

PEMANTAUAN KUALITAS UDARA AMBIEN DAERAH PADAT LALU LINTAS DAN KOMERSIAL DKI JAKARTA: ANALISIS KONSENTRASI $PM_{2,5}$ DAN *BLACK CARBON*

AMBIENT AIR QUALITY MONITORING AT TRAFFIC AND COMMERCIAL AREA IN JAKARTA: ANALYSIS OF $PM_{2,5}$ CONCENTRATION AND BLACK CARBON

Ulfi Muliane¹ dan Puji Lestari²

Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

¹ulfi.muliane@yahoo.co.id dan ²pujilest@indo.net.id

Abstrak: Pemantauan kualitas udara ambien merupakan bagian penting dalam pengelolaan kualitas udara. Pemantauan kualitas udara dilakukan di Bundaran HI sebagai representasi daerah padat lalu lintas dan Kelapa Gading sebagai representasi daerah komersial di DKI Jakarta. Kualitas udara ambien dalam penelitian ini ditinjau dari konsentrasi $PM_{2,5}$ dan black carbon (BC). Pengambilan sampel kualitas udara menggunakan alat Mini Volume Sampler secara kontinu (24 jam) selama 7 hari berturut-turut untuk mengetahui fluktuasi konsentrasi harian selama satu minggu. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi $PM_{2,5}$ untuk pengukuran selama 24 jam di Bundaran HI berada pada rentang 46,67 - 77,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan untuk Kelapa Gading berada pada rentang 63,45 - 72,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dari keseluruhan hasil pengukuran, sebagian besar konsentrasi harian $PM_{2,5}$ melebihi baku mutu yang diperbolehkan oleh pemerintah, yaitu di atas 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk pengukuran selama 24 jam. Hasil analisis konsentrasi rata-rata harian black carbon dalam $PM_{2,5}$ untuk Bundaran HI adalah 7,76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ atau sebesar 12,27% BC dalam $PM_{2,5}$ dan untuk Kelapa Gading 7,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ atau sebesar 10,60% BC dalam $PM_{2,5}$. Angka ini tergolong relatif tinggi menurut WHO, yaitu melebihi 7,5% BC dalam $PM_{2,5}$. Baik konsentrasi massa maupun black carbon, hasil pengukurannya memiliki korelasi positif dengan volume kendaraan yang melintas di lokasi pemantauan. Selain volume kendaraan sebagai sumber emisi, hasil pengukuran juga dipengaruhi faktor meteorologi yang berperan dalam dispersi polutan.

Kata kunci: black carbon, daerah komersial, Jakarta, padat lalu lintas, $PM_{2,5}$

Abstract: Ambient air quality monitoring is an important part of air quality management. Air quality monitoring was conducted at Bundaran HI as representation of traffic area and Kelapa Gading as representation of commercial area in Jakarta. In this study, ambient air quality monitoring is reviewed in term of $PM_{2,5}$ concentration and black carbon (BC). Mini Volume Sampler is used for air quality sampling for 24 hours continuously in 7 consecutive days to determine the daily fluctuation of concentration in a week. The results show that concentrations of $PM_{2,5}$ for 24 hours measurement at Bundaran HI are in the range of 46.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 77.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and at Kelapa Gading are in the range of 63.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 72.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. From the overall results of the measurement, most of the daily concentrations of $PM_{2,5}$ exceed the national ambient air quality standard, that is above 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for 24-hour measurement. The concentration of black carbon content is 7.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ or 12.27% BC in $PM_{2,5}$ at Bundaran HI and 7.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ or 10.60% BC in $PM_{2,5}$ at Kelapa Gading. These values are relatively high according to WHO, which exceeds 7.5% of BC in $PM_{2,5}$. Either $PM_{2,5}$ or black carbon concentration, the values have positive correlation with the number of vehicles passing the monitoring location. In addition to the number of vehicles as source of emissions, the values are also influenced by meteorological factors that play a role in the dispersion of pollutants.

Key words: black carbon, commercial area, Jakarta, $PM_{2,5}$, traffic

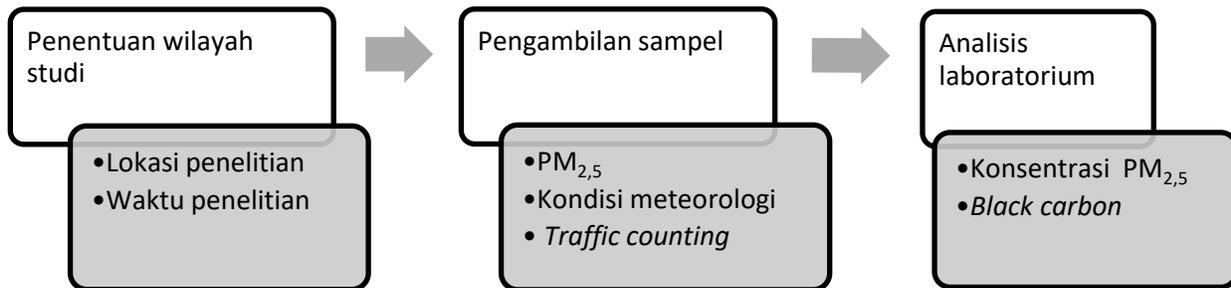
PENDAHULUAN

Polusi udara dapat didefinisikan sebagai kondisi atmosfer dimana konsentrasi substansi yang terdapat di dalamnya cukup tinggi, melebihi kondisi normal udara ambien sehingga dapat menimbulkan dampak yang terukur bagi manusia, hewan, vegetasi maupun material lainnya (Seinfeld, 1986). Salah satu substansi yang dapat berperan sebagai penyebab polusi udara adalah partikulat. Partikulat adalah semua substansi, kecuali air murni, yang berada dalam fasa cair atau padat dan terdapat di atmosfer pada kondisi normal dengan ukuran mikroskopis atau semimikroskopis namun lebih besar dibandingkan dimensi molecular ($\pm 2 \text{ \AA}$) (Seinfeld, 1986). $PM_{2,5}$ merupakan nama lain untuk partikulat dengan ukuran lebih kecil dari $2,5 \mu\text{m}$ atau disebut juga partikel halus.

