

DISTRIBUSI POLA AEROSOL DI WILAYAH INDUSTRI BALONGAN DAN SURALAYA *(Aerosol Distribution in The Industry Areas of Balongan and Suralaya)*

Eko Heriyanto^{*}, Kadarsah, dan Radyan Putra Pradana

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika,
Jalan Angkasa 1 No.2, Kemayoran Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10720.

^{*}Penulis korespondensi. Tel: 081387466500. Email: e.heriyanto@gmail.com.

Diterima: 18 April 2017

Disetujui: 15 Maret 2018

Abstrak

Kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi distribusi aerosol yang aktual dan dominan dari kegiatan yang melepaskan emisi polutan, khususnya di sekitar wilayah industri Pertamina-Balongan dan PLTU-Suralaya. Parameter distribusi aerosol, planetary boundary layer dan angin didapatkan dari alat Lidar. Pengukuran pada kedua lokasi menunjukkan tren kenaikan aktivitas polutan setelah pukul 08.00 WIB, distribusi aerosol pekat Pertamina-Balongan berada pada kisaran 800–1400 mdpl, sedangkan wilayah PLTU-Suralaya bervariasi pada kisaran 500-6500 mdpl. Sebaran partikel aerosol disimulasikan menggunakan model dispersi untuk mengetahui pola arah sebaran.

Kata kunci: polutan, aerosol, cuaca, pengukuran, simulasi.

Abstract

This study aims to identify distribution of the aerosol as the pollutants emissions affected by the selected industrial activity i.e. Pertamina-Balongan and PLTU-Suralaya. Distribution of aerosols parameter, planetary boundary layer, and wind were measured by Lidar. The measurement at both locations showed an increasing trend in pollutant emission at morning local times after 8 AM. The dispersion of aerosol in Pertamina-Balongan dominate at the altitudes of 800-1400 masl, while in PLTU-Suralaya area varies at the range 500-6500 masl. Dispersion of the aerosols was simulated using a dispersion model to determine the direction of the dispersion.

Keywords: pollutant, aerosol, weather, measurements, simulation.

PENDAHULUAN

Mutu kualitas udara di suatu area dipengaruhi oleh konsentrasi polusi yang ada di wilayah tersebut. Sehingga penelitian mengenai konsentrasi polusi udara di suatu daerah penting untuk dilakukan. Kualitas udara yang ada di suatu daerah memiliki peranan yang sangat penting terhadap kesehatan makhluk hidup yang mendiami daerah tersebut. Adanya pengaruh yang cukup besar dalam suatu lingkungan tertentu dapat memberikan kontribusi yang cukup besar pula dalam ekologi makhluk hidup yang mendiami daerah sekitar tersebut. Peranan kondisi lingkungan merupakan aspek yang terpenting dalam mendominasi seluruh kegiatan makhluk hidup dalam berinteraksi dengan alam dan kehidupan sehari-hari (Landsberg, 1981). Faktor utama peningkatan pencemaran udara dari industri disebabkan karena masih banyaknya industri yang belum memiliki alat atau fasilitas untuk pengolahan polusi udara atau cerobong asap industri yang memenuhi standar (Soedarmo dkk, 1990).

Faktor kegiatan industri dan lalu lintas kendaraan sangat mempengaruhi volume emisi yang dihasilkan dari penggunaan bahan baku serta

bahan bakar pada proses produksi maupun pengolahan. Jenis-jenis polutan yang diemisikan dapat berupa partikel-partikel debu maupun logam berat, juga gas-gas polutan udara (Kanda dkk, 2002; Lagouarde dkk, 2006). Patut diwaspadai, efek dari tingginya volume emisi polutan dapat mempengaruhi kondisi penduduk maupun lingkungan di sekitar lokasi industri. Tidak tertutup kemungkinan penduduk yang tinggal jauh dari lokasi industri ataupun kawasan lalu lintas padat akan terkena imbasnya, karena polutan yang diemisikan terbawa oleh angin dan disebarkan dalam radius tertentu.

Beberapa faktor yang memberikan kontribusi peningkatan emisi zat pencemar di udara antara lain adalah pertumbuhan penduduk dengan segala aktivitasnya, peningkatan pemakaian energi, peningkatan status sosial atau perubahan gaya hidup dan minimnya peraturan-peraturan yang ada dan ataupun kurangnya kesadaran terhadap pentaatan peraturan-peraturan yang sudah ada serta lemahnya pengawasan di lapangan. Tingkat kadar pencemaran di udara tersebut umumnya sangat dipengaruhi oleh jumlah atau total bahan pencemar yang diemisikan atau dipancarkan ke atmosfer, kondisi meteorologi seperti arah dan kecepatan

