

Penyebaran Polusi Udara dan Kondisi Meteorologinya di Kota Bogor

Iis Sofiati

**Bidang Pengkajian Ozon dan Polusi Udara-Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional/ LAPAN**

Jl. dr. Djundjuran No.133- Bandung 40173.

Email: iis_sofiati@bdg.lapan.go.id

Abstrak

Di daerah tropik biasanya banyak sinar matahari pada siang hari dan matahari sering bersinar lebih lama. Meskipun ada laju penurunan suhu atau tidak, pada lapisan paling bawah keadaan udara akan stabil selama malam hari dan segera menjadi tak stabil setelah matahari terbit dimana beberapa polutan yang berakumulasi pada malam hari akan cepat disebarkan. Perkiraan konsentrasi polutan pada penerima bisa diketahui dengan menggunakan model penyebarannya. Dalam menentukan penyebaran polutan faktor meteorologi seperti arah dan kecepatan angin, suhu, mixing height, dan stabilitas atmosfer sangat berpengaruh. Konsentrasi polutan pada permukaan bumi selain dipengaruhi oleh sumber polutan juga dipengaruhi oleh mixing height. Dari hasil terlihat bahwa semakin kecil nilai mixing height maka semakin besar konsentrasi polutannya. Angin yang lemah dan langit cerah cenderung memperberat polutan yang berakumulasi pada mixing layer paling sedikit selama malam hari. Pada tulisan ini ditunjukkan bahwa variasi mixing height di kota Bogor pada musim transisi menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan pada musim hujan ataupun kemarau. Sedangkan nilai maksimum terjadi pada siang atau sore hari, dan minimum terjadi pada pagi dan malam hari. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata pada musim transisi keadaan atmosfer bawah dalam keadaan tidak stabil.

Kata kunci: Penyebaran polusi udara, suhu, mixing height

Abstract

In the tropical area there are a lot of solar beam in the day and the sun often occurs for a long time. The fact that there is lapse rate or not, in the bottom layer the condition of air will be stable during the night and become unstable after sunrise, then pollutant prediction which has accumulated in the night will disperse rapidly. Prediction of pollutant concentration on receiver can be obtained by using dispersion model. To obtain pollutant dispersion, meteorology factor such as wind speed, wind direction, temperature, and mixing height have a strong influence. Pollutant concentration in the surface not only influenced by the source of pollutant but also influenced by mixing height. From the results showed that decreasing the value of mixing height it will be followed by increasing of pollutant concentration. Weak wind and clear sky tend to become heavy of pollutant which is accumulated on mixing layer smallest during the night. In this paper showed that variation of mixing height on the transition of season at Bogor city have a bigger value than on the rainy season or dry season. Meanwhile, maximum value occurs in the day or in the afternoon, and minimum value occurs in the morning and in the night. This condition showed that on the transition of season in the low atmosphere usually unstable.

Key words: Pollutant dispersion, temperature, mixing height.

1. PENDAHULUAN

Penyebaran polusi udara baik secara kimia atau secara biologi, pada prinsipnya tergantung pada informasi emisi yang mengeluarkan, faktor meteorologi, dan informasi dari

penerima (Fisher B.E.A., et al. 2001). Perkiraan konsentrasi polutan pada penerima bisa diketahui dengan menggunakan model penyebarannya. Faktor meteorologi seperti arah dan kecepatan angin, suhu, mixing height, dan stabilitas atmosfer dapat menentukan penyebaran polutan. Angin kencang lebih bergolak (turbulen) daripada angin lemah, sehingga konsentrasi polutan lebih cepat menjadi encer (Bayong, 1993). Stabilitas atmosfer menentukan penyebaran secara horizontal dan vertikal. Atmosfer labil menyebabkan konsentrasi polutan berkurang, sedangkan atmosfer stabil meningkatkan konsentrasi polutan.