Pembakaran bahan bakar fosil pada mesin kendaraan merupakan salah satu sumber partikulat di daerah perkotaan. DKI Jakarta merupakan salah satu kota terbesar di Asia Tenggara dengan jumlah penduduk hampir mencapai 10 juta jiwa. Laju pembangunan yang pesat sebagai pusat pemerintahan telah mengantarkan Jakarta sebagai pusat bisnis dan perekonomian, komersial, serta kegiatan lainnya. Beragam aktivitas tersebut menuntut mobilitas tinggi dari warga ibukota sehingga menyebabkan tingginya tingkat kepadatan lalu lintas. Berdasarkan data Dinas Perhubungan DKI Jakarta, hingga akhir tahun 2010, jumlah kendaraan di Jakarta tumbuh mencapai 7,34 juta unit dan pertumbuhan rata-rata kendaraan bermotor dalam lima tahun terakhir sebesar 9,5 persen per tahun (Dinas Komunikasi, Informatika dan Kehumasan Pemrov DKI Jakarta, 2012). Menurut (Soedomo, 1999), kontribusi partikulat oleh kendaraan bermotor di Jakarta sebesar 44,1% dari 7,071 juta ton/tahun.

Karbon merupakan komponen utama dalam partikulat di daerah urban. Sumber utama dari polutan ini adalah dari pembakaran bahan bakar fosil dan biomassa. $PM_{2,5}$ merupakan rumah bagi karbon yang dihasilkan dari proses pembakaran (Upadhyay, 2011). $PM_{2,5}$ merupakan partikulat yang mempunyai waktu tinggal di atmosfer dalam jangka waktu yang lama dan berpotensi berpenetrasi ke bagian dalam sistem pernafasan manusia. Oleh karena itu, analisis konsentrasi $PM_{2,5}$ dan *black carbon* sangat berguna untuk mengkaji kualitas udara ambien.

METODOLOGI



Gambar 1 Tahapan kegiatan penelitian

Penentuan wilayah studi

Studi dilakukan pada dua lokasi di DKI Jakarta yang mewakili daerah padat lalu lintas dan daerah komersial. Untuk daerah padat lalu lintas, dipilih wilayah Bundaran Hotel Indonesia sebagai lokasi pengambilan sampel. Lokasi ini dipilih karena kendaraan yang melintas lebih dari 10000 kendaraan per hari (Noll & Miller, 1977). Alat pengambil sampel diletakkan di tepi Jalan M.H Thamrin 61, Kecamatan Menteng, Jakarta Pusat, tepatnya pada koordinat $6^{\circ}11'38''$ S dan $106^{\circ}49'27''$ E. Untuk daerah komersial, pengambilan sampel dilakukan di dekat Mall Kelapa Gading, tepatnya di halaman Masjid Al-Musyawah Jalan Raya Bulevar-Kelapa Gading, Kecamatan Kelapa Gading, Jakarta Utara, tepatnya pada koordinat $6^{\circ}19'13,5''$ S dan $106^{\circ}54'39,3''$ E.

Pengambilan sampel dilakukan pada musim kemarau dan dilakukan selama 7 hari berturut-turut untuk daerah padat lalu lintas terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan untuk daerah komersial. Setiap harinya pengambilan sampel dilakukan secara kontinu selama 24 jam. Untuk daerah padat lalu lintas (Bundaran HI), pengambilan sampel dilakukan dari tanggal 15 Juni 2012 sampai dengan 21 Juni 2012, kemudian dilakukan *sampling* tambahan pada tanggal 23 – 24 Juli 2012 karena hasil pengambilan sampel sebelumnya dianggap tidak valid. Setelah itu, pengambilan sampel dilakukan pada daerah komersial (Kelapa Gading) dari tanggal 23 Juni 2012 sampai dengan 29 Juni 2012 dan *sampling* tambahan dilakukan pada tanggal 22 Juli 2012 untuk mengganti sampel sebelumnya yang dianggap tidak valid. Secara keseluruhan, sampel yang diambil untuk penelitian tugas akhir ini berjumlah 14 buah dengan pertimbangan ekonomis dan dianggap cukup representatif.

Pengambilan sampel

Dalam penelitian ini, pengambilan sampel udara ambien dilakukan menggunakan *Mini Volume Sampler*. Mini volume sampler dipilih karena sifatnya yang praktis, menggunakan baterai sebagai sumber tenaganya, namun dapat memberikan hasil yang mendekati pengukuran dengan metode standar.

Mini volume sampler merupakan alat pengambil sampel udara aktif yang memanfaatkan prinsip impaksi pada proses pengumpulan sampelnya. Untuk pengambilan sampel PM_{2,5}, impaktor dengan ukuran diameter *cut point* sebesar 2,5 mikron dipasang pada alat. Selanjutnya, filter jenis *Cellulose Acetate* dengan ukuran diameter 47 mm dan ukuran pori 0,45 µm dipakai untuk menampung sampel PM_{2,5}.

Mini volume sampler diatur pada laju aliran (*flowrate*) aktual sebesar 5 lpm. Namun, angka ini perlu disesuaikan berdasarkan temperatur dan tekanan di lokasi *sampling*. Sebelum digunakan untuk pengambilan sampel, alat dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan *bubblemeter*.

Selama pengambilan sampel berlangsung, dilakukan pengukuran kondisi meteorologi setempat untuk mengevaluasi pergerakan udara lokal yang mempengaruhi penyebaran pencemar udara di dekat lokasi studi (Noll & Miller, 1977). Pengukuran dilakukan setiap 2 jam sekali untuk memperoleh data meteorologi harian yang cukup representatif. Parameter meteorologi yang diukur adalah temperatur, kelembaban relatif, serta tekanan udara. Alat yang digunakan untuk mengukur temperatur adalah *sling psychrometer* dan tekanan udara diukur menggunakan barometer, sedangkan nilai kelembaban relatif diperoleh dari tabel konversi berdasarkan nilai temperatur kering dan basah. Untuk parameter kecepatan dan arah angin, menggunakan data sekunder yang diperoleh dari BPLHD Provinsi DKI Jakarta.

