

PENYEBARAN POLUSI UDARA DARI DAERAH INDUSTRI DI DKI JAKARTA

Chunaeni Latief ^{*)}, Sumaryati ^{*)}, Afif Budiyo ^{*)}, Timbul Manik ^{**)}

^{*)} Bidang Pengkajian Ozon dan Polusi Udara PUSFATSATKLIM - LAPAN

^{**)} Bidang Aplikasi Klimatologi dan Lingkungan PUSFATSATKLIM - LAPAN

Yosiono A. Palal

BPLHD Propinsi DKI Jakarta

Abstrak

DKI Jakarta berkembang pesat dan cepat, khususnya sektor industri, transportasi, perdagangan dan jasa-jasa pendukungnya, yang berdampak pada lingkungan salah satunya polusi udara. Dengan menggunakan metode analisis kuantitatif dan kualitatif yaitu: Indek Kualitas Udara (IKU) ORAQI, ketinggian lapisan percampuran (mixing height) serta penyebaran polusi udara dengan menggunakan TAPM, diperoleh bahwa Jakarta Timur, Senayan Sport dan daerah Casablanca kualitas udaranya masih sangat bagus. Mixing height pada pagi hari relatif lebih rendah dari pada di siang hari. Penjalaran polusi udara di tiga lokasi yang mewakili wilayah DKI yaitu daerah Cilincing mewakili daerah timur-utara Jakarta, daerah Kecamatan Cengkareng mewakili barat-utara Jakarta, daerah Pasar Rebo (Jl. Raya Bogor) mewakili daerah selatan Jakarta dan analisis yang mewakili musim hujan serta musim kemarau pada malam hari polutan dari Jakarta Pusat cenderung tersebar ke arah utara terutama pada musim penghujan, dan sedikit condong ke arah barat laut pada musim kemarau. Sedangkan di siang hari polutan tersebar lebih jauh ke selatan, dan polutan dibelokkan ke arah barat, terutama sumber emisi yang jauh dari pantai. Daerah di DKI Jakarta bagain utara dan barat laut seperti Kecamatan Tanjung Priok, Penjaringan, Kalideres dan Cengkareng adalah daerah yang mendapat kiriman polutan dari wilayah Jakarta Pusat. Daerah selatan dan tenggara adalah daerah yang tidak mendapat kiriman polutan dari Jakarta dan daerah ini cocok dikembangkan untuk perumahan. Lokasi industri yang paling cocok adalah daerah timur laut dan utara Jakarta seperti Tanjung Priok, Koja dan Cilincing .

Absract

DKI Jakarta grows rapidly especially industry, transportation, bussiness which are influence the environment for instance air pollution. By using qualitative and quantitative method there were Air Quality Index (ORAQI), mixing height and air pollution distribution of TAPM. Obtained East Jakarta, Senayan Sport and Casablanca region air pollution were excellent. Mixing height in the morning was more lower than the afternoon. Air pollution distrinution in Cilincing as East-North Jakarta, Cengkareng District as West-North Jakarta, and Pasar Rebo as South Jakarta and coincide with analysis rainy and dry seasons were in night condition air pollution was distributed tend to north, especially in rainy season and tend to Nort-West in dry season. But in afternoon pollutant spread out far to south region and turned to west direction, especially source emission that came far from coast, such as Tanjung Priok, Penjaringan, Kalideres and Cengkareng Districs received pollutant from Centre of Jakarta. South and South-West regions were lightly polluted and good for housing settlement. Industrial area was in North-East and North region were Tanjung Priok, Koja and Cilincing.

Polusi Udara dan Pengukurannya (2005), 91- 108

Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional

1. PENDAHULUAN

Pembangunan di DKI Jakarta yang pesat dan cepat, dicirikan dengan tumbuh suburnya pembangunan sektor industri dan transportasi, perdagangan dan jasa-jasa pendukungnya, namun akan berdampak pada ketidakseimbangan lingkungan salah satunya polusi udara. Sejalan dengan populasi manusia dan kegiatan ekonomi yang juga semakin meningkat, dampak dan permasalahan pencemaran udara semakin hari semakin meningkat dan kompleks,

Sumber polusi udara di DKI Jakarta yang dominan adalah transportasi, industri, dan kegiatan domestik (rumah tangga). Gambaran pencemaran udara dari sumber yang tidak bergerak yang memberikan kontribusi pencemaran (laporan BAPEDALDA DKI tahun 1999/2000) tahun 1998 terdapat 3450 industri besar dan sedang. Pemakaian bahan bakar untuk kegiatan tungku/industri/komersial adalah batubara/residu adalah 96/280 ton/tahun, residu minyak bumi 372.660 ton/tahun. Kebutuhan ini dipenuhi oleh distribusi minyak bumi 19.690 ton/hari dan gas alam cair (elpiji) 153.932.000 m³/tahun. Dari jumlah industri di DKI tersebut dan jumlah pemakaian bahan bakar tentunya meningkatkan atau menambah polusi udara. Sedangkan sumber pencemar bergerak dari tahun ke tahun semakin meningkat, total panjang jalan di seluruh wilayah DKI adalah 7.424,5 km (Direktorat Lalu Lintas Polda Metro Jaya, Media, Jumát 3 November 2001) sudah dipadati jutaan kendaraan bermotor sebesar 3.899.840 unit terdiri dari 1.119.818 unit mobil penumpang, 379.856 unit mobil beban, 311.854 unit bus dan 2.088.312 unit sepeda motor, belum lagi ditambah kendaraan bermotor dari luar DKI baik yang berdomisili di DKI maupun yang bekerja di DKI tetapi bermukim di luar DKI. Kondisi ini sudah menyebabkan panjang kendaraan sudah tidak seimbang dengan panjang jalan yang ada di DKI Jakarta. Hal ini menyebabkan kemacetan lalu lintas setiap harinya dan memberikan kontribusi pencemaran udara yang cukup signifikan selain sektor industri.

1.1. Tujuan dan Manfaat

Tujuan kegiatan atau analisis ini adalah untuk mengetahui dan prediksi pola penyebaran polusi udara di DKI Jakarta, khususnya di daerah industri yang diharapkan dapat memberikan gambaran distribusi dan tingkat pencemaran udara ambien di wilayah Jakarta sebagai akibat tingginya aktifitas industri dan transportasi.