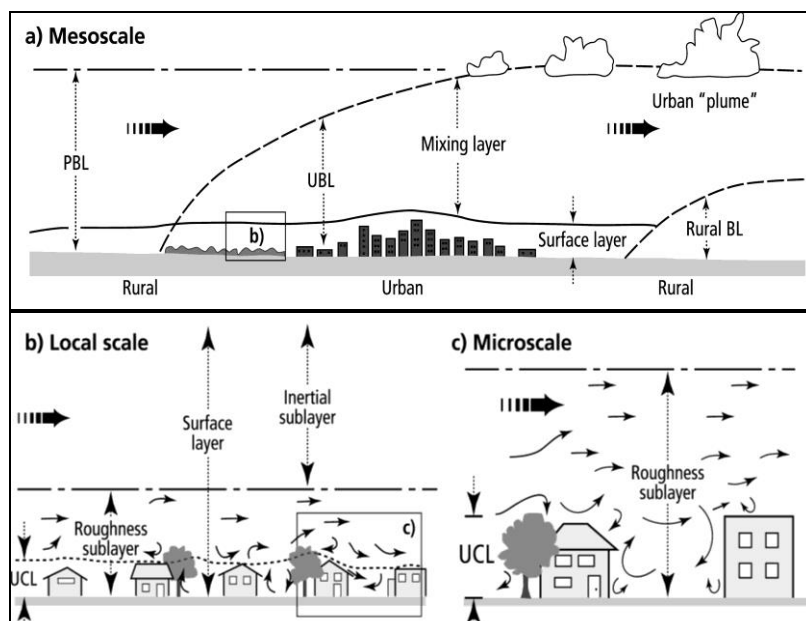
angin, suhu, kelembapan udara dan hujan, keadaan topografi seperti daerah terbuka atau datar, daerah lembah maupun daerah perbukitan atau gunung, serta bentuk susunan sumber yaitu sumber-sumber pencemar dengan ketinggian cerobong emisi. Semakin tinggi cerobong emisi yang digunakan maka umumnya akan semakin jauh distribusi sebaran polutan di atmosfer.

Penelitian yang sangat penting dalam studi urban klimatologi dilakukan oleh Oke (1976). Oke (1987) telah menghasilkan kerangka kerja bagi penyebaran instrumen dan interpretasi hasil pengamatan alat. Struktur vertikal atmosfer perkotaan diperlihatkan pada Gambar 1, dengan memasukkan efek iklim mikro masing-masing tipe permukaan dan kekasaran permukaan yang terjadi dekat dengan sumber kekasaran, tetapi kemudian bercampur dengan pusaran turbulen seluruh sublapisan kekasaran (*Roughness sub-layer/RSL*³). Efek dari masing-masing fitur yang berbeda tersebut tidak dapat lagi dipahami di atas ketinggian pencampuran yang membatasi bagian atas RSL tersebut. Sebagai konsekuensinya maka pengukuran hanya dilakukan di atas ketinggian pencampuran, dalam sub lapisan inersia dimana teori mikrometeorologi standar berlaku, akan menjadi representasi lingkungan yang mendasari skala lokal dan mendapatkansampel yang representatif dari zona iklim kota (*Urban Climate Zone, UCZ*).

Planetary Boundary Layer (PBL) atau disebut *Atmospheric Boundary layer (ABL)* merupakan bagian terendah dari atmosfer dan karakteristiknya secara langsung dipengaruhi oleh kontak dengan permukaan bumi (Voogt dan Oke, 1997). Dengan demikian tingkat kekasaran dan aktivitas yang berlangsung di permukaan bumi sangat

mempengaruhi tinggi PBL. Ketinggian yang rendah terjadi saat pagi dan malam hari sedangkan menjelang siang ketinggian PBL mengalami kenaikan. Ketinggian PBL yang rendah saat pagi dan malam hari disebabkan tingkat turbulensi yang terjadi dan berpengaruh terhadap ketinggian PBL sangat rendah jika dibanding dengan turbulensi yang terjadi saat siang hari, kondisi siang hari dengan tingkat penyinaran yang kuat. Perubahan yang terjadi pada lapisan ini terjadi dalam rentang waktu kurang dari satu jam. Dalam lapisan ini parameter-parameter meteorologi seperti kecepatan aliran, temperatur, kelembapan, turbulensi dan pencampuran vertikal yang kuat. Di atas PBL adalah atmosfer bebas dengan kondisi angin merupakan angin geostropik (angin yang sejajar dengan isobars) sementara dalam PBL angin yang terjadi dipengaruhi kekasaran permukaan dan melintasi isobars. Lapisan atmosfer bebas ini biasanya bebas turbulensi dan hanya terjadi golongan yang bersifat insidental.

Faktor informasi yang minim terkait sebaran polutan dan kualitas udara yang diemisikan dari sumbernya dan terbawa oleh angin ke suatu daerah, yang merupakan area industri dan kawasan padat lalu lintas, akan dapat memberikan andil dalam penurunan kualitas kesehatan masyarakat sekitar daerah tersebut. Berdasarkan hal itu perlu dikaji pemantauan sebaran polutan di udara, khususnya di wilayah-wilayah industri. Pada penelitian diterapkan di kawasan industri Balongan dan Suralaya dengan menggunakan aplikasi model kualitas udara Hysplit. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pola distribusi aerosol di kedua wilayah sehingga dapat diketahui pengaruh keberadaan industri bagi kawasan sekitarnya.



Gambar 1. Skema skala iklim dan lapisan vertikal di perkotaan pada level (a) mesoscale (b) local scale dan (c) microscale (Oke, 2006).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi

Pengukuran dilakukan pada 2 (dua) lokasi kawasan industri yaitu; Pertamina-Balongan, Indramayu (14-16 April 2010), dan PLTU-Suralaya (4-7 Agustus 2010). Lokasi pengukuran kawasan industri Balongan dan Suralaya ditunjukkan Gambar 2.