Selain parameter meteorologi, data volume kendaraan yang melintas pada lokasi pengambilan sampel juga dibutuhkan sebagai penunjang analisis hasil penelitian. Perhitungan jumlah kendaraan yang melintas dilakukan setiap 2 jam sekali selama 5 menit menggunakan alat *counter* dan *stopwatch*. Selanjutnya, dilakukan konversi jumlah kendaraan yang melintas selama 5 menit menjadi jumlah kendaraan yang melintas setiap jam. Kendaraan yang dihitung termasuk kendaraan pribadi dan angkutan umum, namun dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu motor, kendaraan berbahan bakar bensin, dan kendaraan diesel. Untuk kendaraan berbahan bakar gas, seperti bis Transjakarta dan beberapa jenis bajaj, tidak diikutsertakan dalam perhitungan jumlah kendaraan.

Analisis Laboratorium

Kajian kualitas udara ambien pada penelitian kali ini didasarkan pada analisis konsentrasi PM_{2,5} dan *black carbon*. Konsentrasi PM_{2,5} dianalisis berdasarkan metode gravimetri, sedangkan konsentrasi *black carbon* dianalisis berdasarkan metode optik.

Gravimetri merupakan salah satu metode analisis kuantitatif berdasarkan proses pemisahan dan penimbangan suatu zat atau komponen dalam bentuk yang semurni mungkin. Gravimetri memanfaatkan media lain sebagai penangkap zat atau komponen tersebut. Dalam hal ini, zat yang ditangkap adalah PM_{2,5} dengan memanfaatkan filter sebagai media penangkap. Media penangkap (filter) ditimbang sebelum dan sesudah *sampling*. Penimbangan filter dilakukan sebanyak lima kali sehingga diperoleh berat yang relatif stabil. Perbedaan berat filter setelah dan sebelum *sampling* merupakan berat PM_{2,5} yang tertangkap. Gravimetri merupakan analisis kuantitatif untuk menentukan konsentrasi suatu zat atau

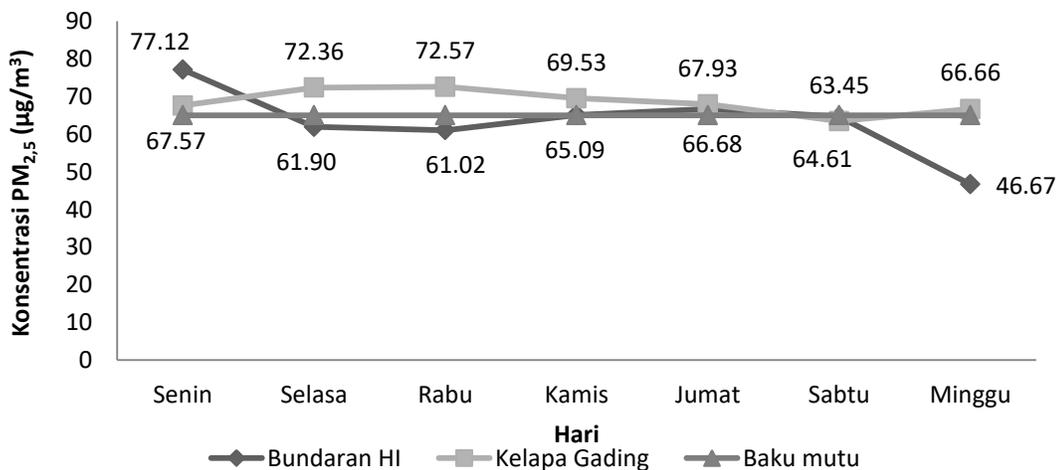
komponen. Dalam penelitian kali ini, konsentrasi debu yang diukur dinyatakan dalam satuan massa per volume. Dengan menggunakan MiniVol™ sebagai alat pengambil sampel udara, volume udara dihitung dengan cara mengalikan laju aliran udara yang dilewatkan (*flowrate*) dengan waktu (durasi) pengambilan sampel. Konsentrasi debu diperoleh dengan cara membagi berat PM_{2,5} dengan volume sampel udara yang telah dikonversi untuk kondisi normal.

Selain konsentrasi PM_{2,5}, analisa laboratorium juga dilakukan untuk mengetahui jumlah *black carbon* yang terdapat di dalam PM_{2,5}. *Black carbon* (BC) merupakan salah satu jenis karbon yang diukur berdasarkan kemampuannya menyerap cahaya (WHO, 2012). Dalam penelitian kali ini, konsentrasi BC diukur menggunakan *EEL Smoke Stain Reflectometer Model 43D*. Konsentrasi BC diukur dengan membandingkan reflektansi yang dihasilkan pada filter sampel dengan filter standar. Filter standar yang digunakan yaitu filter putih dan abu-abu. Filter putih akan memberikan 100% reflektansi dan filter hitam memberikan 34±1,5% reflektansi. Pengukuran dilakukan di 5 titik yang berbeda untuk tiap sampel, dan setiap titiknya masing-masing diukur sebanyak tiga kali agar menghasilkan data yang representatif. Selanjutnya, hasil pengukuran dihitung untuk mengetahui konsentrasi *black carbon* dan kontribusinya dalam PM_{2,5}.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi PM_{2,5}

Gambar 2 memperlihatkan hasil pengukuran konsentrasi PM_{2,5} di Bundaran HI dan Kelapa Gading untuk pengukuran selama 24 jam. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa fluktuasi harian konsentrasi PM_{2,5} di Bundaran HI memiliki pola yang berbeda dengan Kelapa Gading. Meskipun begitu, tetap terdapat persamaan antara kedua lokasi pemantauan, yaitu konsentrasi PM_{2,5} paling tinggi sama-sama terjadi pada hari kerja (*weekdays*) dan konsentrasi paling rendah terjadi pada hari libur kerja (*weekend*). Di Bundaran HI, konsentrasi paling tinggi terjadi pada hari Senin sebesar 77,12 µg/m³ dan konsentrasi paling rendah terjadi pada hari Minggu sebesar 46,67 µg/m³. Sedangkan di Kelapa Gading, konsentrasi paling tinggi terjadi pada hari Rabu sebesar 72,57 µg/m³ dan konsentrasi paling rendah terjadi pada hari Sabtu sebesar 63,45 µg/m³.