Konsentrasi polutan pada permukaan bumi selain dipengaruhi oleh sumber polutan juga dipengaruhi oleh mixing height. Mixing height menyatakan batas atmosfer dimana udara yang tercemar dapat bercampur dengan udara di atasnya yang lebih bersih. Jika mixing height tinggi, maka konsentrasi polutan akan menjadi encer. Sebaliknya jika mixing height rendah maka akan menghasilkan konsentrasi polutan yang pekat.

Untuk penelitian ini, dilakukan kajian konsentrasi dan penyebaran polusi udara yang berasal dari sumber polutan baik dari industri maupun transportasi serta kondisi meteorologi yang dapat mempengaruhinya. Dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan guna pengembangan tata guna lahan dan industri yang ramah atau berwawasan lingkungan.

2. DATA DAN METODOLOGI

2.1. Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Data synoptic (SAS) tahun 2005 dari CSIRO, data meteorologi permukaan kota Bogor tahun 2005, dan data radiosonde kota Bogor tahun 2005.

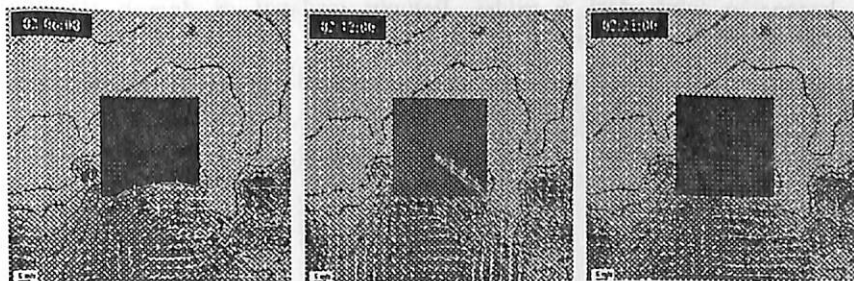
2.2. Metodologi

Untuk proses running penyebaran polusi udara digunakan *software* The Air Pollution Model (TAPM, V.3.0, Hurley P, 2002). Kemudian ditentukan waktu dan domain simulasi atau besarnya wilayah yang akan disimulasikan. Sebagai keluaran proses running untuk penentuan penyebaran polusi, titik pengamatan ditempatkan pada daerah pusat simulasi. Selanjutnya, untuk melihat penyebaran polutan dari suatu kawasan industri digunakan *Interactive Mode*, yaitu suatu fasilitas menu yang terdapat pada *software* Graphical Information System (GIS).

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Penyebaran polusi udara di kota Bogor dan sekitarnya

Penyebaran polutan yang kami dapat dari hasil proses running TAPM adalah untuk Air Particulate Matter (APM).

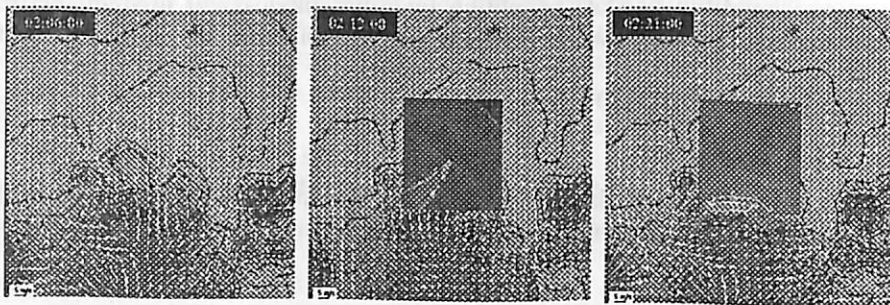


Gambar 3.1. Penyebaran polusi udara di kota Bogor dan sekitarnya pada tanggal 9 Februari atau pada hari kedua proses running.

Gambar 3.1 menunjukkan konsentrasi dan penyebaran polutan hasil proses running TAPM pada hari kedua proses running (pada gambar ditunjukkan oleh simbol 02:06:00). Pada periode tersebut terlihat bahwa pola angin untuk level 1 (ketinggian 10 m dari permukaan) pada jam 06.00 pagi dominan berasal dari arah Baratdaya dan Selatan dengan kecepatan kurang dari 5 m/detik, dan polutan (baik dari sumber maupun background) tidak menunjukkan angka yang tinggi, hanya sekitar satu $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tetapi bila dilihat dari perubahan arah angin yang terjadi pada pukul 12.00, angin dominan berasal dari Baratlaut dengan kecepatan rata-rata 5 m/det, sehingga polutan bergerak menuju arah Tenggara.