Sedangkan manfaat analisis ini adalah untuk mengantisipasi daerah-daerah yang terkena dampak penyebaran polusi udara dalam rangka mewujudkan lingkungan nyaman dan lestari. Di sisi lain sebagai masukan pada pihak-pihak terkait, sebagai bahan pertimbangan penempatan lokasi industri atau kegiatan lain dalam perencanaan tata ruang umum atau detail tata ruang wilayah di DKI Jakarta ditinjau dari aspek penyebaran polusi udara.

Negara/Kota. Hasil perhitungan indeks kualitas udara ambien tersebut dapat dibandingkan dengan nilai kategori tingkat-tingkat angka kualitas udara (Wayne R.Ott., 1989), seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 1.1. Kategori kualitas udara ambien

NO	Tingkat Ketegori	Deskripsi
1	Lebih kecil dari 20	Kondisi udara ambien sangat bagus
2	20 – 39	Kondisi udara ambien bagus
3	40 – 59	Kondisi udara ambien cukup bagus
4	60 – 79	Kondisi udara ambien jelek
5	80 – 99	Kondisi udara ambien sangat jelek
6	Lebih besar 100	Kondisi udara ambien berbahaya

2. PENYEBARAN POLUSI UDARA

Secara umum pola pencemaran udara di suatu perkotaan akan mempunyai konsentrasi tertinggi mulai dari kegiatan transportasi, industri, pertokoan/jasa perdagangan dan daerah lengang. Konsentrasi dan penyebaran polutan ini tidak memandang batas, melainkan hanya kondisi kegiatan, meteorologis dan lingkungan setempat yang akan mempengaruhi penyebaran polusi udara tersebut.

Di pusat kota, dominasi sumber pencemar udara adalah transportasi dan industri. Tingginya tingkat konsentrasi polutan lebih diakibatkan oleh aktifitas transportasi dan industri. Sementara daerah luar kota (garis luar kota) dominasi sumber pencemar udara adalah industri dan transportasi (kebalikan dari kondisi pusat kota). Pada daerah suburban (penyangga) sumber pencemar udara relatif sama antara industri dan transportasi serta rumah tangga. Pada daerah pedesaan sumber pencemar udara adalah kegiatan/aktifitas rumah tangga dan alam. Pada tabel 1.2. diperlihatkan permasalahan pencemaran udara.

Tabel 1.2. Kategori permasalahan pencemaran udara

NO	Skala Horizontal	Skala Vertikal	Skala waktu (orde)	Skala dan yang wajib menanganinya
1	Lokal	Setinggi stack	Jam	Pemda
2	Perkotaan/urban	Beberapa Mil (m)	Hari	Pemda/beberapa Pemda
3	Regional	Troposfer	Bulan	Provinsi/Nasional
4	Continental	Stratosfer	Tahun	Nasional/Internasional
5	Global	Atmosfer	Dekade	Internasional

a. TAPM (The Air Pollution Model)

Untuk menganalisis penyebaran polusi udara dari suatu daerah industri dilakukan dengan model TAPM yang dapat digunakan untuk mensimulasikan penyebaran polutan dari suatu sumber polutan yang berupa cerobong (titik), baik tunggal maupun banyak sumber. Selain berfungsi untuk memprediksi pola sebaran polusi, TAPM juga menghasilkan parameter meteo. Secara visual sebaran polutan dan parameter meteo (arah dan kecepatan angin) dapat ditampilkan dengan GIS yang terkait dalam TAPM ini. Secara numerik sebaran polutan dan parameter meteo (angin, temperatur, radiasi matahari, kelembaban, dll) pada setiap grid dan level dapat dibaca dengan program EXEL atau NOTEPAD. Suatu kawasan industri dapat ditampilkan banyak cerobong sumber polutan dengan berbagai dimensi, sehingga sebaran polutan dari kawasan industri dapat dipadukan dengan arah angin. Namun bagaimanapun karakter penyebaran polutan ini, juga dipengaruhi oleh lapisan pencampur (mixing height) atau lapisan ventilasi di atmosfer.

b. Mixing Height.

Penyebaran polusi di udara ada kaitannya dengan lapisan ventilasi yang sering disebut mixing height. Bila lapisan ini tinggi, maka penjalaran polutan akan mudah menyebar ke berbagai daerah (luas) walaupun konsentrasinya rendah. Sebaliknya bila rendah, penyebaran polusi akan rendah dan mengarah ke daerah tertentu (kurang luas). Dengan diketahuinya mixing height, maka dapat dilihat prakiraan kualitas pola penyebaran saat itu.

Menurut A. Dobbins (1979) bahwa besarnya polutan berbanding terbalik dengan faktor ventilasi (Ventilation Factor). Hubungan ini dinyatakan:

$$C = Q/(UH) \exp(-Z^2/2S_z) \dots\dots\dots (1.2)$$

Dimana: C konsentrasi polutan [g/m^3], Q emisi sumber polutan [$g/detik$], U kecepatan angin rata-rata permukaan dengan ketinggian mixing layer [m/dt], H ketinggian mixing layer atau mixing height atau mixing depth [m], Z koordinat ketinggian, S_z koefisien dispersi arah ke atas Z [m], UH disebut factor ventilasi sedangkan $\exp(-Z^2/2S_z)$ untuk suatu lokasi lazimnya konstan.

Dari peluncuran balon dengan payload radiosonde dapat dicari mixing height, ditunjukkan dari titik potong antara kurva suhu udara dengan garis adiabatik kering (dry adiabatic lapse rate), melalui titik suhu maksimum permukaan. Selanjutnya dapat dihitung ketinggian mixing height (lapisan pencampuran udara).

Pada umumnya kecepatan angin rata-rata (U) rendah sehingga faktor mixing height dominan dalam menentukan besarnya konsentrasi polutan. Semakin naik faktor ventilasi semakin naik mixing height atau semakin tebal, maka konsentrasi polutan (diambil CO_2 sebagai salah satu bentuk gas buang industri yang merupakan Gas Rumah Kaca GRK) semakin tebal. Dari formulasi persamaan 1.2, dengan kondisi tersebut maka konsentrasi polutan akan rendah, selanjutnya konsentrasinya dapat diprediksi.

3. PENGUKURAN DAN KOMPILASI DATA

3.1. Kondisi Udara Ambien

Data yang diambil pada tahun 1999 maupun tahun 2000 (BAPEDALDA DKI Jakarta) ke lima parameter kualitas udara di semua titik di DKI Jaakarta tidak lengkap, sehingga hanya dihitung IKU tiga tempat saja yang memenuhi syarat dan lengkap.