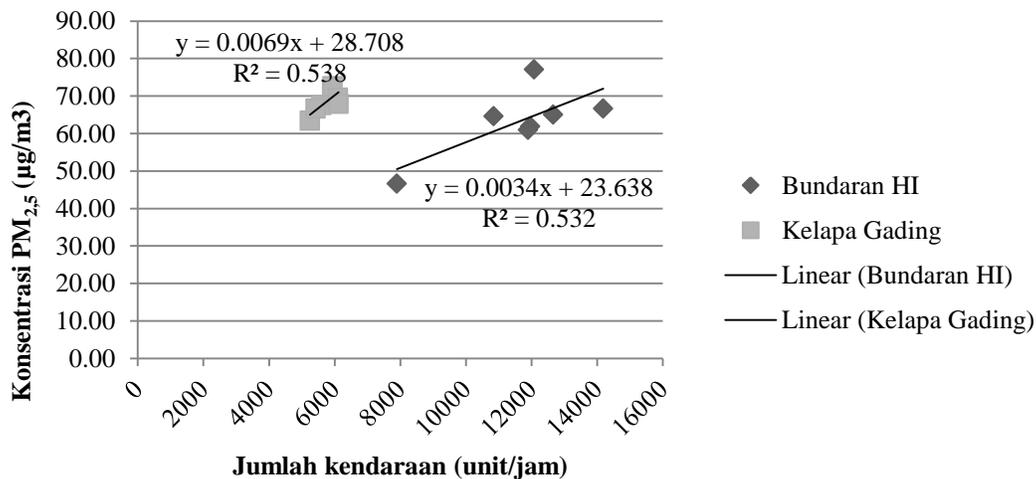


Gambar 2 Fluktuasi harian konsentrasi PM_{2,5}

Pemerintah Indonesia melalui Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 menetapkan baku mutu PM_{2,5} untuk pengukuran selama 24 jam sebesar 65 µg/m³. Hasil pengukuran pada kedua lokasi pemantauan

sebagian besar melebihi batas maksimum keberadaan $PM_{2.5}$ pada udara ambien yang diperbolehkan oleh pemerintah. Konsentrasi pencemar yang melebihi baku mutu yang ditetapkan dapat berpengaruh terhadap kesehatan manusia. Untuk itu, diperlukan upaya pengendalian pencemaran udara agar kualitas udara ambien tetap dapat memenuhi fungsinya.

Berdasarkan panduan kualitas udara yang diterbitkan WHO pada tahun 2005, nilai ambang batas $PM_{2.5}$ yang disarankan untuk pengukuran selama 24 jam adalah $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai ini cukup berbeda jauh dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Pemerintah sebaiknya melakukan riset untuk mengkaji ulang baku mutu yang tepat untuk $PM_{2.5}$.



Gambar 3 Korelasi antara konsentrasi $PM_{2.5}$ dengan aktivitas transportasi

Baik di Bundaran HI maupun di Kelapa Gading, aktivitas transportasi merupakan satu-satunya sumber polutan yang signifikan bagi konsentrasi $PM_{2.5}$. Tidak ada industri maupun aktivitas lain di sekitar lokasi pemantauan yang berpotensi menghasilkan partikulat. Berdasarkan hal tersebut, dapat diperkirakan terdapat suatu hubungan antara konsentrasi $PM_{2.5}$ dengan aktivitas transportasi sebagai sumber pencemar. Oleh karena itu dilakukan suatu regresi linear sederhana antara konsentrasi $PM_{2.5}$ dengan jumlah kendaraan yang melintas pada lokasi pemantauan sebagai representasi aktivitas transportasi.

Gambar 3 memperlihatkan hasil regresi linear antara konsentrasi $PM_{2.5}$ dengan jumlah kendaraan yang melintas pada lokasi pemantauan. Dari hasil regresi tersebut, diperoleh koefisien determinasi (R^2) antara konsentrasi $PM_{2.5}$ dan jumlah kendaraan sebesar 0,532 untuk Bundaran HI dan 0,538 untuk Kelapa Gading. Nilai ini menunjukkan bahwa sebesar kurang lebih 50% dari konsentrasi $PM_{2.5}$ pada kedua lokasi pemantauan dapat dijelaskan oleh jumlah kendaraan, dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain (Furqon, 1997). Dari koefisien determinasi, diperoleh koefisien korelasi (R) antara konsentrasi $PM_{2.5}$ dengan jumlah kendaraan untuk Bundaran HI sebesar 0,729 dan Kelapa Gading sebesar 0,733. Menurut Guilford (1954), nilai koefisien korelasi di antara 0,6 dan 0,8 menunjukkan hubungan linier yang kuat antara kedua variabel.