Polutan yang tersebar pada daerah pengamatan mempunyai nilai konsentrasi maksimum sebesar 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Selanjutnya pada pukul 21.00 kecepatan angin mulai berkurang dan angin rata-rata hanya berasal dari daerah pegunungan dengan kecepatan sekitar 4 m/det. Untuk daerah pengamatan sendiri, polutan hanya terlihat dari background saja.

Selanjutnya, konsentrasi dan penyebaran polutan yang terjadi pada bulan Juli ditunjukkan oleh Gambar 3.2 yang merupakan hasil running pada tanggal 15 Juli.

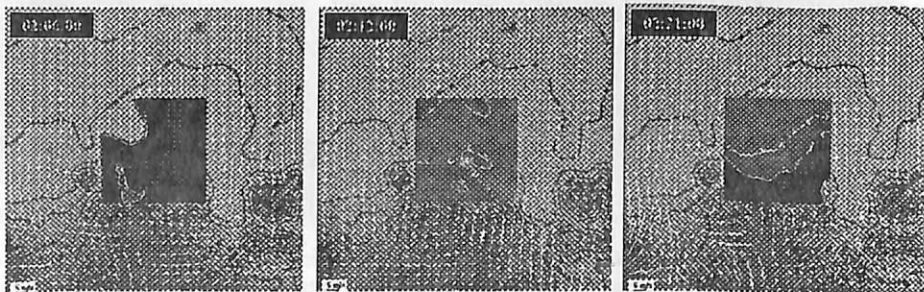


Gambar 3.2. Sama seperti Gambar 3.1, tetapi untuk tanggal 16 Juli.

Pada pukul 06.00, polutan yang berasal dari sumber belum terlihat penyebarannya, tetapi polutan yang tersebar pada daerah pengamatan mempunyai nilai konsentrasi maksimum sebesar satu $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Baru pada pukul 12.00 polutan dari sumber muncul dan menyebar sesuai dengan arah angin yang berasal dari Timurlaut dengan kecepatan angin sekitar 5 m/det, dan partikel menyebar ke arah Baratdaya, dengan konsentrasi maksimum sebesar 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pukul 21.00 partikulat masih tersebar di daerah Selatan dan Baratlaut, tetapi dengan konsentrasi maksimum yang naik atau sebesar 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Untuk bulan April, penyebaran polusi udara terlihat pada Gambar 3.3, analisa dilakukan sama seperti halnya untuk kedua bulan sebelumnya. Penampilan gambar menunjukkan penyebaran polutan yang terjadi pada pagi, siang, dan malam hari.

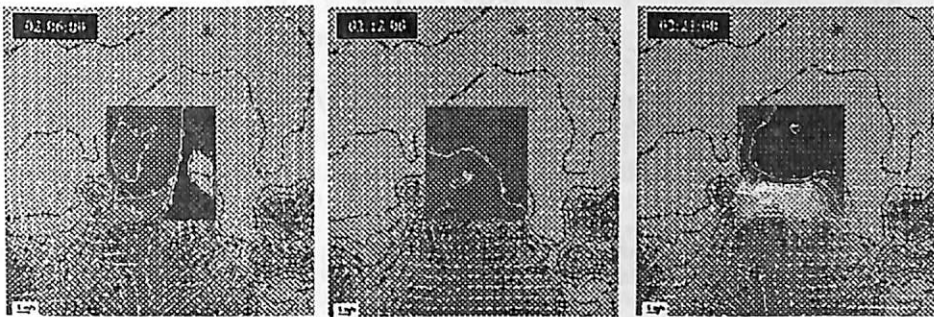
Dari hasil terlihat bahwa pada pukul 06.00, angin dominan berasal dari arah Selatan dengan kecepatan kurang dari 5 m/det, kemudian angin yang berasal dari daerah pegunungan mempunyai kecepatan lebih dari 6 m/det. Polutan terdapat di daerah Baratdaya yang mempunyai nilai konsentrasi maksimum sebesar 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Gambar 3.3. Sama seperti Gambar 3.1, tetapi untuk tanggal 5 April.