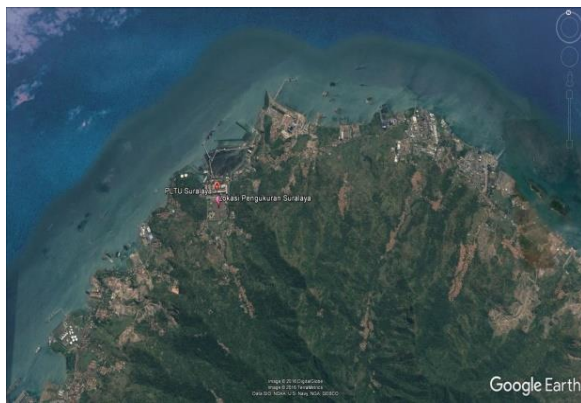
Prosedur

Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan profil secara vertikal dari parameter aerosol, *Planetary Boundary Layer* (PBL) dan arah kecepatan angin. Kajian ini menggunakan data *Global Data Assimilation System* (GDAS) resolusi 0.5° yang digunakan sebagai masukan data model *Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory-NOAA* (Hysplit-NOAA) untuk mendapatkan simulasi sebaran aerosol disekitar sumber.

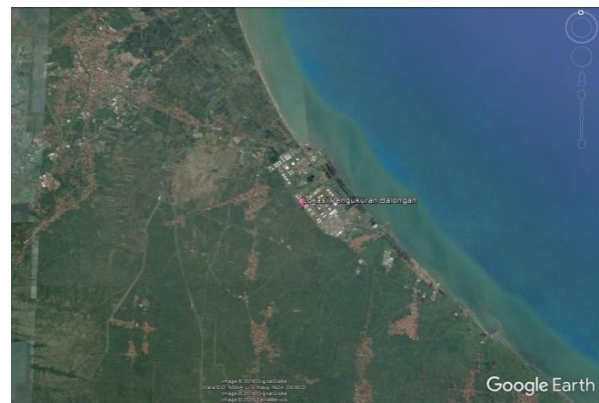
Peralatan yang digunakan dalam kajian ini terdiri dari *Aerosol Light Detection and Ranging Systems* (ALS) untuk mengukur distribusi aerosol dan PBL sampai ketinggian 20 km. Selanjutnya adalah *Windcube Lidar System* (WLS) untuk mengukur profil angin (arah dan kecepatan) secara realtime sampai level ketinggian maksimum 400m. Peralatan ALS dan WLS ditunjukkan Gambar 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis konsentrasi aerosol dilakukan berdasarkan hasil pengukuran alat dikawasan industri Pertamina-Balongan dan PLTU-Suralaya, sehingga didapatkan karakteristik dan distribusi dominan partikel aerosol dan PBL. Pengukuran ini dilakukan dengan *Hybrid Single Particle with Trajectory* (Hysplit) di mana merupakan metoda yang telah dikembangkan selama bertahun-tahun di *Laboratorium NOAA Air Resources Laboratory*. Model Hysplit ini adalah sebuah sistem yang lengkap untuk pemodelan lintasan atmosfer, dispersi dan simulasi baik menggunakan *puffatau Lagrangian particle* (Draxler dan Hess, 1998). Aplikasi Hysplit meliputi *tracking* dan *forecasting* pelepasan bahan polutan, lintasan polutan di udara, abu vulkanik, dan asap dari kebakaran hutan. Model ini digunakan secara operasional oleh NOAA melalui lembaga seperti *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) dan *National Weather Service* (NWS). Dispersi polutan dihitung dengan mengasumsikan baik lintasan atau partikel yang dilepaskan ke udara. Dalam model ini, jangkauan lintasan dapat lebih luas dari grid yang telah ditetapkan untuk input meteorologi dan kemudian dipecah menjadi beberapa lintasan baru, masing-masing dengan massa polutan (Stein dkk, 2015).

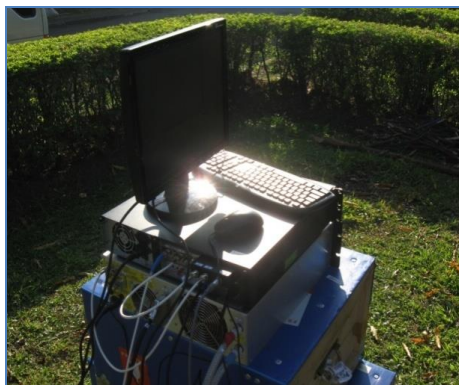


(a)



(b)

Gambar 2. Lokasi pengukuran di wilayah (a) Balongan dan (b) Suralaya.



(a)

(b)

Gambar 3. Peralatan (a) ALS dan (b) WLS.