Tabel 1 Volume kendaraan yang melintas tiap jam di daerah padat lalu lintas

No.	Hari	Konsentrasi $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Volume kendaraan (unit/jam)
1	Senin	77,12	12076
2	Selasa	61,90	11956
3	Rabu	61,02	11890
4	Kamis	65,09	12657
5	Jumat	66,68	14184
6	Sabtu	64,61	10846

7	Minggu	46,67	7894
Rata-rata		63,30	11643

Dari **Tabel 1**, dapat dilihat bahwa semakin banyak kendaraan yang melintas maka semakin tinggi juga konsentrasi $PM_{2,5}$ yang terukur. Namun, terjadi kejanggalan pada hari hari Jumat dan Sabtu. Pada hari Jumat, sewajarnya konsentrasi $PM_{2,5}$ yang terukur lebih tinggi daripada konsentrasi $PM_{2,5}$ pada hari Senin, sebab jumlah kendaraan pada hari Jumat lebih banyak daripada hari Senin. Kejanggalan yang terjadi disebabkan turunnya hujan pada saat pengambilan sampel berlangsung. Pada hari Jumat, turun hujan selama kurang lebih 45 menit sehingga polutan yang terdapat di udara tercuci oleh air hujan. Oleh karena itu, konsentrasi $PM_{2,5}$ yang terukur pun menjadi lebih kecil. Keadaan ini sangat berbeda dengan hari-hari lain dimana tidak terjadi hujan sama sekali. Pada hari Sabtu, dimana jumlah kendaraan yang melintas tidak sebanyak hari Selasa dan Rabu, konsentrasi $PM_{2,5}$ yang terukur lebih tinggi dibandingkan kedua hari tersebut. Hal ini dapat disebabkan polutan yang terukur tidak hanya bersumber dari emisi kendaraan bermotor saja, melainkan juga berasal dari tempat lain.

Pada hari Minggu di Bundaran HI, konsentrasi $PM_{2,5}$ menurun cukup drastis dibandingkan hari-hari lainnya. Hal ini disebabkan diberlakukannya *car free day* di sekitar bundaran HI mulai pukul 6 pagi hingga pukul 11 siang setiap hari Minggu. Selama jangka waktu tersebut, hanya bus Transjakarta yang diperbolehkan melalui sekitar bundaran HI. Akibatnya, jumlah kendaraan yang melintas menurun cukup signifikan dibandingkan hari-hari lain. Dari **Tabel 1** dapat dilihat bahwa pada hari Senin hingga Sabtu, rata-rata jumlah kendaraan yang melintas di Bundaran HI sekitar 12000 kendaraan per jam, sedangkan pada hari Minggu jumlahnya menurun menjadi sekitar 7000 per jam. Menurut Soedomo (1999), aktivitas transportasi merupakan salah satu sumber partikulat. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa penurunan konsentrasi $PM_{2,5}$ di Bundaran HI pada hari Minggu terjadi akibat penurunan jumlah kendaraan yang melintas karena diberlakukannya *car free day*.

Konsentrasi $PM_{2,5}$ di Kelapa Gading juga dipengaruhi oleh aktivitas transportasi sebagai sumber polutan. **Tabel 2** memperlihatkan nilai konsentrasi $PM_{2,5}$ harian dan jumlah kendaraan yang melintas di Kelapa Gading. Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa sebagian dari hasil pengukuran konsentrasi harian $PM_{2,5}$ berkaitan dengan jumlah kendaraan yang melintas dan sebagian lagi tidak. Untuk konsentrasi $PM_{2,5}$ pada hari Sabtu hingga Senin, terlihat bahwa dengan adanya peningkatan jumlah kendaraan yang melintas terjadi peningkatan konsentrasi $PM_{2,5}$ yang terukur. Namun, untuk hari Selasa hingga Jumat, peningkatan jumlah kendaraan tidak selalu berdampak pada peningkatan konsentrasi $PM_{2,5}$ yang terukur.

Tabel 2 Volume kendaraan yang melintas tiap jam di daerah komersial

No.	Hari	Konsentrasi $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)	Volume kendaraan (unit/jam)
1	Senin	67,57	5595
2	Selasa	72,36	5925
3	Rabu	72,57	5935
4	Kamis	69,53	6095
5	Jumat	67,93	6116
6	Sabtu	63,45	5246
7	Minggu	66,66	5420
Rata-rata		68,58	5762

Dari hasil regresi linear sebelumnya, telah dijelaskan bahwa jumlah kendaraan yang melintas hanya dapat menjelaskan sebesar 50% dari nilai konsentrasi $PM_{2,5}$, sedangkan sebagian lainnya dijelaskan oleh faktor lain. Hal inilah yang menyebabkan mengapa peningkatan jumlah kendaraan di Kelapa Gading tidak selalu berdampak pada peningkatan konsentrasi $PM_{2,5}$. Faktor lain yang juga mempengaruhi konsentrasi $PM_{2,5}$ salah satunya adalah kondisi meteorologi. Angin memegang peranan penting dalam penyebaran polutan. Kehadiran angin dapat membantu penyebaran polutan yang diemisikan pada lokasi pemantauan maupun membawa polutan dari tempat lain menuju lokasi pemantauan.

Konsentrasi rata-rata harian $PM_{2.5}$ pada kedua lokasi pemantauan menunjukkan angka yang tidak terlalu berbeda satu sama lain, yaitu $63,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk Bundaran HI dan $68,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk Kelapa Gading. Dari hasil regresi linear sebelumnya, diperoleh kesimpulan bahwa konsentrasi $PM_{2.5}$ memiliki korelasi yang kuat dengan jumlah kendaraan yang melintas. Namun, untuk daerah Kelapa Gading dengan jumlah kendaraan kurang lebih 50% lebih sedikit dibandingkan Bundaran HI, konsentrasi $PM_{2.5}$ harian di Kelapa Gading menunjukkan nilai yang tidak terlalu jauh dengan Bundaran HI. Bahkan, jika dilihat dari rata-rata hasil pengukuran, konsentrasi $PM_{2.5}$ untuk Kelapa Gading lebih besar dibandingkan Bundaran HI. Berdasarkan pengamatan di lapangan, hal ini dapat terjadi ruas jalan di Kelapa Gading lebih sempit daripada di Bundaran HI. Lebar Jalan M.H. Thamrin di Bundaran HI kurang lebih 45 meter (Tempointeraktif.com, 2012) sedangkan lebar jalan di Kelapa Gading hanya kurang lebih 10 meter (inilah.com, 2011). Ruas jalan yang lebih lebar memungkinkan untuk menampung volume kendaraan yang lebih besar sehingga untuk selang waktu pengukuran yang sama jumlah kendaraan melintas yang dihitung di Bundaran HI lebih banyak dibandingkan di Kelapa Gading.