Selanjutnya pada pukul 12.00 polutan tersebar di sekitar sumber hingga arah Utara dan sedikit di arah Baratlaut dengan konsentrasi maksimum yang mulai tinggi sebesar $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pada pukul 21.00 polutan tersebar ke arah melintang (dari Timur ke Barat) dengan konsentrasi maksimum sebesar $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan polutan background sangat jelas terlihat di sekitar daerah sumber.

Konsentrasi dan penyebaran polutan yang terjadi pada bulan Oktober ditunjukkan oleh Gambar 3.4 yang merupakan hasil running pada tanggal 27 Oktober. Gambar 3.4 menunjukkan konsentrasi dan penyebaran polutan APM hasil proses running TAPM pada tanggal 27 Oktober. Dari simulasi pada periode tersebut terlihat bahwa arah angin umumnya bertiup dari Selatan menuju arah Utara dengan kecepatan angin bervariasi dan rata-rata lebih dari 3 m/detik. Pada pukul 06.00 polutan yang tersebar di daerah Baratdaya dari daerah pengamatan mempunyai nilai konsentrasi maksimum sebesar $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Selanjutnya, pada pukul 12.00 polutan yang tersebar masih mempunyai nilai konsentrasi maksimum sebesar $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan tersebar di daerah dekat sumber dan sebagian kecil di daerah Selatan.



Gambar 3.4. Sama seperti Gambar 3.1, tetapi untuk tanggal 27 Oktober.

Keadaan ini mungkin disebabkan karena kecepatan angin yang cukup besar yaitu sekitar 5 sampai 7 m/det dan dominan berasal dari Timurlaut, sehingga polutan yang berasal dari sumbernya akan segera menyebar jauh dari titik sumbernya dan dengan tingkat konsentrasi yang rendah. Tetapi pada sore hari arah angin kemudian berubah dan datang dari arah Timurlaut dan Utara dengan kecepatan lebih dari 6 m/det, membawa polutan ke arah Selatan dan Baratdaya. Sehingga pada pukul 21.00 polutan menyebar dan konsentrasi maksimumnya cukup tinggi mencapai $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kemudian polutan terkumpul di daerah sekitar pegunungan. Selanjutnya, tingginya nilai konsentrasi polutan juga disebabkan oleh melemahnya kecepatan angin dari arah Utara yang rata-rata kurang dari 2 m/det, kecuali di daerah sekitar lereng pegunungan yang mencapai lebih dari 6 m/det. Dengan demikian konsentrasi polutan yang terlihat terakumulasi di sekitar lereng pegunungan akan mudah tersapu oleh angin yang berhembus dari arah puncak pegunungan dengan kecepatan yang cukup besar.

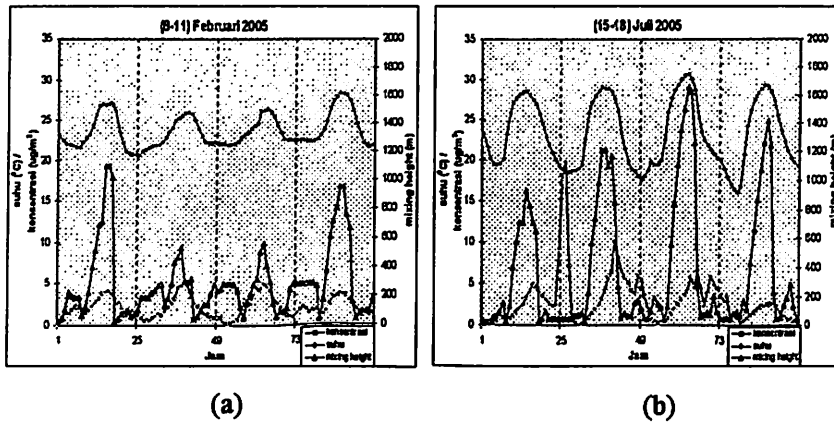
3.2. Konsentrasi polutan dan kondisi meteorologinya di kota Bogor