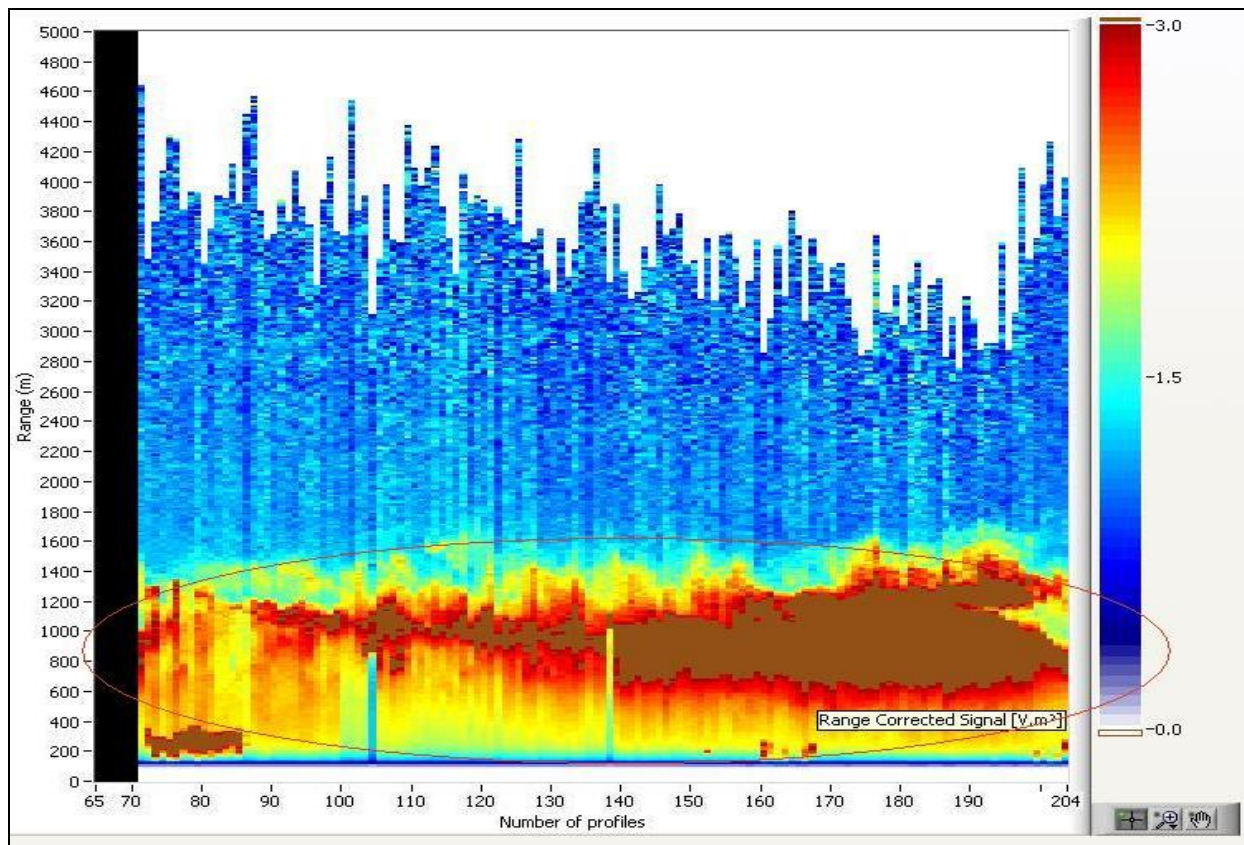
Analisis Konsentrasi Aerosol di Balongan

Konsentrasi sebaran aerosol di sekitar wilayah Balongan selama periode pengukuran terdistribusi sampai ketinggian 1400 m (ditandai dengan warna kuning, merah, dan coklat yang menandakan tingkat kepekatan), sedangkan distribusi PBL berada pada ketinggian kisaran 500-1500 m. Hasil pengukuran aerosol tanggal 14-16 April 2010 ditunjukkan Gambar 4. Analisis hasil pengukuran dilakukan sejak pukul 06.00-18.00 WIB. Profil amplitudo ketinggian PBL dalam meter di Balongan, Indramayu pada 15 April 2010 ditunjukkan pada Gambar 5.

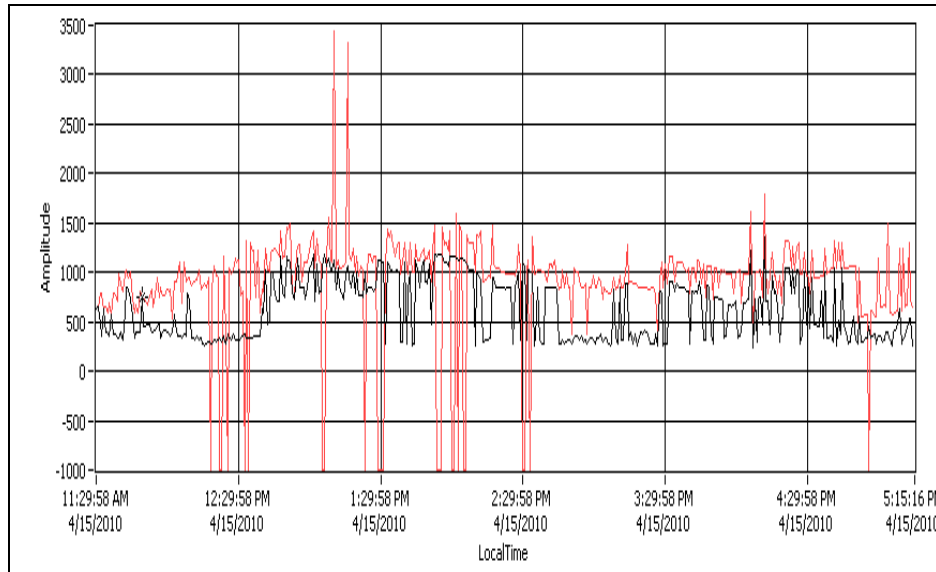
Gambar 4 menunjukkan konsentrasi aerosol pekat mendominasi permukaan sampai ketinggian 1400 m. Konsentrasi makin menguat khususnya pada 16 April 2010. Distribusi aerosol mulai menyebar secara vertikal sehingga pada hari akhir pengukuran konsentrasi berada pada kisaran ketinggian 800-1400 m. Kondisi ini menunjukkan stabilitas atmosfer yang aktif. Artinya, kondisi lingkungan di lokasi pengukuran memiliki fluktuasi stabilitas atmosfer tetapi makin menguat saat hari terakhir. Akibatnya aerosol tersebar secara vertikal yang sebelumnya terkonsentrasi dan tidak menyebar secara vertikal. Kekuatan turbulensi dapat dihitung dengan menggunakan bilangan Richardson (Ri). Bilangan Richardson ini sangat