Selain kendaraan bermotor sebagai sumber emisi partikulat di udara, konsentrasi $PM_{2.5}$ yang terukur pada lokasi pemantauan juga dipengaruhi oleh kondisi meteorologi setempat. Salah satu faktor meteorologi yang berperan dalam hasil pengukuran konsentrasi partikulat adalah kecepatan dan arah angin. Angin merupakan pergerakan udara antara dua lokasi yang memiliki tekanan dan temperatur berbeda (Sutikno, 2011). Menurut (Fierro, 2000), salah satu mekanisme penyebaran polutan di atmosfer disebabkan oleh pergerakan udara yang membawa polutan sesuai dengan arah angin. Berdasarkan hal tersebut, angin merupakan faktor yang sangat berperan dalam dispersi polutan, dalam hal ini partikulat di udara. Kendaraan bermotor sebagai sumber emisi di sekitar lokasi pemantauan, tidak selalu berkontribusi pada hasil pengukuran konsentrasi $PM_{2.5}$ pada udara ambien. Adanya angin yang berperan dalam dispersi polutan, menjadikan konsentrasi $PM_{2.5}$ yang terukur tidak selalu berasal dari sumber emisi yang berada di dekatnya, melainkan dapat juga berasal dari tempat lain yang terbawa oleh angin yang menuju lokasi pengukuran. $PM_{2.5}$ memiliki diameter aerodinamik relatif kecil yang menyebabkan rendahnya kecepatan pengendapan sehingga partikel dapat bertransportasi dari satu tempat ke tempat lain. Menurut Fierro (2000), partikel halus atau $PM_{2.5}$ dapat ditransportasikan sejauh 100 hingga lebih dari 1000 kilometer dari sumbernya.

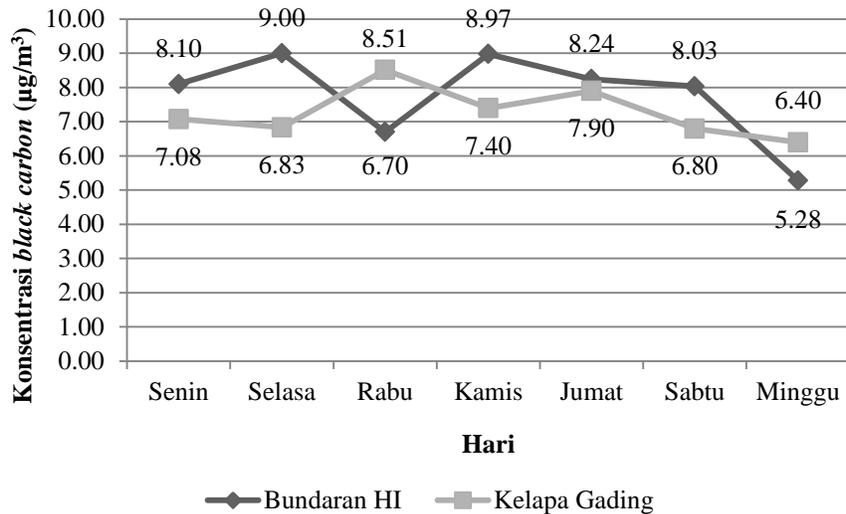
Polutan primer yang diemisikan oleh kendaraan bermotor dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu polutan yang berasal dari proses pembakaran di dalam mesin dan polutan yang berasal di luar proses pembakaran dalam mesin. Menurut Soedomo (1999), elemen-elemen kendaraan seperti ban, kopling dan rem berkontribusi sekitar 51% terhadap konsentrasi partikulat. Elemen-elemen kendaraan bermotor diluar proses pengoperasian mesin, cenderung menghasilkan partikulat yang dapat memiliki kecepatan pengendapan cukup tinggi. Hal ini ditandai dengan dekatnya partikulat-partikulat tersebut dengan tanah (kopling, ban, dan rem). Kecepatan pengendapan berkaitan erat dengan diameter partikel. $PM_{2.5}$ merupakan partikulat dengan ukuran diameter kurang dari 2,5 mikron dan cenderung berperilaku seperti gas (Fierro, 2000). Berdasarkan perbedaan karakter partikulat yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa partikulat yang berasal dari kendaraan bermotor diluar pengoperasian mesin tidak terlalu berkontribusi pada hasil pengukuran konsentrasi $PM_{2.5}$.

$PM_{2.5}$ merupakan polutan sekunder yang terbentuk dari emisi polutan gas dari proses pembakaran yang bertransformasi menjadi partikel sebagai hasil dari reaksi kimia di atmosfer (California Environmental Protection Agency, 2011). Proses pembakaran bahan bakar pada mesin kendaraan merupakan salah satu sumber emisi gas polutan. Proses pembakaran yang tidak sempurna di dalam mesin kendaraan menghasilkan polutan yang berwujud gas. Selanjutnya, polutan primer yang diemisikan oleh kendaraan bermotor ini akan dikonversi menjadi partikulat akibat adanya reaksi-reaksi kimia di atmosfer.

Black Carbon

Black carbon (BC) merupakan komponen karbon yang kehadirannya biasa diasosiasikan terhadap partikulat. BC banyak terdapat pada PM_1 , yaitu partikulat sangat halus yang memiliki diameter kurang dari 1 mikrometer (Bice, et al., 2009). BC memiliki dampak terhadap kesehatan manusia, seperti

meningkatkan jumlah kematian bayi akibat prematur dan efeknya terhadap anak – anak serta kesehatan pernafasan dan kardiovaskuler (Bice, et al., 2009).