Untuk mengetahui konsentrasi dan penyebaran polutan (APM), nilai mixing height, dan suhu permukaan dari hasil proses running TAPM di kota Bogor untuk tahun 2005, dilakukan proses running dengan pemilihan waktu running adalah sebagai berikut:

Periode / musim	Tanggal
1. Hujan	(8 s/d 11) Februari
2. Peralihan hujan-kemarau	(4 s/d 7) April
3. Kemarau	(15 s/d 18) Juli
4. Peralihan kemarau-hujan	(26 s/d 29) Oktober

Pemilihan waktu running dipilih dengan cara melihat data meteorologi permukaan yang berasal dari BMG. Pertimbangannya adalah untuk bulan Februari dan Juli (sebagai perwakilan musim hujan dan kemarau) diambil hari hujan dan hari tidak hujan yang berturut-turut selama lima hari.

Untuk bulan April dan Oktober (sebagai perwakilan musim transisi hujan-kemarau dan transisi kemarau-hujan) diambil dari hari setelah hujan berturut-turut ke hari yang tidak hujan dan sebaliknya. Sebagai perwakilan musim hujan, Gambar 3.5 (a) menunjukkan variabilitas mixing height, suhu permukaan, dan konsentrasi polutan pada bulan Februari.

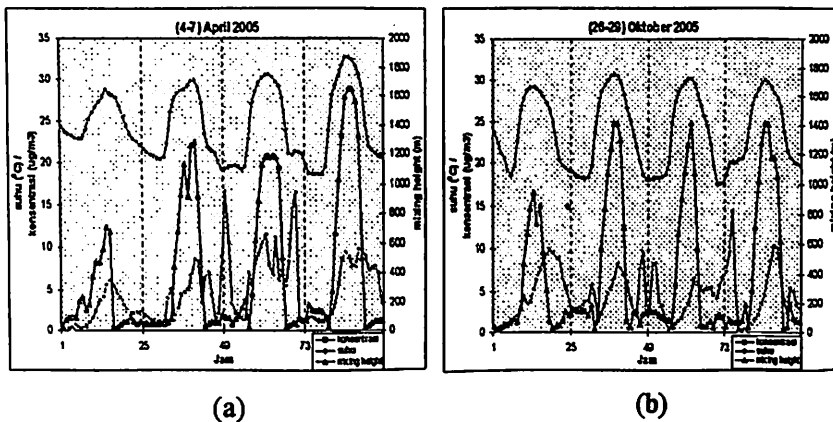


Gambar 3.5. Variabilitas konsentrasi polutan, mixing height, dan suhu permukaan, pada tanggal 8-11 Februari 2005 (a) dan pada tanggal 15-18 Juli 2005 (b) di kota Bogor.

Dari hasil terlihat bahwa nilai maksimum mixing height yang terjadi pada siang hari berkisar antara (600-1200) m. Sedangkan nilai minimum yang terjadi pada pagi hari berkisar antara (25-300) m. Adapun konsentrasi polutan maksimum yang terjadi pada siang dan sore hari berkisar antara (4-5) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan nilai minimum yang terjadi pada pagi dan malam hari berkisar antara (nol-satu) $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Untuk suhu permukaan, nilai maksimum dicapai pada siang dan sore hari yaitu sebesar (25-28) $^{\circ}\text{C}$, sedangkan nilai minimumnya terjadi pada malam dan pagi hari yaitu sebesar (20-22) $^{\circ}\text{C}$.

Variabilitas mixing height, suhu permukaan, dan konsentrasi polutan pada tanggal (15 s/d 18) bulan Juli 2005 sebagai perwakilan musim kemarau di kota Bogor, ditunjukkan oleh Gambar 3.5 (b). Terlihat pada gambar bahwa variasi harian untuk mixing height dan suhu permukaan pada bulan Juli lebih besar dibandingkan dengan bulan Februari, begitupun untuk konsentrasi polutan. Nilai mixing height maksimum yang terjadi pada siang hari berkisar antara (1000-1700) m, sedangkan nilai minimum yang terjadi pada malam dan pagi hari berkisar antara (23-46) m. Selanjutnya, nilai konsentrasi maksimum yang terjadi pada sore hari rata-rata sebesar (3-10) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan nilai minimumnya sebesar satu $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang terjadi rata-rata pada malam dan pagi hari. Untuk suhu udara permukaan nilai maksimum yang terjadi juga pada siang dan sore hari berkisar antara (29-30) $^{\circ}\text{C}$, sedangkan nilai minimum yang terjadi pada malam dan pagi hari berkisar antara (16-19) $^{\circ}\text{C}$.

Sementara untuk bulan April seperti yang terlihat pada Gambar 3.6 (a) nilai mixing height maksimum yang terjadi pada siang berkisar antara (700-1700) m, sedangkan nilai minimum yang terjadi pada malam dan pagi hari berkisar antara (23-210) m. Variasi nilai mixing height yang terjadi pada bulan April tersebut hampir sama dengan yang terjadi pada bulan Juli.



Gambar 3.6. Variabilitas konsentrasi polutan, mixing height, dan suhu permukaan pada tanggal 4-7 April 2005 (a) dan pada tanggal 26-29 Oktober 2005 (b) di kota Bogor.

Konsentrasi polutan pada bulan April terlihat lebih tinggi dibandingkan dengan bulan Juli ataupun bulan Februari. Nilai maksimum yang terjadi pada hari ke dua dan ketiga proses running, yaitu sebesar $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ terjadi pada tengah malam dan dini hari, sedangkan pada hari pertama dan keempat proses running, nilai maksimumnya sama sebesar $(6-10) \mu\text{g}/\text{m}^3$, tetapi terjadi pada sore hari yaitu pada jam 15.00 dan 16.00. Selanjutnya untuk suhu permukaan, nilai maksimum yang terjadi pada siang dan sore hari berkisar antara $(28-33)^\circ\text{C}$, sedangkan nilai minimum yang terjadi pada malam dan pagi hari berkisar antara $(19-23)^\circ\text{C}$.

Pada bulan Oktober secara rata-rata nilai mixing height tidak begitu berfluktuasi, pada hari kedua, ketiga dan keempat, nilai maksimum yang terjadi pada siang hari hampir sama yaitu sekitar 1400 m, sedangkan nilai minimumnya berkisar antara $(23-160) \text{m}$, seperti yang terlihat pada Gambar 3.6 (b). Tetapi pada hari pertama proses running, nilai maksimum yang terjadi pada siang hari sekitar 950 m. Untuk konsentrasi polutan nilai maksimum yang terjadi pada sore dan malam hari berkisar antara $(10-14) \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan nilai minimum yang terjadi pada pagi hari berkisar antara $(\text{nol-satu}) \mu\text{g}/\text{m}^3$. Gambar 4.6 (b) juga memperlihatkan nilai suhu permukaan untuk bulan Oktober, dimana nilai maksimum yang terjadi pada siang dan sore hari berkisar antara $(29-31)^\circ\text{C}$, dan untuk nilai minimum yang terjadi pada malam dan pagi hari berkisar antara $(17-19)^\circ\text{C}$.