dipengaruhi oleh temperatur potensial. Semakin tinggi temperatur potensial Bilangan Richardson akan semakin meningkat sehingga meningkatkan kekuatan turbulensi sekaligus meningkatkan penyebaran aerosol secara vertikal. Profil aerosol yang ditampilkan alat Lidar membantu analisis distribusi aerosol secara vertikal sedangkan distribusi secara horizontal dapat dilakukan menggunakan pendekatan model.

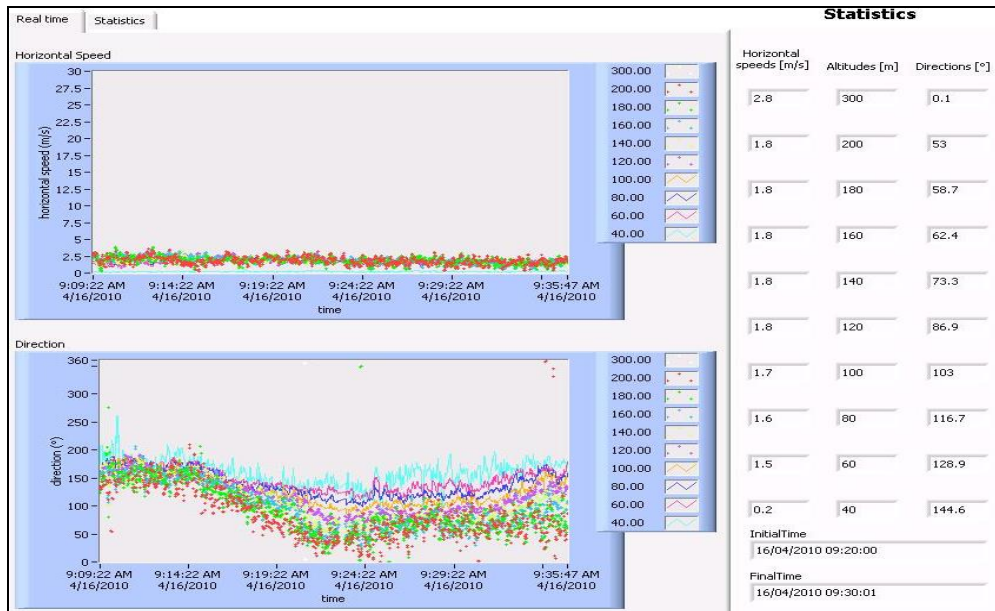
Kondisi angin rata-rata sekitar 1-2 m/s bertiup dari arah barat laut dan barat, dengan kecepatan maksimum sekitar 1-3 m/s (Gambar 6). Gambaran simulasi model (Gambar 7) menunjukkan dispersi aerosol dominan menuju ke arah timur (arah laut, sebelah utara Indramayu). Arah angin yang dominan ke arah timur laut akibat proses interaksi darat-laut-atmosfer. Pengaruh angin darat yang bertiup ke arah laut turut meningkatkan penyebaran polutan di daerah Balongan, Indramayu. Simulasi juga menunjukkan bahwa konsentrasi dari pusat sumber polutan terus mengecil dan menghilang dengan sebaran yang paling luas menuju arah timur laut. Perbedaan konsentrasi secara horizontal digunakan untuk melihat pengaruh sebaran aerosol secara spasial dan melihat sejauh mana daerah yang terkena polutan secara horizontal.



