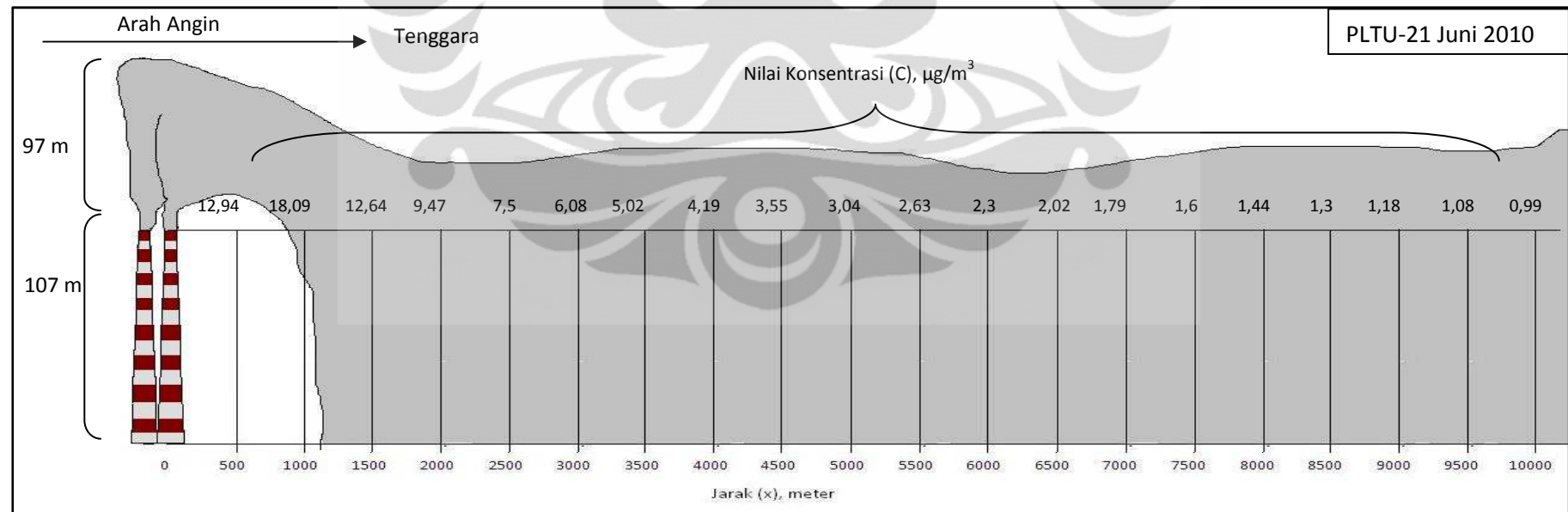
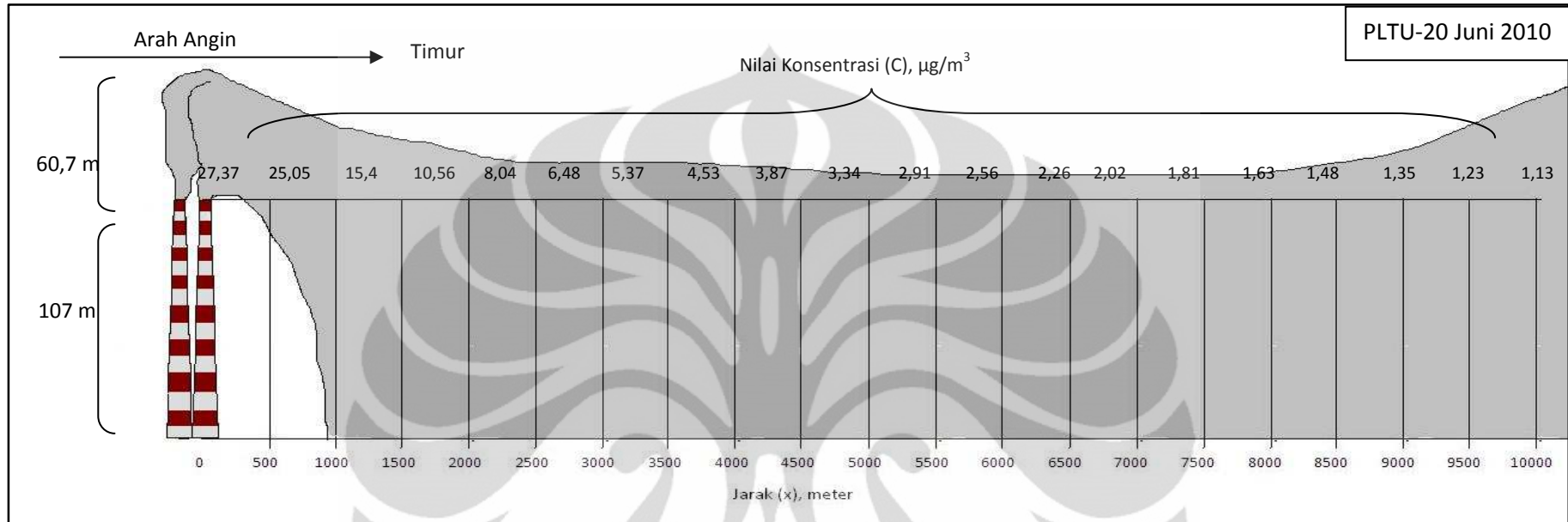


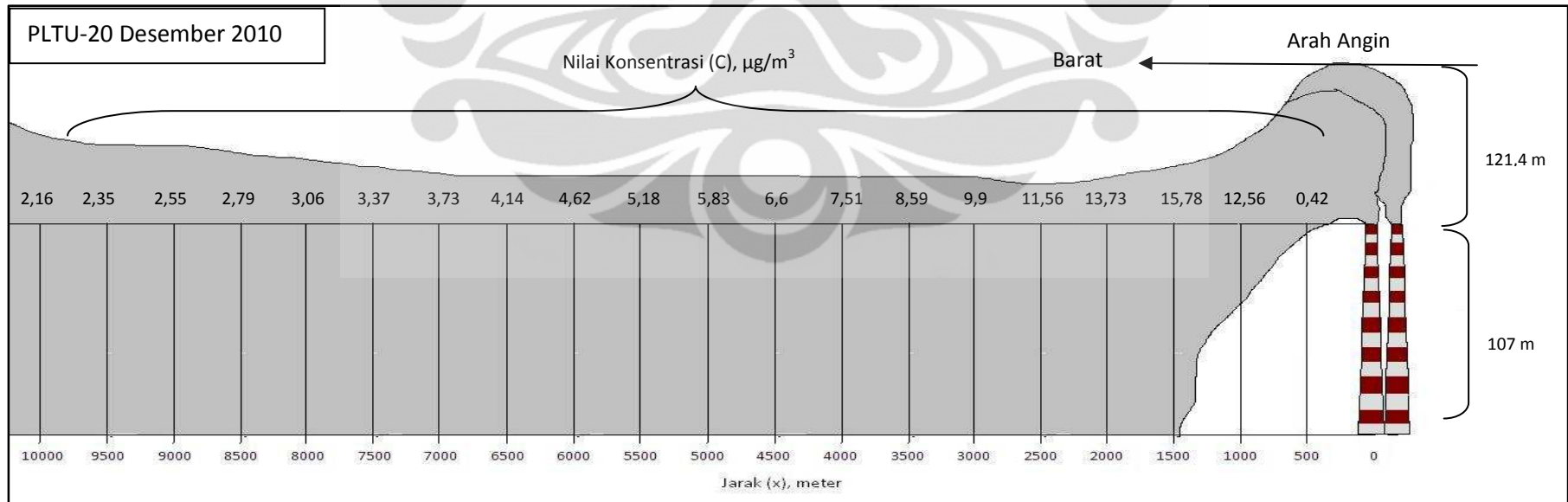
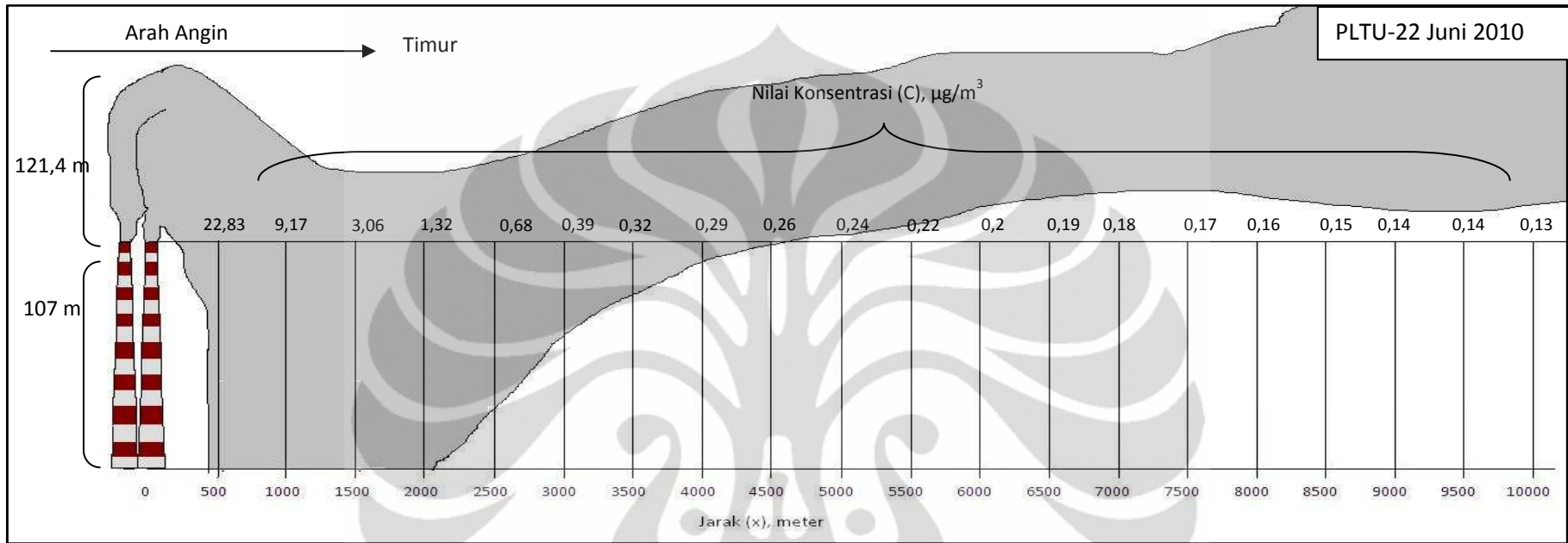
Lampiran 4. Gambar Ilustrasi Semburan Emisi Parameter Debu

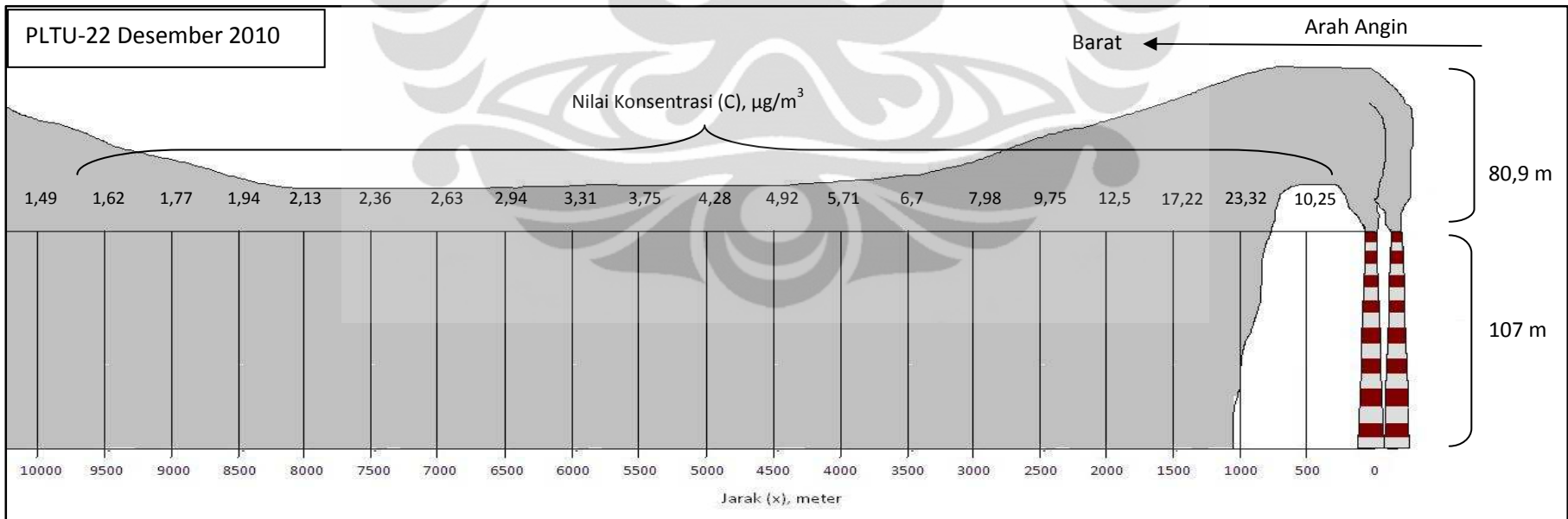
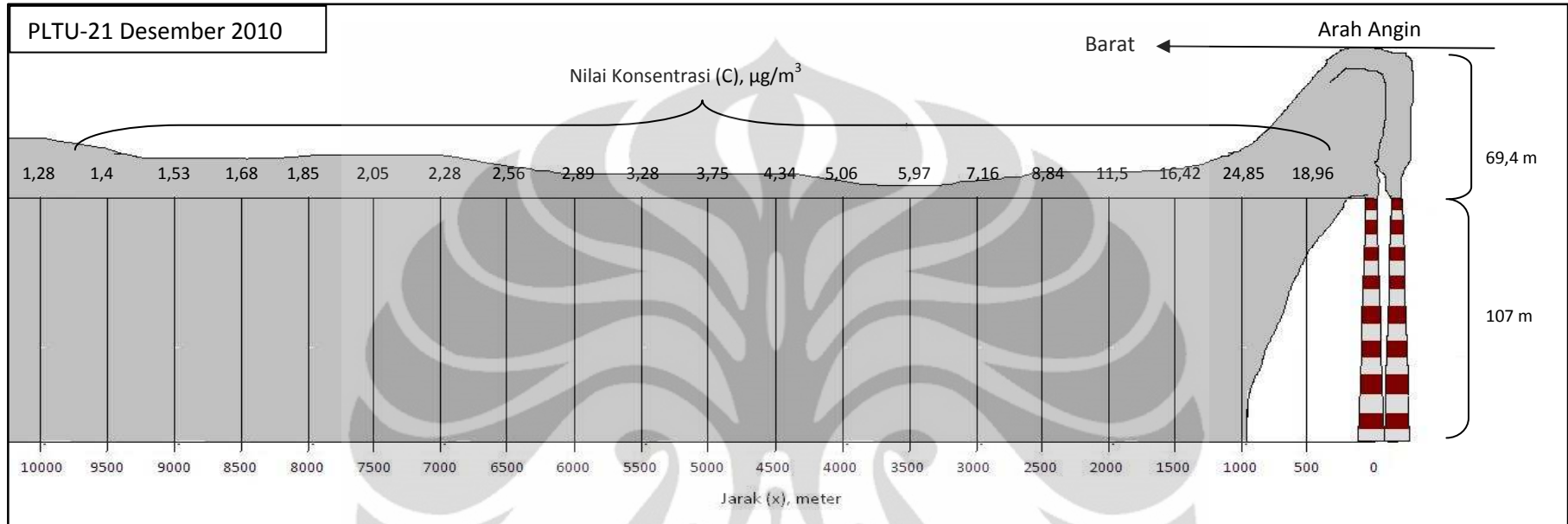












Lampiran 5. Foto-foto



Foto 1. Cerobong PLTU 4 (kanan) dan PLTU 5 (kiri)



Foto 2. Cerobong PLTGU 1.1, 1.2 dan 1.3 (dari kiri ke kanan)



Foto 3. Cerobong PLTU dilihat dari arah sejajar



Foto 4. Switch Yard Area di PLTU