Gambar 4 Fluktuasi harian konsentrasi *black carbon* pada lokasi pemantauan

Gambar 4 memperlihatkan fluktuasi konsentrasi BC di Bundaran HI dan Kelapa Gading. Secara keseluruhan, dapat dilihat bahwa konsentrasi BC di Bundaran HI dan Kelapa Gading memiliki pola yang berbeda satu sama lain. Tetapi, konsentrasi paling tinggi sama-sama dicapai pada hari kerja (*weekdays*) dan konsentrasi paling rendah sama-sama dicapai pada hari libur kerja (*weekend*). Konsentrasi BC paling tinggi terjadi pada hari Selasa di Bundaran HI sebesar 9,00 µg/m³ dan hari Rabu sebesar 8,51 µg/m³ di Kelapa Gading. Sedangkan konsentrasi paling rendah sama-sama terjadi pada hari Minggu, dengan konsentrasi sebesar 5,28 µg/m³ di Bundaran HI dan 6,40 µg/m³ Kelapa Gading.

Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran konsentrasi dan kontribusi BC dalam PM_{2,5}. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa di Bundaran HI, BC berkontribusi sebesar 10,50 – 14,54% dengan rata-rata sebesar 12,27% dalam PM_{2,5}, sedangkan di Kelapa Gading, BC berkontribusi sebesar 9,44 – 11,73% dengan rata-rata sebesar 10,60% dalam PM_{2,5}. Angka ini menunjukkan bahwa BC memang hadir di dalam PM_{2,5}.

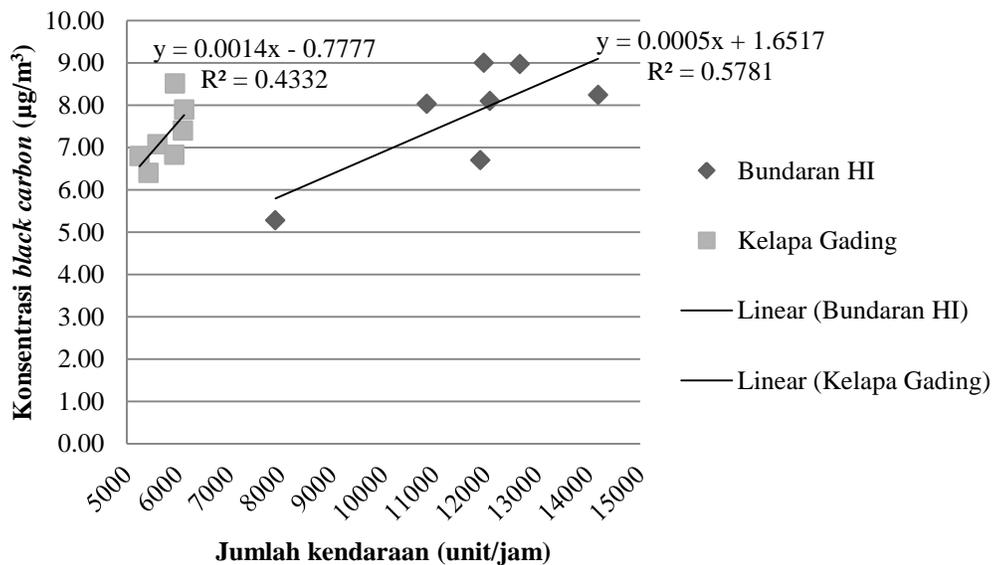
Tabel 3 Konsentrasi dan kontribusi *black carbon* dalam PM_{2,5}

No.	Hari	Konsentrasi <i>black carbon</i> (µg/m ³)	Konsentrasi PM _{2,5} (µg/m ³)	Kontribusi <i>black carbon</i> dalam PM _{2,5} (%)
Daerah padat lalu lintas Bundaran HI				
1	Senin	8,10	77,12	10,50
2	Selasa	9,00	61,90	14,54
3	Rabu	6,70	61,02	10,98
4	Kamis	8,97	65,09	13,79
5	Jumat	8,24	66,68	12,36
6	Sabtu	8,03	64,61	12,43
7	Minggu	5,28	46,67	11,31
Rata-rata		7,76	63,30	12,27
Standar Deviasi		1,34	9,05	1,48
Daerah komersial Kelapa Gading				
1	Senin	7,08	67,57	10,47
2	Selasa	6,83	72,36	9,44

3	Rabu	8,51	72,57	11,73
4	Kamis	7,40	69,53	10,64
5	Jumat	7,90	67,93	11,62
6	Sabtu	6,80	63,45	10,71
7	Minggu	6,40	66,66	9,60
Rata-rata		7,27	68,58	10,60
Standar Deviasi		0,73	3,23	0,89

Sejumlah penelitian dilakukan untuk mengetahui batas aman konsentrasi BC yang diperbolehkan berada pada udara ambien, namun belum ada penelitian yang mempublikasikan nilai konsentrasi BC yang berdampak negatif pada kesehatan. BC biasanya lebih banyak digunakan sebagai indikator komposisi kimia di dalam partikulat, terutama berkaitan dengan partikulat yang berasal dari proses pembakaran di dalam mesin diesel (World Health Organization, 2012). Dari studi yang dilakukan oleh WHO, untuk konsentrasi BC yang relatif tinggi, yaitu sekitar $75 \mu\text{g BC/mg PM}$ atau 7,5% BC dalam PM, hanya sejumlah kecil dari sekelompok sampel penelitian yang mengalami gangguan jantung dan pernafasan. Pada **Tabel 3**, hasil pengukuran konsentrasi BC dalam $\text{PM}_{2,5}$ baik di Bundaran HI maupun Kelapa Gading melebihi 7,5% BC dalam $\text{PM}_{2,5}$, yang artinya kandungan BC di dalam $\text{PM}_{2,5}$ tergolong relatif tinggi.

Menurut Seinfeld (1986), BC merupakan polutan primer yang dihasilkan melalui proses pembakaran bahan bakar pada mesin kendaraan. Berdasarkan hal tersebut, konsentrasi BC seharusnya berkaitan dengan proses pembakaran pada mesin kendaraan yang melintas di lokasi pemantauan sebagai sumber emisi. Untuk itu, sebuah regresi linear sederhana kemudian dibuat antara konsentrasi BC dan jumlah kendaraan yang melintas untuk melihat hubungan antara kedua variabel tersebut.