Fluktuasi nilai mixing height yang terjadi di kota Bogor pada musim transisi kemarau-hujan (Oktober) relatif lebih besar dibandingkan pada musim hujan ataupun kemarau, sedangkan pada musim hujan (Februari) nilai mixing height rata-rata terlihat paling rendah. Hal ini disebabkan karena pada musim kemarau, radiasi surya memanaskan tanah dan menyebabkan lapse rate (laju penurunan suhu terhadap ketinggian) sama atau lebih besar daripada dry adiabatic lapse rate (khususnya lapse rate $1^\circ\text{C}/100 \text{m}$) dengan pencampuran udara yang baik sehingga ketinggian dari mixing height cukup besar. Sebaliknya pada musim hujan, dengan adanya awan atau lapisan kabut sebanyak 70% atau lebih, radiasi surya yang datang di atas lapisan kabut akan dipantulkan ke angkasa sehingga radiasi yang sampai ke permukaan tanah relatif kecil. Hali ini mengakibatkan terjadinya inversi (laju kenaikan suhu terhadap ketinggian) di atas lapisan kabut (karena radiasi yang diterima dari surya lebih kecil dari radiasi yang hilang/ dipancarkan, maka lapisan kabut cepat mendingin) dan mixing height akan menurun setinggi lapisan kabut atau batas inversi (Stern AC, Boubel RW, Turner DB, Fox DL. 1984; Sorbjan Z, 2003).

Untuk konsentrasi polutan, nilai terendah dapat dilihat pada musim hujan (Februari), dan nilai tertinggi didapat pada musim transisi hujan-kemarau (April). Kejadian seperti ini diduga disebabkan oleh adanya proses pencucian polutan pada saat musim hujan atau yang disebut wet depotition (Seinfeld JH and Pandis SN., 1998). Curah hujan bertindak sebagai pencuci atmosfer dan mengurangi penyebaran polutan di atmosfer, dan akan membawa

sejumlah partikulat maupun gas-gas pencemar keluar dari atmosfer menuju ke dalam tanah dan air (Rahmawati 2003, Suharsono 1985). Fluktuasi suhu permukaan terbesar didapat pada bulan Oktober, tetapi nilai suhu terendah didapat pada musim kemarau atau pada bulan Juli.

4. KESIMPULAN

- ❖ Faktor meteorologi sangat berpengaruh terhadap penyebaran polusi udara. Hal ini diantaranya dibuktikan dengan dihasilkannya konsentrasi polutan yang berbeda karena pengaruh arah dan kecepatan angin, suhu serta mixing height.
- ❖ Variasi mixing height di kota Bogor pada musim transisi menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan pada musim hujan ataupun kemarau. Sedangkan nilai maksimum terjadi pada siang atau sore hari, dan minimum terjadi pada pagi dan malam hari. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata pada musim transisi keadaan atmosfer bawah dalam keadaan tidak stabil.

DAFTAR RUJUKAN

- Bayong T. 1993. Meteorologi dan Dispersi Pencemaran Atmosfer, Kursus Pemodelan dan Simulasi Komputer Masalah Lingkungan. Kampus ITB, 1-11 September 1993.
- , 1999. *Klimatologi Umum*. ITB. Bandung.
- Fisher B.E.A., Kukkonen, J., and Schatzmann, M. 2001: Meteorology Applied to Urban Air Pollution Problems COST 715, *Int. J. Environmental and Pollution*, 16, 560-569.
- Hurley P., 2002. The Air Pollution Model (TAPM) Version 3: User Manual. CSIRO Atmospheric Research. Australia.
- Rahmawati F., 2003. Bahan Kuliah Meteorologi: *Pencemaran Udara*, IPB, Bogor.
- Seinfeld JH, Pandis SN. 1998. Atmospheric Chemical Transport Models. Di dalam: Wiley J and Sons. *Atmospheric Chemistry and Physics*. Canada. 1193-1194.
- Stern AC, Boubel RW, Turner DB, Fox DL. 1984. *Fundamentals of Air Pollution*. Academic Press. London.
- Sorbjan, Z. (2003). *Air Pollution Meteorology*, Chapter 4 of Air Quality Modeling- Theories, Methodologies, Computational, Techniques, and Available Databases and Software. Vol.1-Fundamentals, the EnviroComp Institute (<http://www.envirocomp.org>). [25 April 2007].
- Suharsono H. 1985. *Pengaruh Cuaca dan Iklim terhadap Polusi Udara*. Fakultas Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.