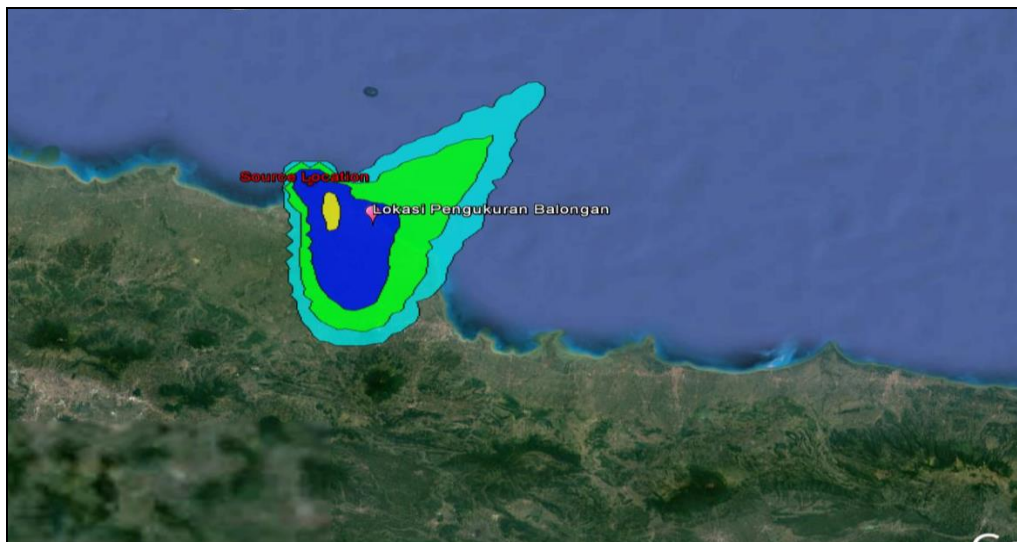
Gambar 4. Profil aerosol di Balongan-Indramayu selama 14-16 April 2010. Konsentrasi aerosol pekat terlihat pada ketinggian 800-1400 m. Batas atas lapisan aerosol juga menunjukkan ketinggian PBL.



Gambar 5. Profil amplitudo ketinggian PBL dalam meter di Balongan, Indramayu pada 15 April 2010.



Gambar 6. Profil kecepatan (atas) dan arah angin (bawah) di Pertamina-Balongan, Indramayu.



Gambar 7. Simulasi penyebaran konsentrasi aerosol di Pertamina-Balongan, Indramayu menggunakan model Hysplit.

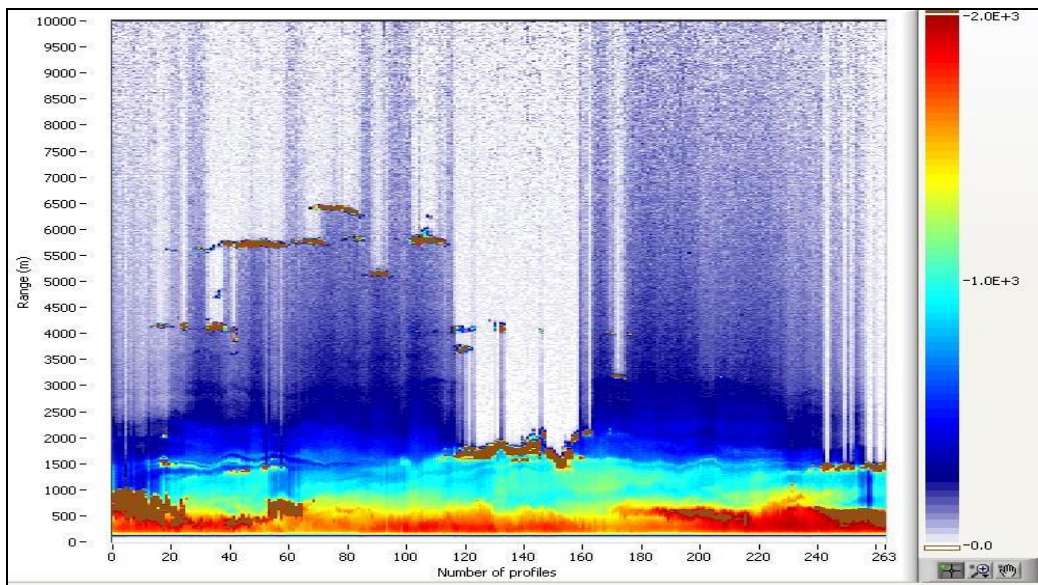
Analisis Konsentrasi Aerosol di PLTU-Suralaya

Hasil pengukuran profil aerosol di PLTU-Suralaya selama 4-7 Agustus 2010 menunjukkan bahwa aerosol terkonsentrasi dari permukaan s.d 1000 meter. Pada jam-jam tertentu saat turbulensi sangat kuat aerosol terangkat sampai ketinggian 1500 m. Awan yang memiliki konsentrasi aerosol yang pekat juga terdeteksi pada ketinggian 5500-6500 meter. Secara umum, konsentrasi aerosol tidak terangkat dari permukaan tetapi tersebar dari permukaan sampai ketinggian 1 km (Gambar 8). Konsentrasi aerosol yang paling kuat terjadi di permukaan bumi.

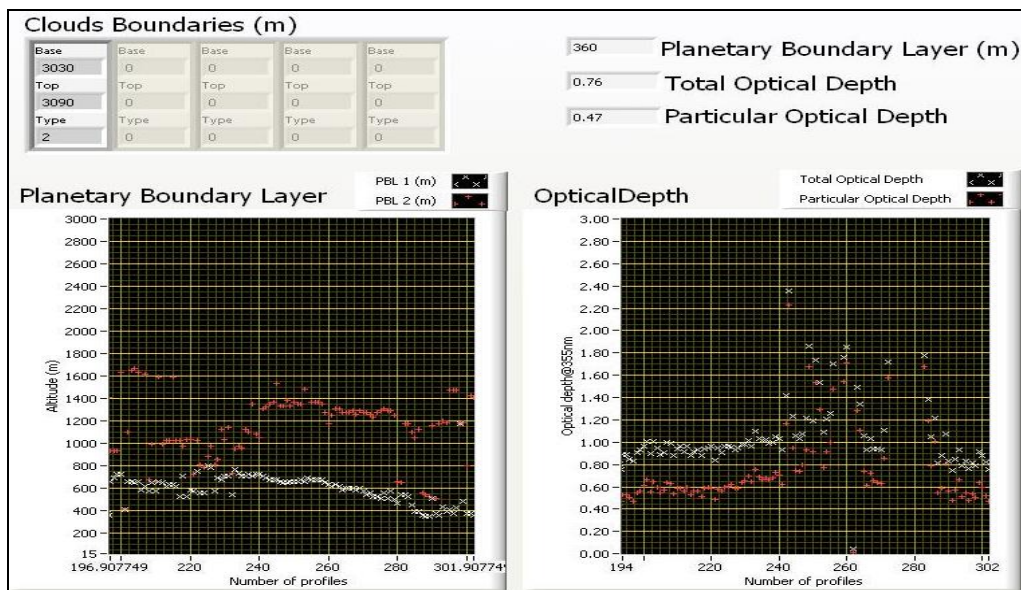
Ketinggian PBL dan pengaruhnya pada profil aerosol ditunjukkan Gambar 9. Distribusi PBL berada di ketinggian 360 m dan *Total Optical*

Depth bernilai 0,76. Terdeteksi adanya awan awan menengah dengan ketinggian dasar 3030 m serta puncaknya 3090 m. Terdeteksi adanya awan-awan konvektif yang menyebabkan hujan pada profil ke-20 hingga ke-160, konsentrasi aerosol juga cukup rendah pada ketinggian 200 m hingga ketinggian 500 m.

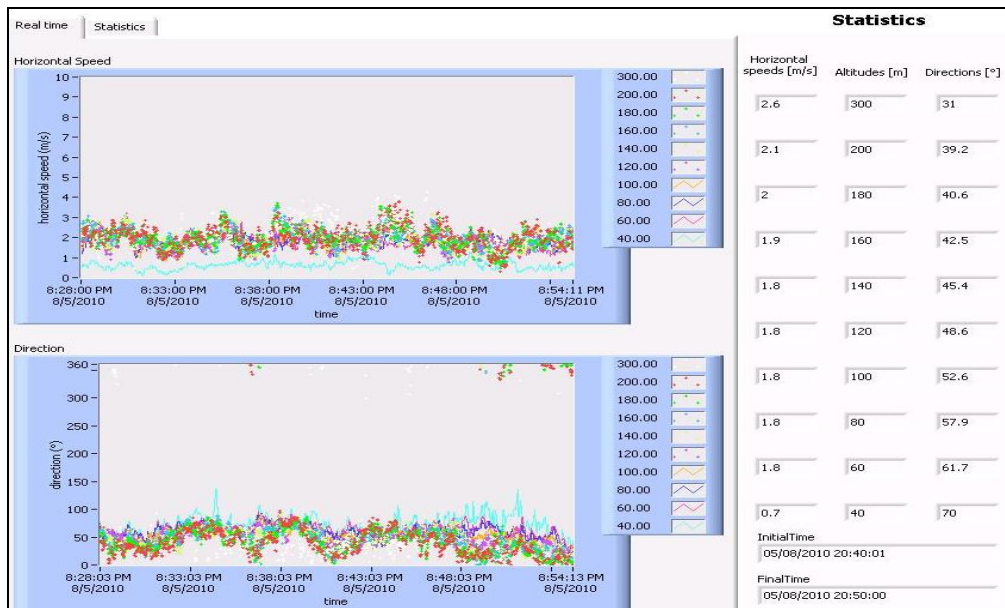
Hasil simulasi pola sebaran kualitas udara lebih dominan ke arah barat laut menuju Sumatera bagian selatan seperti yang ditunjukkan Gambar 11. Pola sebaran ini lebih lambat dibanding pola sebaran Pertamina-Balongan, Indramayu. Hal ini disebabkan kecepatan angin yang lebih rendah di Suralaya serta arah angin yang relatif lebih beragam.



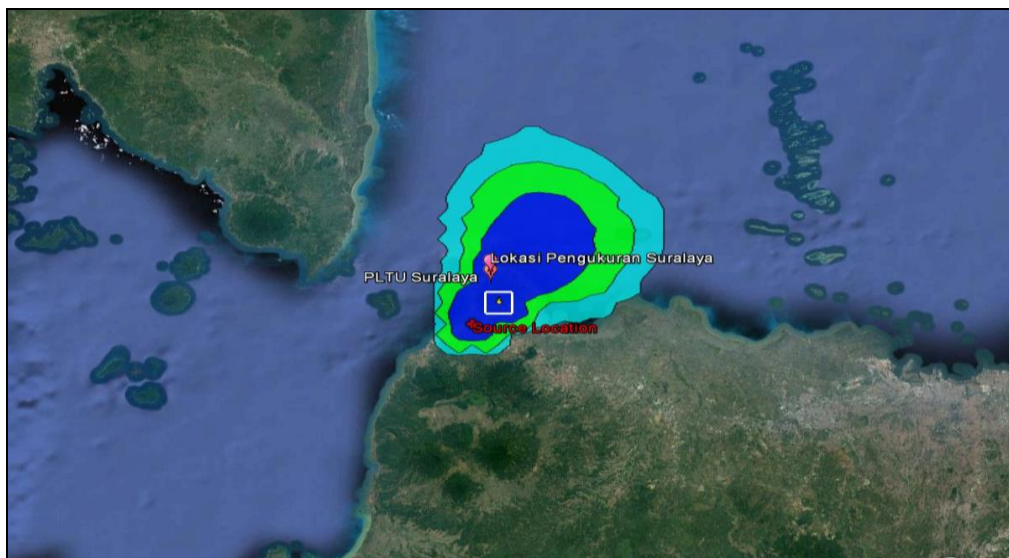
Gambar 8. Profil aerosol di Suralaya selama 4-7 Agustus 2010. Konsentrasi aerosol pekat terlihat pada ketinggian 20-1000 m. Batas atas lapisan aerosol juga menunjukkan ketinggian PBL.



Gambar 9. Grafik ketinggian PBL (kiri) dan optical depth (kanan) di Suralaya 4-7 Agustus 2010.



Gambar 10. Profil kecepatan (atas) dan arah angin (bawah) wilayah Suralaya.



Gambar 11. Simulasi penyebaran konsentrasi aerosol di PLTU-Suralaya menggunakan model Hysplit.

Kondisi angin pada ketinggian 40 m angin berhembus dari timur dengan kecepatan 1,2 m/s, dan angin maksimumnya 3,5 m/s, sedangkan pada ketinggian 300 m, angin berhembus dari tenggara dengan kecepatan 3,3 m/s dan kecepatan maksimumnya 8 m/s (Gambar 10). Seperti yang ditunjukkan Gambar 10, kecepatan angin yang rendah dan arah angin yang relatif tidak bergejolak menyebabkan penyebaran aerosol di Suralaya tidak mengalami peningkatan yang kuat. Akibatnya, aerosol cenderung mengendap dan tidak tersebar secara kuat baik secara vertikal maupun horizontal. Kondisi ini amat berbahaya karena aerosol akan mengendap dekat dengan permukaan tanah yang diisi oleh pemukiman penduduk sekitar.

KESIMPULAN

Konsentrasi aerosol di suatu lapisan ditentukan oleh ketinggian *Planetary Boundary Layer* (PBL). Ketinggian PBL ditentukan oleh tingkat kekasaran permukaan dan proses-proses yang berlangsung di permukaan bumi. Ketinggian PBL yang rendah terjadi saat pagi dan malam hari sedangkan menjelang siang ketinggian PBL mengalami kenaikan. Kondisi ketinggian PBL yang berfluktuasi ini berpengaruh terhadap konsentrasi aerosol yang berada di lapisan tersebut.

Pada kedua lokasi dijumpai tren kenaikan aktivitas polutan setelah pukul 08.00 WIB. Untuk distribusi aerosol pekat Pertamina-Balongan berada pada kisaran 800–1400 mdpl, sedangkan untuk wilayah PLTU-Suralaya bervariasi pada kisaran 500-6500 mdpl.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini tidak dapat dilakukan tanpa bantuan DIPA Penelitian Klimatologi dan Kualitas Udara 2010 PUSLITBANG BMKG, terima kasih yang sebesar-besarnya diucapkan kepada rekan-rekan personil lapangan: Ratna Satyaningsih, Danang Eko Nuryanto, Enderwin, Jose Rizal atas kerjasama tim.

DAFTAR PUSTAKA

- Draxler, R.R., and Hess, G.D., 1998. An Overview of The Hysplit_4 Modelling System for Trajectories. *Australian Meteorological Magazine*, 47(4):295-308.
- Kanda, M., Moriwaki, R., Roth, M., and Oke, T.R., 2002. Area-averaged Sensible Heat Flux and A New Method to Determine Zero-Plane Displacement Length Over an Urban Surface Using Scintillometry. *Boundary-Layer Meteorology*, 105:177-193.
- Lagouarde, J.P., Irvine, M., Bonnefond, J.M., Grimmond, C.S.B., Oke, T.R., Salmond, J., and Offerle, B., 2006. Monitoring The Sensible Heat Flux Over Urban Areas Using Large Aperture Scintillometry: Case Study of Marseille City During The Escompte Experiment. *Boundary-Layer Meteorology*, 118:449-476.
- Landsberg, H, 1981. *The Urban Climate*. London: Academic Press, Inc.
- Oke, T.R., 2006. *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites*. *World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods*, IOM Report No. 81, WMO/TD-No. 1250
- Oke, T.R., 1976: The Distinction Between Canopy and Boundary-Layer Urban Heat Islands. *Atmosphere*, 14:268-277.
- Oke, T.R., 1987: *Boundary Layer Climates*. 2nd ed. Methuen, London.
- Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., and Ngan, F., 2015. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12):2059-2077.
- Voogt, J.A., and Oke, T.R., 1997: Complete Urban Surface Temperatures. *Journal of Applied Meteorology*, 36:1117-1132.