Dari data bulanan rata-rata yang diperoleh BAPEDALDA DKI Jakarta untuk daerah Jakarta Timur, daerah Senayan, dan Stasiun Mobil dapat diambil rata-rata satu tahun yaitu diambil dari data harian selama satu bulan dirata-ratakan, kemudian diambil rata-rata tahunan pada tahun 2001 (lihat tabel 2.1). Data selanjutnya dibandingkan dengan nilai ambang batas atau baku mutu (standard) tahun 1999 (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, Nomer 41 tahun 1999, tanggal 26 Mei 1999).

Tabel 3.1. Data pengukuran parameter PM10, SO₂, CO, O₃, NO₂, rata-rata tahunan di Jakarta Timur DKI Jakarta tahun 2001.

Bulan	PM10 µg/m ³	SO ₂ µg/m ³	CO µg/m ³	O ₃ µg/m ³	NO ₂ µg/m ³
Jan	47,40	10,58	1,46	28,18	35,24
Feb	44,61	12,88	1,34	23,09	30,6
Maret	58,66	15,26	1,75	28,27	34,48
April	78,86	19,89	2,01	37,04	43,68
Mei	88,96	23,38	1,59	33,78	40,70
Juni	91,02	28,65	1,98	37,06	37,73
Juli	100,78	29,32	1,65	25,52	32,84
Agus	102,06	33,37	1,44	15,21	38,35
Sept	106,04	37,62	1,85	47,78	-
Okt	-	-	-	-	-
Nov	-	-	-	-	-
Des	-	-	-	-	-
Rata-rata	78,822	23,436	1,169	30,661	36,691

3.2. Peluncuran Balon

Peluncuran balon dilakukan dalam rangka melihat data arah dan kecepatan angin sampai stratosfer bawah (25 km). Hasil pengukuran ini dibandingkan dengan simulasi yang dilakukan dengan memasukkan data meteo format CSIRO terakhir (tahun 1999). Tempat peluncuran di Kawasan Industri Pulogadung di sekitar industri baja dengan koordinat peluncuran untuk tahap pertama dan kedua di tempat yang sama. Koordinat peluncuran adalah: 6° 20" Lintang Selatan dan 106° 88" Bujur Timur. Peluncuran balon dilakukan 2 tahap, sebanyak empat kali. Pertama dua kali peluncuran dilaksanakan pada tanggal 18 dan 19 September 2001, dimulai pukul 8.00 WIB, yang mewakili musim kemarau. Sedangkan tahap kedua diluncurkan tanggal 24 dan 25 Oktober 2001 di lokasi dan waktu yang bersamaan. Contoh data hasil peluncuran secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran L.1. Data kecepatan dan arah angin setelah dihitung dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 3.2. Data pengukuran parameter PM10, SO₂, CO, O₃, NO₂, rata-rata tahunan di Senayan DKI Jakarta tahun 2001

Bulan	PM10 μg/m ³	SO ₂ μg/m ³	CO μg/m ³	O ₃ μg/m ³	NO ₂ μg/m ³
Jan					
Feb					
Maret					
April					
Mei					
Juni					
Juli	77,42	22,54	1,77	34,64	0,00
Agus	104,94	29,41	1,57	49,08	0,00
Sept	84,59	27,96	1,78	39,19	0,00
Okt					
Nov					
Des					
Rata-rata	88,983	26,637	1,707	40,97	0,00

Sumber : BEPEDALDA DKI Jakarta.

Tabel 3.3. Data pengukuran parameter PM10, SO₂, CO, O₃, NO₂, rata-rata tahunan Stasiun Mobil DKI Jakarta tahun 2001

Bulan	PM10 μg/m ³	SO ₂ μg/m ³	CO μg/m ³	O ₃ μg/m ³	NO ₂ μg/m ³
Jan	116,32	24,90	2,57	14,72	53,80
Feb	-	-	2,34	16,41	76,45
Maret	-	25,80	1,97	16,41	58,05
April	99,49	25,45	1,87	28,90	40,64
Mei	98,54	23,92	1,50	35,29	43,34
Juni	101,42	29,25	1,81	37,03	62,20
Juli	106,22	22,80	0,98	35,51	46,93
Agus	112,94	29,10	1,12	47,48	70,73
Sept	107,98	28,48	1,38	44,14	51,80
Okt					
Nov					
Des					
Rata-rata	106,13	26,21	1,72	30,65	55,99

Sumber : BEPEDALDA DKI Jakarta.

Tabel 3.4. Data temperatur permukaan pada peluncuran balon 350 gr di Pulo Gadung

Tanggal Peluncuran	Waktu Peluncuran (pukul)	Temperatur Maksim °C	Kecepatan Angin (m/dt)	Arah Angin
Tahap I dari tanggal 17 – 19 September 2001.				
18 Septemb 2001	08.00	34,7	3,0	SW
	15.00	34,7	10,4	W
19 Septemb 2001	08.00	34,5	4,5	NW
	15.00	34,5	8,2	N
Tahap II dari tanggal 24 – 26 Oktober 2001				
25 Oktober 2001	08.00	33,8	4,8	SW
	15.00	-	-	-
26 Oktober 2001	08.00	33,0	1,8	SW
	15.00	-	-	-

Sumber: Pengukuran dan perhitungan

3.3. Emisi Industri.

Data emisi untuk digunakan dalam simulasi penyebaran polusi udara di kawasan industri di DKI Jakarta diperoleh dari data sekunder BPLHD DKI Jakarta. Namun data yang ada tidak menunjukkan emisi per satuan waktu melainkan konsentrasi, sehingga dilakukan pendekatan kecepatan aliran emisi polutan dan diameter cerobong. Dari sumber industri yang banyak terdapat di Jakarta diambil tiga lokasi, yang dapat mewakili wilayah DKI Jakarta yaitu:

1. Daerah Cilincing, mewakili daerah timur-utara Jakarta, dengan mengambil sample PT Budi Dharma Jakarta, Jl. Semper Kec. Cilincing.
2. Daerah Kecamatan Cengkareng mewakili barat-utara Jakarta, dengan mengambil sampel PT Pasir Sari Raya Industri, Jl. Daan Mogot km 14 Cengkareng.
3. Daerah Pasar Rebo (Jl. Raya Bogor) mewakili daerah selatan Jakarta, dengan mengambil sampel, PT Southern Cross Textile Industri, Jl. Raya Bogor km 26 Jakarta Timur.

Untuk simulasi penjalaran polutan diambil CO_2 , yang merupakan salah satu gas produk pembakaran industri maupun transportasi, sedangkan laju emisinya diperhitungkan berdasarkan konsumsi bahan bakar.

Meskipun CO_2 tidak termasuk dalam polutan udara, melainkan gas rumah kaca, tetapi gas ini diambil untuk mewakili simulasi penyebaran polutan. Gas CO_2 diasumsikan sebagai partikulat dengan buoyancy enhancement nol. Dan polutan lain diasumsikan pola sebarannya tidak jauh berbeda dengan pola sebaran, hanya mungkin untuk polutan reaktif dan berumur pendek sebarannya tidak akan sejauh CO_2 yang stabil dan berumur panjang.

Tabel 3.5. Konsumsi bahan bakar di beberapa industri di DKI Jakarta.

Industri	Alamat	Bahan bakar / konsumsi
PT Pasir Sari Raya Industri	Jl. Daan Mogot km 14 Cengkareng	Residu: 39 572 lt / hari Solar: 22 355 lt / hari.
PT Southern Cross Textile Industri	Jl. Raya Bogor km 26 Jak Timur.	Solar: 11 010 lt / hari
PT Budi Dharma Jak	Jl. Semper Kec. Cilincing	Diesel (IDO): 25 m ³ / hari

Sumber : BEPEDALDA DKI Jakarta.

4. ANALISIS PENYEBARAN POLUSI UDARA

4.1. Analisis Kualitas Udara Ambien

Untuk menghitung kualitas udara dengan mencari IKU dari ORAQI, dimana 5 parameter polusi udara yaitu SO₂, CO, O₃, NO₂ dalam satuan ppm, sedangkan PM dalam µg/m³ Setelah diperoleh ratio polutan terhadap baku mutu, maka dapat dicari indek oraknya dengan menggunakan persamaan 1.1.

Indek ORAQI yang diperoleh adalah:

1. Jakarta Timur : 9,9 kondisi udara ambien sangat bagus
2. Senayan Sport : 14,428 kondisi udara ambien sangat bagus
3. Stasiun Mobil : 10,335 kondisi udara ambien sangat bagus

Dengan demikian ketiga tempat tersebut kualitas udaranya masih sangat baik. Hal ini didukung oleh penghijauan yang dilakukan Pemda DKI Jakarta yang berhasil cukup baik di ketiga tempat tersebut. Hasil tersebut menunjukkan bahwa di ketiga tempat tersebut belum banyak tercemar dan lingkungan masih relatif baik.

Tabel 4.1. Perhitungan IKU parameter PM10, SO₂, CO, O₃, NO₂, rata-rata tahunan di Jakarta Timur DKI Jakarta tahun 2001.

Parameter	PM10	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂
Rata-rata bulan satu tahun	78,822 µg/m ³	23,436 µg/m ³ 8,90 x 10 ⁻³ ppm	1,169 µg/m ³ 1,10 x 10 ⁻³ ppm	30,661 µg/m ³ 15,63 x 10 ⁻³ ppm	36,691 µg/m ³ 19,40 x 10 ⁻³ ppm
Standard	150 µg/m ³ 150 µg/m ³	365 µg/m ³ 0,1387 ppm	10.000 µg/m ³ 8,7 ppm	235 µg/m ³ 0,11985 ppm	150 µg/m ³ 0,0795 ppm
Ratio rata-rata thd standard	0,52	0,061	0,00012	0,130	0,244

Sumber : Hasil perhitungan.

Tabel 4.2. Perhitungan IKU parameter PM10, SO₂, CO, O₃, NO₂, rata-rata tahunan di Senayan DKI Jakarta tahun 2001.

Parameter polusi	PM10	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂
Rata-rata bulanan satu tahun	88,98 µg/m ³	26,637µg/m ³ 10,12 x 10 ⁻³ ppm	1,707µg/m ³ 1,48 x 10 ⁻³ ppm	40,97µg/m ³ 20,89 x 10 ⁻³ ppm	0,00µg/m ³ 0,265 x 10 ⁻³ ppm
Standard	150 µg/m ³ 150 µg/m ³	365 µg/m ³ 0,1387 ppm	10.000 µg/m ³ 8,7 ppm	235 µg/m ³ 0,11985 ppm	150 µg/m ³ 0,0795 ppm
Ratio rata-rata thd standard	0,59	0,071	0,00017	0,1743	0,3696

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.3. Perhitungan IKU parameter PM10, SO₂, CO, O₃, NO₂, rata-rata tahunan Stasiun Mobil DKI Jakarta tahun 2001

Parameter polusi	PM10	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂
Rata-rata bulanan satu tahun	106,13µg/m ³ 106,13µg/m ³	26,21µg/m ³ 9,95 x 10 ⁻³ ppm	1,72µg/m ³ 49 x 10 ⁻³ ppm	30,65µg/m ³ 15,63 x 10 ⁻³ ppm	55,99µg/m ³ 29,38 x 10 ⁻³ ppm
Standard	150 µg/m ³ 150 µg/m ³	365 µg/m ³ 0,1387 ppm	10.000 µg/m ³ 8,7 ppm	235 µg/m ³ 0,11985 ppm	150 µg/m ³ 0,0795 ppm
Ratio rata-rata thd standard	0,70	0,072	0,00019	0,1304	0,00337

Sumber : Hasil perhitungan.

4.2. Ketinggian Lapisan Pencampuran Udara (Mixing Height)

Untuk menghitung mixing height digunakan diagram aerologi. Data yang diperoleh dari peluncuran radiosonde dipilih pada lapisan standard (permukaan) 925 – 850-700 mbar dan seterusnya, selanjutnya diplot pada diagram aerologi tersebut. Garis hubung titik –titik hasil plotting tsb akan membentuk kurva suhu udara. Dari titik suhu maksimum permukaan T_m ditarik garis adiabatik kering yang akan berpotongan dengan kurva suhu udara di titik T₁. Tinggi titik potong terhadap permukaan disebut tinggi mixing height. Menghitung mixing height digunakan persamaan:

$$H_1 = H_s + [(T_m - T_1)/(9,8^\circ \text{C}/1000)] \quad (4.1)$$

Dimana H_1 mixing height (m), H_s = tinggi permukaan (m), T_1 = suhu titik potong ($^\circ\text{C}$) dan T_s = suhu permukaan ($^\circ\text{C}$).

Dari perhitungan persamaan 4.1, maka dapat ditentukan mixing height. Faktor ventilasi diperoleh dari perkalian mixing height dengan kecepatan angin. Karena kecepatan angin tidak terukur langsung, maka dapat dicari dari pendekatan perubahan posisi balon terhadap perubahan waktu yang tercatat.

Hasil peluncuran balon (lihat lampiran 1.a -1 d, dan 2.a -2d), dengan plotting temperatur maksimum diperoleh ketinggian mixing height (lihat tabel 4.4).

Tabel 3.4. Data temperatur permukaan pada peluncuran balon 350 gr di Pulo Gadung.

Tanggal Peluncuran	Waktu	Mixing Height (m)	Kec Angin (m/dt)	Faktor Vent. (m^2/dt)
Tahap I dari tanggal 17 – 19 September 2001.				
18 September 2001	08.00	1.622	3,0	4.866,00
	15.00	1.653	10,4	17.191,12
19 September 2001	08.00	1.357	4,5	5.106,50
	15.00	1.357	8,2	11.127,40
Tahap II dari tanggal 24 – 26 Oktober 2001				
25 Oktober 2001	08.00	1.510	4,8	7.248,00
	15.00	-		
26 Oktober 2001	08.00	1.378	1,8	2.480,40
	15.00			

Sumber: Hasil perhitungan.

Dari hasil perhitungan di atas, mixing height di Jakarta dalam bulan September dan Oktober tahun 2001 yang dilakukan pendataannya masing-masing dua hari menunjukkan bahwa:

Mixing height pada pagi hari relatif lebih rendah dari pada di siang hari. Hal ini memungkinkan penjaralan polutan menyempit ke arah suatu daerah saja (tidak menyebar) jika dibandingkan siang hari. Demikian juga dari hasil perhitungan nilai ventilasi, cukup rendah dibandingkan sore hari. Siang hari sebaliknya lebih menyebar, baik ini di musim kemarau maupun hujan atau peralihan. Ketinggian mixing height juga dipengaruhi oleh besarnya temperatur maksimum permukaan.

Untuk tanggal 19 September 2001 ketinggian mixing height pada pukul 8.00 dan 15.00 ternyata sama. Hal ini dimungkinkan atmosfer pada pukul 15.00 kondisinya relatif masih stabil (cuaca tenang dan banyak angin dengan kecepatan 8,2 m/dt) sehingga ketinggian mixing height konstan. Makin stabil atmosfer, ketinggian mixing height cenderung menurun dan penyebaran polusi tidak meluas atau sempit/terbatas.

4.3. Penyebaran Polusi Udara dari Industri

Dari sumber industri yang banyak terdapat di Jakarta diambil tiga lokasi, yang meliputi: Dari sumber industri yang banyak terdapat di Jakarta diambil tiga lokasi, yang dapat mewakili wilayah DKI Jakarta yaitu:

1. Daerah Cilincing, mewakili daerah timur-utara Jakarta, dengan mengambil sample PT Budi Dharma Jakarta, Jl. Semper Kec. Cilincing.
2. Daerah Kecamatan Cengkareng mewakili barat-utara Jakarta, dengan mengambil sampel PT Pasir Sari Raya Industri, Jl. Daan Mogot km 14 Cengkareng.
3. Daerah Pasar Rebo (Jl. Raya Bogor) mewakili daerah selatan Jakarta, dengan mengambil sampel, PT Southern Cross Textile Industri, Jl. Raya Bogor km 26 Jakarta Timur.

Karena tidak ada informasi mengenai data laju emisi polutan (gram/ detik), laju emisi CO₂ diperhitungkan berdasarkan konsumsi bahan bakar dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = K \times \rho \times \zeta \times \eta \times 44/12 \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana K konsumsi bahan bakar (liter/ detik, ρ rapat jenis bahan baker (kg/liter), ζ kandungan karbon dalam bahan bakar (%), η efisiensi oksidasi dalam pembakaran bahan bakar (%).

Data bahan bakar dan perhitungan emisi dapat dilihat pada tabel 4.5 dan 4.6.

Tabel 4.5. Konstanta perhitungan kadar karbon dari bahan bakar.

Bahan bakar	Rapat jenis (kg/liter)	Kadar karbon dalam bahan bakar	Effisiensi oksidasi
Solar (ADO)	0.845	0.878	0.99
IDO	0.885	0.857	0.99
Residu	0.99	0.856	0.99

Tabel 4.6. Perhitungan emisi penggunaan bahan bakar industri yang ada.

Industri	Alamat	Bahan bakar / konsumsi	Emisi CO ₂ (gram/det)
PT Pasir Sari Raya Industri	Jl. Daan Mogot km 14 Cengkareng	Residu : 39 572 lt / hari	1088
		Solar : 22 355 lt / hari	697
			----- 1785
PT Southern Cross Textile Industri	Jl. Raya Bogor km 26 Jak Tim	Solar: 11 010 lt / hari	343
PT Budi Dharma Jak	Jl. Semper Kec. Cilincing	Diesel (IDO): 25 m ³ / hari	797

Sumber: Hasil perhitungan

Karena keterbatasan data dari BPLHD Propinsi DKI Jakarta, maka input -input data lain yang digunakan untuk simulasi diasumsikan sebagai berikut:

1. jari-jari cerobong: 0,5 m
2. kecepatan tinggi cerobong: 50 m
3. keluaran gas pembawa polutan dari cerobong: 1 m/det
4. temperatur cerobong: = 350 K
5. buoyancy enhancement: 0
6. perbandingan NO/NO_x: 0,6
7. konsentrasi background 0

Dengan mengasumsikan input data sama untuk ketiga lokasi sumber. Dan konsentrasi background diambil nol, maka jika simulasi ini valid berlaku persamaan berikut,

$$\text{konsentrasi real di lapangan} = \text{konsentrasi CO}_2 \text{ daerah lengang (remote area)} \\ + \text{konsentrasi hasil simulasi}$$

Simulasi dilakukan pada tanggal 18 dan 20 September mewakili musim kemarau; dan tanggal 24 – 26 Oktober mewakili musim hujan, dengan titik pusat simulasi di sekitar daerah Kalibata (6°15,0' LS ; 106°50,5' BT). Simulasi mencakup 80 x 80 grid, dengan luasan tiap-tiap grid 500 m² dan 1000 m². Jadi simulasi ini mencakup area 80 km x 80 km, kemudian di-nesting untuk daerah 40 km x 40 km. Peta lokasi dapat dilihat pada Lampiran Gambar 3.5-3.8. Hasil simulasi dapat dilihat pada file-file lampiran, yang disajikan dalam tampilan dua dimensi dan tiga dimensi pada musim kemarau dan musim hujan dengan grid 500 km x 500 km dan 1000 km x 1000 km. Juga dilengkapi dengan peta lokasi dan peta topografi dari area yang ditinjau, serta tampilan numerik meteorologi dan sebaran polusi pada beberapa lokasi (Lampiran Gambar 3.8 – 3.14, Lampiran Tabel 3.1 dan 3.2, serta hasil lengkapnya dalam CD).

Karena Jakarta merupakan kota pantai, dengan lautan di sebelah utaranya. Bagian selatan membentang dataran tinggi yang melintasi daerah Bogor. Oleh karena itu angin darat dan angin laut berkombinasi dengan angin gunung dan angin lembah akan mempengaruhi pola sebaran polutan di Jakarta. Pada siang hari angin laut yang membawa polutan ke arah selatan dihalangi oleh dataran tinggi yang ada di sekitar Bogor dan gunung-gunung yang ada di daerah itu seperti gunung Halimun, Kendeng, Gede, dan Pangrango. Sehingga pengaruh angin laut tidak mampu membawa polutan lebih jauh ke selatan tetapi di belokkan ke arah barat dengan sebaran yang tidak luas, terutama sumber yang berada di selatan.

Pada malam hari angin darat didorong dengan angin dari gunung membuang polutan lepas ke laut Jawa. Sebaran polutan ini lurus ke arah utara seolah tidak ada penghalang, karena paduan antara angin darat dan angin gunung searah dan saling menguatkan, dan tidak ada pula topografi yang menghalanginya.

Antara musim kemarau dan musim hujan diperoleh pola sebaran yang mirip. Hal ini kemungkinan dikarenakan jarak waktu yang diambil untuk mewakili musim kemarau (18 – 20 September) dan musim hujan (24 – 26 Oktober) kurang lama. Dan keduanya tidak mewakili puncaknya musim kemarau dan musim hujan.

Sedikit perbedaan pada kedua simulasi yang mewakili musim kemarau dan musim hujan adalah pada musim kemarau sebaran lebih cenderung ke arah barat daya, sedangkan pada musim hujan cenderung ke arah utara. Perbedaan kecil lain terjadi pada hari kedua simulasi, pada musim hujan (23 Oktober) polutan sedikit dibelokkan ke arah

selatan karena kuatnya angin laut pada siang hari. Bahkan pengaruh angin laut ini masih ada sampai malam hari (pukul 22.00).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan indek kualitas udara di tiga tempat, hasil perhitungan mixing height dan simulasi penjalaran polusi udara dapat disimpulkan:

1. Ketiga tempat (Jakarta Timur, Senayan Sport dan Stasiun Mobil) kualitas udaranya masih sangat bagus, artinya belum banyak tercemar.
2. Mixing height pada pagi hari relatif lebih rendah dari pada di siang hari dan penyebab penjalaran polutan menyempit ke arah suatu daerah saja (tidak menyebar, mengarah ke utara dan barat laut). Siang hari sebaliknya lebih menyebar, baik ini di musim kemarau maupun hujan atau peralihan (mengarah ke barat dan barat laut). Hasil ini sesuai dengan penyebaran polusi TAPM (sebagai pembandingan).
3. Pada tanggal 19 September 2001 ketinggian mixing height pada pukul 8.00 dan 15.00 ternyata sama dengan kondisi pada pukul 15.00 kondisinya relatif masih stabil (cuaca tenang dan banyak angin dengan kecepatan 8,2 m/dt) sehingga ketinggian mixing height konstan.
4. Dari analisis penjalaran polusi udara dengan TAPM dari tiga lokasi yang mewakili wilayah DKI Jakarta, mewakili musim hujan dan musim kemarau diambil kesimpulan sebagai berikut:

Karena pengaruh angin darat di malam hari, polutan dari Jakarta cenderung tersebar ke arah utara terutama yang pada musim penghujan, dan sedikit condong ke arah barat laut pada musim kemarau. Sedangkan pengaruh angin laut di siang hari tidak mampu membawa polutan tersebar lebih jauh ke selatan, dan polutan dibelokkan ke arah barat, terutama sumber yang jauh dari pantai. Daerah di DKI bagian utara dan barat laut seperti Kecamatan Tanjung Priok, Penjaringan, Kalideres dan Cengkareng adalah daerah yang mendapat kiriman polutan dari wilayah Jakarta. Daerah selatan dan tenggara adalah daerah yang tidak mendapat kiriman polutan dari Jakarta, maka daerah ini cocok dikembangkan untuk perumahan.

Dilihat dari pola sebaran polutan serta arah angin, untuk menempatkan lokasi industri yang paling cocok adalah daerah timur laut dan utara Jakarta seperti Tanjung Priok, Koja, dan Cilincing, karena polutannya akan disebarkan di atas teluk Jakarta

5.2. Saran dan Tindak Lanjut.

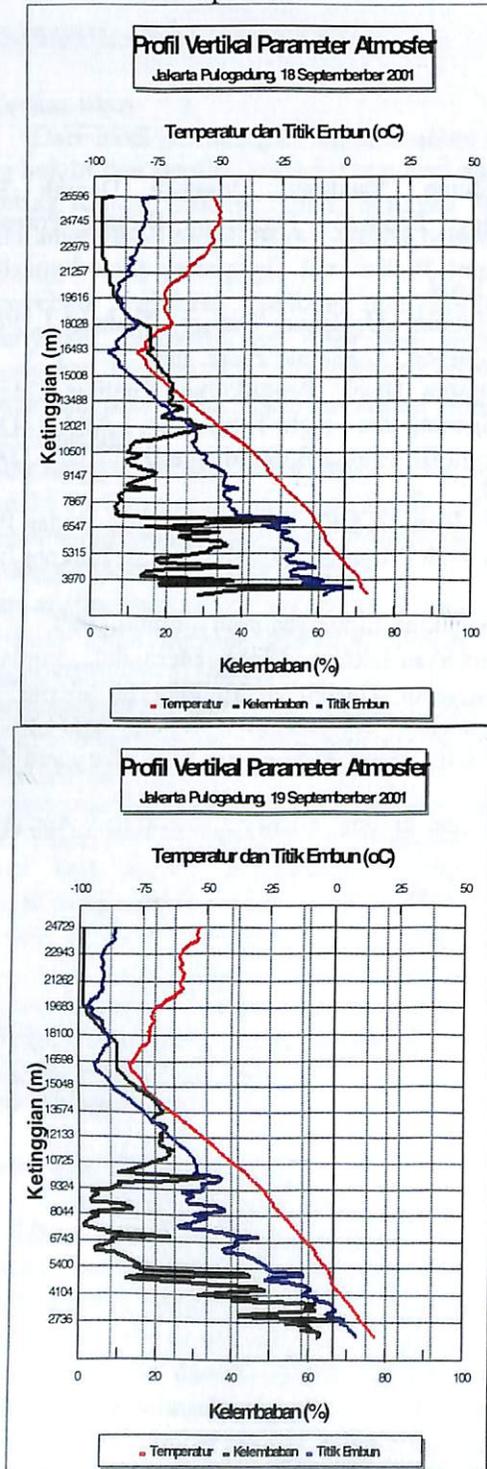
Tiga tempat Jakarta Timur, Senayan Sport dan Jl. Casablanca, wilayah Jakarta Utara dan Barat (Tanjung Priok, Penjaringan, Kalideres dan Cengkareng), seyogyanya banyak ditanami pepohonan yang berfungsi memecahkan konsentrasi polutan bila mana perlu ditingkatkan fungsi dan penambahan penghijauan atau lahan terbuka hijau di seluruh wilayah DKI Jakarta.

Sedangkan daerah industri paling cocok adalah Tanjung Priok, Koja dan Cilincing, karena polutan mengarah ke utara (laut). Untuk kawasan perindustrian pada jarak terdekat dari sumber polutan dapat diberi green belt (zona penyangga hijau) untuk memecahkan konsentrasi polutan dan merupakan produk oksigen yang dibutuhkan makhluk hidup di siang hari, dan CO₂ di malam hari serta dapat memasukkan air ke dalam pori-pori tanah melalui rekahan akar pohon-pohonan ke tanah.

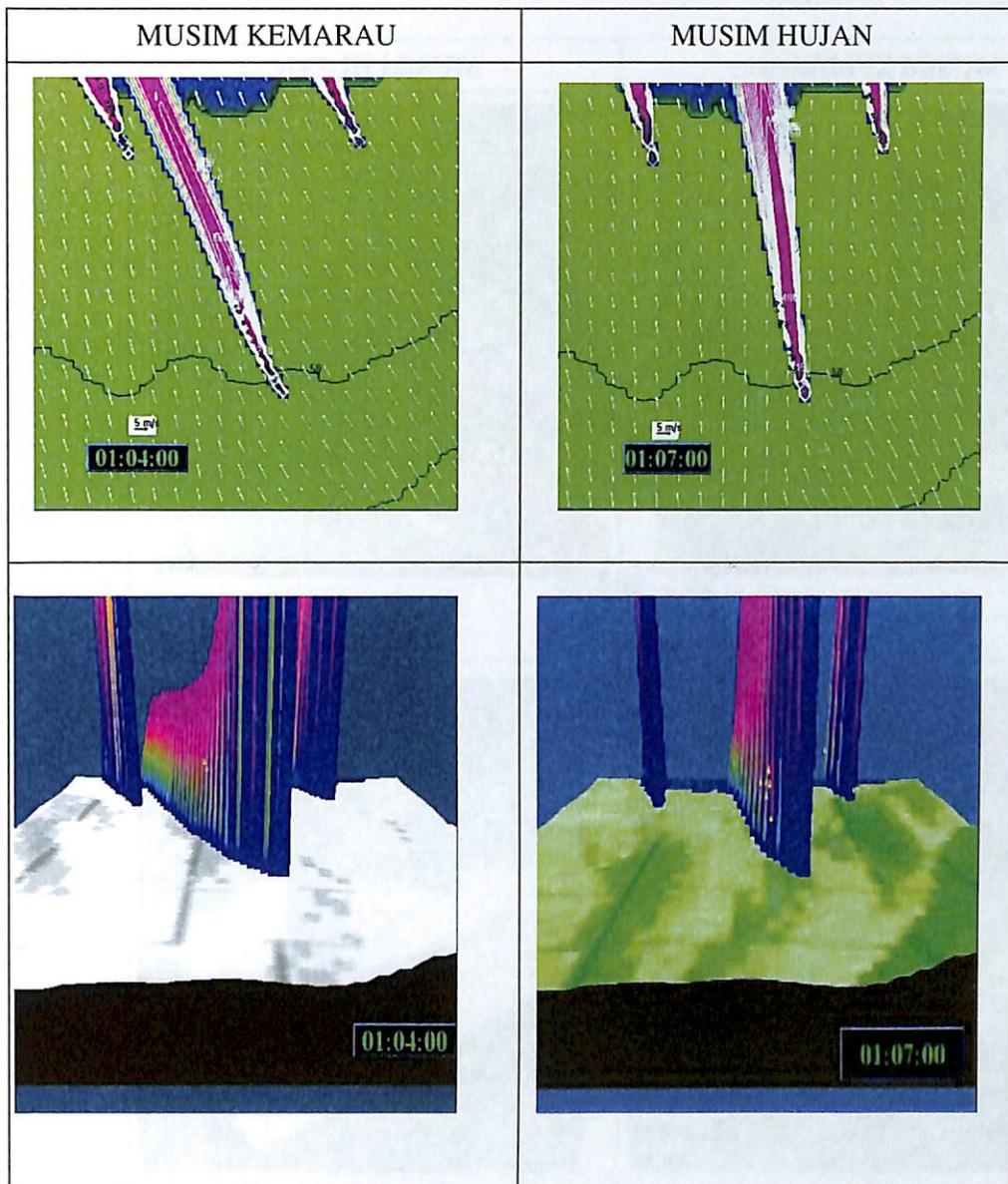
DAFTAR RUJUKAN

- Afif Budiono, dkk, 2000, Penelitian Kualitas Udara di Daerah Sekitar PLTU Suralaya Serang, Laporan Penelitian, Bidang Potensi Energi dan Polusi
 Atmosfer, PUS-PA LAPAN.
- Artur C. Turn, Richard W. Bouble, D. Bruce Turner, Donald L. Foxet, 1984, Fundamental of Air Pollution, Academic Press. Inc..
- Chunaeni Latief, dkk. 2000, Laporan Hasil Pengukuran Kualitas Udara Ambien di Kabupaten Serang, Tangerang dan Kota Tangerang, LAPAN (Dalam rangka kerjasama Program Langit Biru Jawa Barat dengan BAPEDALDA Prop. Jawa Barat), Desember 2000.
- 2000, Program Langit Biru Di DKI Jakarta, Proyek Badan Pengendalian Dampak lingkungan Daerah Proponsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta, tahun anggaran 1999/2000
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia no 41, tahun 1999.
- Jum'at Nov 2001, Kemacetan Jakarta Makin Merajalela, Jumlah Kendaraan tidak Sebanding Panjang jalan, Harian Media, Penerbit Jakarta.
- Juli Soemirat Slamet, 1994, Kesehatan Lingkungan, Gajah Mada University Press.
- John H. Seinfeld, Spyros N. Pandis, 1998, Atmospheric Chemistry and Physics, John Wiley & Sons, Inc.
- Wayne R.Ott, 1989, Environmental Indicis, Theory and Practice, Ann Arbor Science.

Lampiran gambar L.1. hasil pengukuran ionosonde atas 19 Sep dan bawah 26 Sep 2001

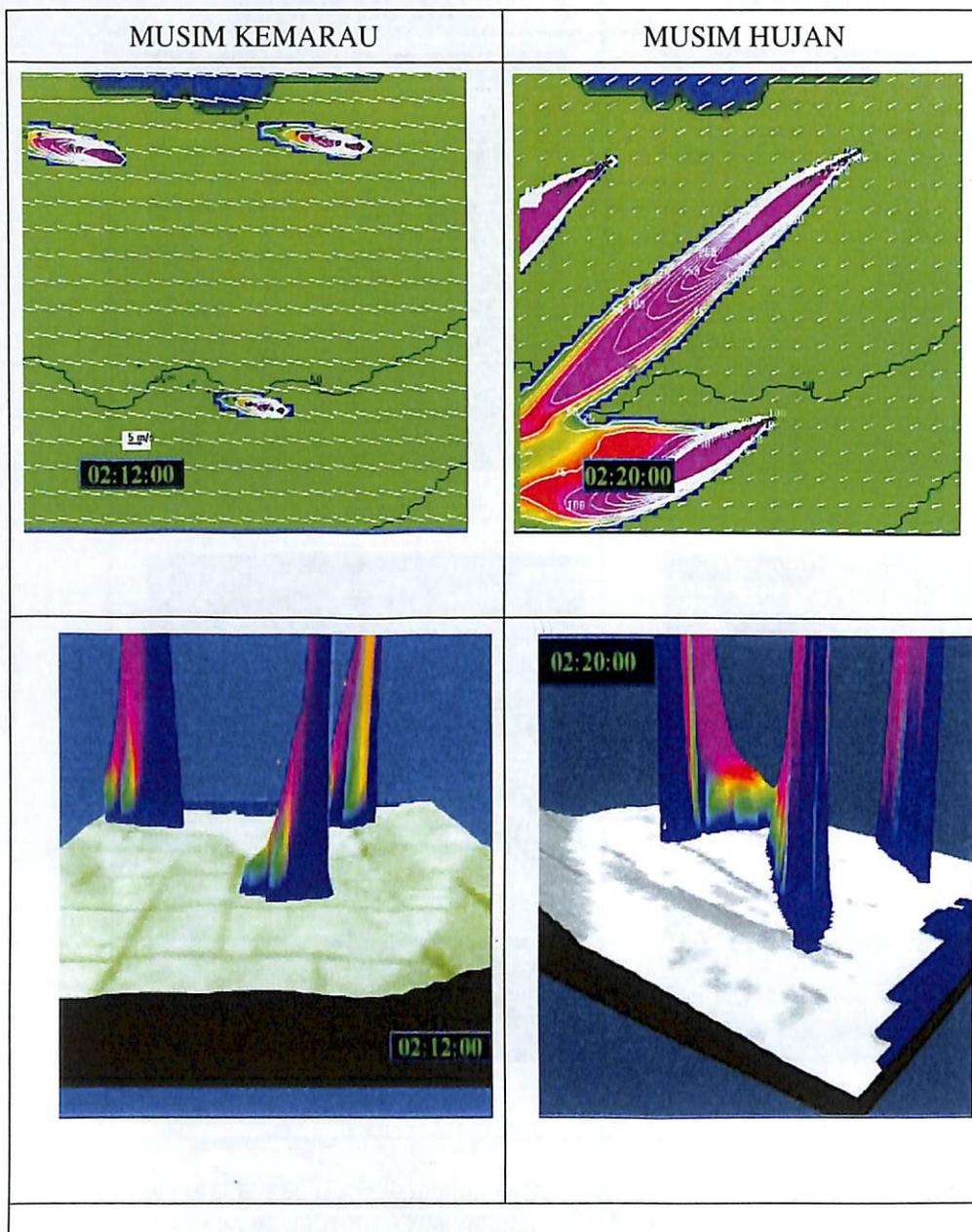


Lampiran: Gambar L2. Pola sebaran polusi udara di DKI Jakarta, tanggal 17 Sept pada pukul 04.00 dan 00.00 yang mengarah ke utara.



Keterangan gambar: Hasil simulasi penjalaran polusi di DKI Jakarta tanggal 17 2001 pada pada pukul 04.00 dan 00.00, hampir semua mengarah ke utara dan barat laut. Sedangkan dari pusat industri tinggi dan manjauh semakin kecil.

Lampiran: Gambar L.3. Pola sebaran polusi udara di DKI Jakarta, tanggal 18 September pada pukul 12.00 dan 20.00 yang mengarah ke barat dan barat daya.



Keterangan gambar: Hasil simulasi penjalaran polusi pada tanggal 18 September 2001 pada pukul 12.00 dan 20.00, hampir semua polutan mengarah ke barat dan barat daya. Sedangkan dari pusat industri tinggi dan manjauh semakin kecil.