Gambar 5 Korelasi antara konsentrasi *black carbon* dengan jumlah kendaraan

Gambar 5 memperlihatkan hasil regresi linear antara konsentrasi BC dengan jumlah kendaraan yang melintas di lokasi pemantauan. Dari hasil regresi tersebut, diperoleh koefisien determinasi (R^2) antara konsentrasi BC dan jumlah kendaraan sebesar 0,5781 untuk Bundaran HI dan 0,4332 untuk Kelapa Gading. Nilai ini menunjukkan bahwa untuk Bundaran HI, sekitar 58% dari konsentrasi BC dapat dijelaskan oleh jumlah kendaraan yang melintas, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Namun, untuk Kelapa Gading jumlah kendaraan hanya dapat menjelaskan sekitar 43% dari konsentrasi BC. Dari koefisien determinasi, dapat diperoleh koefisien korelasi (R) sebesar 0,760 untuk Bundaran HI dan 0,658

untuk Kelapa Gading. Koefisien korelasi untuk kedua lokasi pemantauan memberikan nilai di atas 0,6 sehingga berdasarkan Guilford (1954) dapat disimpulkan bahwa konsentrasi BC memiliki korelasi yang kuat dengan jumlah kendaraan yang melintas.

KESIMPULAN

Konsentrasi $PM_{2,5}$ harian di Bundaran HI berada pada rentang 46,67 – 77,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan rata-rata sebesar 63,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan konsentrasi $PM_{2,5}$ di Kelapa Gading berada pada rentang 63,45 – 72,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan rata-rata sebesar 68,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil pengukuran konsentrasi $PM_{2,5}$ untuk kedua lokasi pemantauan sebagian besar melebihi baku mutu $PM_{2,5}$ berdasarkan PP No. 41 Tahun 1999, yaitu di atas 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk pengukuran selama 24 jam.

Selain konsentrasi $PM_{2,5}$, kualitas udara ambien pada penelitian kali ini juga dikaji berdasarkan konsentrasi *black carbon* dalam $PM_{2,5}$. Hasil pengukuran konsentrasi *black carbon* di Bundaran HI berada pada rentang 5,28 – 9,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan di Kelapa Gading berada pada rentang 6,40 – 8,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. *Black carbon* memiliki kontribusi sebesar 10,50 – 14,54 % dengan rata-rata sebesar 12,27%, pada $PM_{2,5}$ di Bundaran HI dan pada rentang 9,44 – 11,73 % dengan rata-rata sebesar 10,60% pada $PM_{2,5}$ di Kelapa Gading. Angka ini tergolong relatif tinggi berdasarkan penelitian WHO, yaitu melebihi 7,5% BC dalam PM.

Baik $PM_{2,5}$ maupun *black carbon*, kehadirannya di udara ambien berkaitan dengan sumber emisi berupa kendaraan yang melintas pada lokasi pemantauan serta kondisi meteorologi yang berperan dalam persebaran polutan. Dari hasil regresi linear, terdapat korelasi positif yang kuat antara aktivitas transportasi baik dengan konsentrasi $PM_{2,5}$ maupun dengan konsentrasi *black carbon*. Nilai koefisien korelasi antara konsentrasi $PM_{2,5}$ dengan jumlah kendaraan yang melintas, yaitu sebesar 0,729 untuk Bundaran HI dan 0,733 untuk Kelapa Gading, sedangkan nilai koefisien korelasi antara konsentrasi *black carbon* dengan jumlah kendaraan yang melintas diperoleh sebesar 0,760 untuk Bundaran HI dan 0,658 untuk Kelapa Gading.

DAFTAR PUSTAKA

- Bice, K., Eil, A., Habib, B., Heijmans, P., Kopp, R., Nogues, J., et al. (2009). *Black Carbon: A review and Policy Recommendations*. Woodrow Wilson School of Public & International Affairs, Princeton University.
- California Environmental Protection Agency. (2011, Desember 21). *Particulate Matter Pollutant Monitoring*. Retrieved Agustus 13, 2012, from California Environmental Protection Agency Air Resources Board: <http://www.arb.ca.gov/aaqm/partic.htm>
- Dinas Komunikasi, Informatika dan Kehumasan Pemprov DKI Jakarta. (2012). *Banjir & Kemacetan Lalu Lintas*. Retrieved Agustus 4, 2012, from Portal Resmi Pemprov DKI Jakarta: <http://www.jakarta.go.id/web/news/2012/06/banjir-kemacetan-lalu-lintas>
- Fierro, M. (2000, Maret 3). *Particulate Matter*. Retrieved from http://www.airinfony.org/pdf/Particulate_Matter.pdf
- Furqon, P. (1997). *Statistika terapan untuk penelitian*. Bandung: CV. Alfabeta.
- Noll, K. E., & Miller, T. L. (1977). *Air Monitoring Survey Design*. Ann Arbor Science Publishers.
- Seinfeld, J. H. (1986). *Atmospheric Chemistry of Air Pollution*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Soedomo. (1999). *Pencemaran Udara*. Bandung: Penerbit ITB.
- Sutikno, R. F. (2011). *Prediksi Penyebaran Gas Rumah Kaca (CO₂ & CH₄) dari Sektor Transportasi di DKI Jakarta dengan Model Dispersi ISC-AERMOD*. Institut Teknologi Bandung, Teknik Lingkungan . Bandung: ITB.
- Upadhyay, N. (2011). Chemical Speciation of $PM_{2,5}$ and PM_{10} in South Phoenix, AZ. *Journal of Air and Waste Management Association* .
- WHO. (2012). *The Department of Public Health and Environment*. Retrieved July 16, 2012, from World Health Organization: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf
- World Health Organization. (2012). *Health effects of black carbon*. Retrieved Agustus 5, 2012, from WHO Regional Office for Europe: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf