

Komposisi Kimia Pencemar Partikulat Kasar dan Halus di DKI Jakarta pada Musim Hujan dan Musim Kemarau

Driejana¹, Andi Iin Nindy Karlinda Kadir², dan Muhayatun Santoso³

¹Kelompok Keahlian Pengelolaan Udara dan Limbah, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung; e-mail: driejana@tl.itb.ac.id

²Program Pasca Sarjana Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung

³Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT), Badan Tenaga Nuklir Nasional, Bandung

ABSTRAK

Partikulat yang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia dikategorikan berdasarkan ukurannya yaitu PM₁₀ berukuran <10 µm dan PM_{2,5} berukuran <2,5 µm. Dampak terhadap kesehatan akan semakin besar pada ukuran partikulat yang semakin kecil, serta tergantung pada komposisi kimia yang dikandungnya. Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui perbedaan komposisi kimia partikulat halus (PM_{2,5}) dan partikulat kasar (PM_{10-2,5}) pada musim hujan dan musim kemarau, serta sumber-sumber pengemisinya. Sampling dilakukan di DKI Jakarta menggunakan alat Gent stacked filter sampler unit pada musim hujan. Hasil pengukuran total massa partikulat dan komposisinya dibandingkan dengan pengukuran pada studi sebelumnya yang dilakukan pada musim kemarau. Massa partikulat ditentukan menggunakan alat neraca semi Mikro Mettler Toledo. Untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung di dalam filter kasar maupun halus digunakan Epsilon 5 EDXRF spectrometer. Analisis korelasi pada komposisi kimia digunakan untuk memprediksi sumber-sumber pengemisi. Hasil perhitungan konsentrasi rata-rata PM_{2,5} dan PM_{10-2,5} lebih rendah pada musim hujan dibandingkan dengan pada musim kemarau. Konsentrasi rata-rata partikulat halus di musim hujan adalah sebesar 15,31±0,41 µg/m³ dan partikulat kasar sebesar 28,69±0,56 µg/m³ sedangkan di musim kemarau sebesar 26,76±0,22 µg/m³ dan 35,05±0,28 µg/m³. Hasil uji t menunjukkan bahwa pada musim hujan dan musim kemarau terdapat perbedaan yang signifikan pada komponen kimia penyusun partikulat halus, yaitu BC, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Ni, Zn, As. Untuk partikulat kasar unsur yang menunjukkan perbedaan signifikan adalah Al, Si, S, K, Ca, V, Ni, Cu, As, Cl. Perbedaan konsentrasi rata-rata ini kemungkinan disebabkan oleh terjadinya deposisi basah. Berdasarkan analisis sumber pencemar, PM_{2,5} diprediksi berasal dari debu tanah/soil, emisi kendaraan dan pembakaran biomassa serta industri, sedangkan PM_(10-PM_{2,5}) bersumber dari garam-garam lautan (sea salt), debu tanah, dan industri.

Kata kunci: Pencemaran Udara, PM_{2,5}, PM_(10-PM_{2,5}), Spesiasi partikulat, Pemantauan kualitas udara

ABSTRACT

Particulate matters (PM) have negative impacts on the environment and human health. PM were categorized based on their size, namely PM₁₀ with size <10 µm (coarse) and PM_{2,5} with size <2.5 µm (fine). The impact on health will be greater at the smaller particulate size, and depending on their chemical composition. This study is focused on the chemical composition of fine and coarse particulate matter in the rainy and dry seasons as well as their potential sources. Sampling was carried out in DKI Jakarta using a Gent stacked filter sampler unit during the rainy season. The measurement results of total particulate mass and its composition were compared with measurements of a previous study conducted during the dry season. The particulate mass was determined using a Mettler Toledo semi-balance instrument. Furthermore, to determine the elements contained in the coarse and fine filters, an Epsilon 5 EDXRF spectrometer was used. Correlation analysis of the chemical composition were used to predict the emission sources. The results demonstrated that the average concentration of PM_{2,5} and PM_(10-2,5) were lower in the rainy season than in the dry season. The average concentration of fine particulates in the rainy season was 15,31 ± 0,41 µg/m³ and coarse particulates was 28,69 ± 0,56 µg/m³. In the dry season it was 26,76 ± 0,22 µg/m³ and 35,05 ± 0,28 µg/m³. The t-test result showed that there was a significant difference between fine particles composition in the rainy season, particularly for BC, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Ni, Zn, As. For coarse particulates, the elements that show significant differences were Al, Si, S, K, Ca, V, Ni, Cu, As, Cl. The concentration difference was likely due to wet deposition. Based on the analysis of pollutant sources, PM_{2,5} was predicted to come from soil dust, vehicle emissions and combustion of biomass and fuel industry, while PM_(10-PM_{2,5}) (coarse particles) came from sea salt, ground dust, and industry.

Keywords: Air pollution, PM_{2,5}, PM_(10-PM_{2,5}), Particulate speciation, Air quality monitoring

Citation: Driejana, Kadir, A.I.N.K., dan M. Santoso, (2020). Komposisi Kimia Pencemar Partikulat Kasar dan Halus di DKI Jakarta pada Musim Hujan dan Musim Kemarau. Jurnal Ilmu Lingkungan, 18(3), 522-530, doi:10.14710/jil.18.3.522-530

1. Pendahuluan

Pencemaran udara saat ini mendapat perhatian yang cukup besar, terutama di negara berkembang dan kota-kota dengan peningkatan infrastruktur dan kendaraan. Polusi udara yang semakin meningkat memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia akibat paparan polusi udara.

Studi membuktikan bahwa polusi udara yang berada di sekitar pemukiman memberikan efek jangka pendek dan jangka panjang pada paru-paru anak-anak dan orang dewasa (Brunekreef dkk, 1995 ; Gotschi, 2008; Chen, 2019). Studi lain mengenai dampak PM_{2,5} terhadap kesehatan adalah meningkatnya risiko diabetes sebanyak 1-20% (Pearson dkk, 2010).

Salah satu dampak nyata dari pencemaran partikulat khususnya black carbon (BC) adalah pengurangan radiasi langsung akibat perubahan dalam keseimbangan radiasi bumi karena peningkatan penyerapan sinar matahari di atmosfer (Bond, 2013). Polusi yang diakibatkan oleh partikulat di Indonesia dapat menjadi lebih buruk akibat kegiatan ekonomi, pertumbuhan penduduk yang begitu cepat, urbanisasi dan industrialisasi (Santoso dkk, 20132).

Greenstone dan Fan (2019) yang melakukan perhitungan Air Quality Life Index (AQLI) menemukan bahwa dalam dua dekade terakhir, Indonesia mengalami kenaikan yang dramatis untuk konsentrasi rata-rata PM_{2,5} dari 8 µg/m³ menjadi 22 µg/m³. AQLI mengestimasi berdasarkan nilai rata-rata tahunan, 80% dari populasi Indonesia terpapar polusi partikulat dengan potensi berkurangnya harapan hidup antara 1,2 hingga 4 tahun.

Partikulat dapat berasal dari sumber yang mengandung polutan berbahaya yang memiliki efek karsinogenik, sehingga karakterisasi dan identifikasi sumber partikulat penting dilakukan. Hal ini diperlukan untuk tindakan preventif kepada masyarakat dan mendorong upaya pemerintah mengurangi dampak yang ditimbulkan akibat pencemaran partikulat.

Dengan demikian, proses identifikasi dan pengelompokan polutan ke sumbernya adalah langkah yang sangat penting dalam manajemen kualitas udara. Pengukuran komposisi termasuk unsur logam adalah faktor utama dalam menentukan sumber pencemarnya.

Data komposisi dapat memperlihatkan hubungan korelasi antara unsur logam dengan unsur logam lainnya di dalam partikulat (Ahmad dan Santoso, 2016). Dengan mengetahui korelasi antar unsur-logam yang terkandung dalam partikulat dapat diperkirakan sumber pengemisi dan dampak yang akan ditimbulkan.

Studi mengenai sumber pencemar yang berasal dari partikulat di kota Bandung menunjukkan hasil bahwa untuk unsur Al, Si, Ca, Fe, Ti diidentifikasi berasal dari tanah/soil. Unsur lain yang saling berikatan adalah BC, S, K, Zn yang diidentifikasi berasal dari pembakaran biomassa dan kendaraan bermotor (Lestiani dkk, 2013).

Zannaria dkk (2009) di Kota Bandung menyatakan bahwa Unsur Cl dan BC menempati komposisi tertinggi dari keseluruhan unsur yang diidentifikasi dalam partikulat terespirasi. Sumber pencemar yang diperkirakan berpengaruh terhadap paparan partikulat di kota Bandung adalah tanah, kendaraan bermotor, garam laut dan pembakaran biomassa.

Pada tahun 2007 hingga 2008 penelitian mengenai komposisi unsur partikulat yang dilakukan di dua kota di Maroko menunjukkan bahwa konsentrasi partikulat tertinggi adalah di musim panas dan terendah berada di musim dingin. Sumber emisi utama yang diidentifikasi berasal dari lalu lintas, debu pada tanah dan resuspensi partikel yang terdeposisi (Tahri dkk, 2012).

Musim berpengaruh terhadap konsentrasi ambien partikulat. Penelitian yang dilakukan selama empat musim di Hutan Xitou, Taiwan dari musim dingin 2013 hingga musim gugur 2014 menunjukkan variasi musiman dari karakteristik kimia PM_{2,5}. Selama musim dingin, musim panas dan musim gugur, komponen utama PM_{2,5} berasal dari Sulfat non garam laut (nss-SO₄²⁻) diikuti oleh NH₄ dan NO₃. Pada musim semi fraksi massa dari NO₃- meningkat dan sebanding dengan nss-SO₄²⁻. Kontribusi massa karbon sekunder ke PM_{2,5} tertinggi berada di musim panas. (Lee dkk, 2019).

Penelitian lain yang pernah dilakukan mengenai identifikasi sumber pencemar partikulat oleh Lestari dan Mauliadi (2009) berdasarkan perbedaan musim di kota Bandung selama periode 2001-2007 mengidentifikasi sumber emisi pada musim hujan untuk fraksi halus dominan berasal dari aerosol sekunder (NH₄)₂SO₄ (14%), aerosol sekunder NH₄NO₃ (12%), kendaraan diesel (17%), pembakaran biomassa (13%) sisanya berasal dari sumber debu vulkanik (6%) debu tanah (10%), debu kapur (10%). Untuk fraksi kasar berasal dari debu kapur (20%), debu tanah (20%), industri (15%), debu vulkanik (4%), debu konstruksi (15%) dan garam laut (26%).

Identifikasi sumber pada musim kemarau untuk fraksi halus berasal dari aerosol sekunder (NH₄)SO₄ (25%), kendaraan diesel (12%), pembakaran biomassa (16%), kendaraan dengan BBM (3%), aged sea salt (13%), industri electroplating (24%) dan motor (7%) sedangkan untuk fraksi kasar berasal dari garam laut (14%), industri besi (23%), industri semen (11%), debu vulkanik (25%), debu tanah (15%) dan aged sea salt (3%).

Sebagai upaya evaluasi berkala dan penyediaan data terbaru maka penelitian terkait komposisi kimia yang terkandung dalam partikulat serta sumber pencemarnya perlu dilakukan. Makalah ini akan menganalisis perbedaan konsentrasi partikulat antara musim hujan dan musim kemarau dan perkiraan sumber-sumber pengemisinya melalui unsur-unsur yang terdapat pada partikulat.

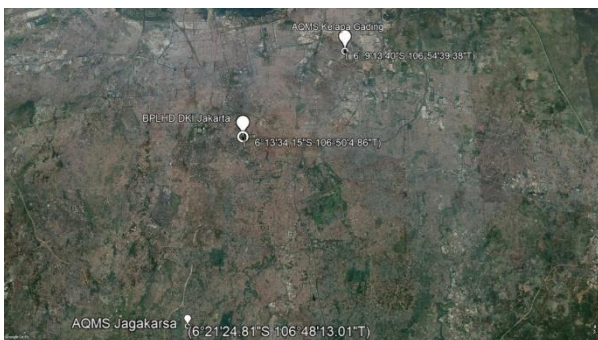
2. Metodologi

2.1. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan di tiga lokasi pemantauan Dinas Lingkungan Hidup (DLH) DKI Jakarta yaitu DKI2 di daerah Kelapa Gading yang mewakili Jakarta Utara, DKI3 di Jagakarsa yang mewakili Jakarta Selatan dan di kantor Laboratorium Lingkungan Hidup Daerah DKI Jakarta (LLHD) di Kuningan yang mewakili Jakarta Pusat. Titik lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Periode pengambilan sampel dilakukan pada bulan Maret-Mei 2019 untuk musim hujan dengan jumlah sampel total pada filter kasar dan filter halus sebanyak 47 pasang sampel. Sebagai pembanding adalah data musim kemarau dengan jumlah sampel sebanyak 73 pasang yang diambil pada bulan Juni-September 2018 (Driejana dkk., 2020). Data pada musim kemarau berdasarkan penelitian Driejana dkk, (2020) menggunakan metode sampling dan lokasi sampling yang sama.

Sampling dilakukan dengan menggunakan alat Gent stacked filter unit sample, dilakukan selama 24 jam dengan laju alir rata-rata 18 L/menit. Debu terkumpul pada dua jenis filter yaitu filter halus dengan (<2,5 μm) dan filter kasar (2,5-10 μm). Filter kasar memiliki ukuran pori 8 μm yang dapat menyaring partikel berukuran 8-10 μm , sedangkan filter halus memiliki pori 0,4 μm yang dapat menangkap partikel dengan ukuran 0,5-2,5 μm . Filter yang telah selesai digunakan untuk sampling selanjutnya dibawa kembali ke laboratorium untuk penimbangan (Rixson dkk, 2015).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2. Pengukuran PM dan BC

Pengukuran partikulat menggunakan filter polycarbonate yang terbagi dalam dua jenis yaitu filter halus yang dapat menangkap partikel dengan ukuran 0,5-2,5 μm dan filter kasar dapat menangkap partikel berukuran 2,5-10 μm (Atmodjo dkk, 2011). Filter ditimbang dengan menggunakan prinsip gravimetri untuk mendapatkan berat sampel sebelum dan sesudah sampling menggunakan alat neraca *Mettler Semi Toleda MX5*. Neraca ini memiliki ketelitian hingga enam digit dalam satuan miligram.

Massa partikulat tersebut didapatkan dari selisih berat filter sebelum paparan dan setelah paparan. Untuk mendapatkan konsentrasi PM_{2,5} dan PM_(10-PM_{2,5}) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) selisih massa kemudian dibagi dengan volume udara yang melewati filter (Santoso dkk, 20131; Santoso dkk, 2013²).

Konsentrasi *black carbon* (BC) pada filter halus diukur menggunakan EEL model 43D *Smoke Stain Reflectometer*. Alat ini menggunakan prinsip cahaya yang terefleksi dari titik hitam pada sampel partikulat. Konsentrasi BC tergantung dari densitas noda hitam dan sifat optik dari partikulat (WBG, 1998). Reflektometer dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan filter kontrol yang bersih (Vallius dkk, 2005; Kothai dkk, 2008).

2.3. Analisa Komposisi Kimia

Analisa komposisi kimia atau elemen kimia menggunakan *Epsilon 5 ED-XRF Spectrometer*. Alat ini memiliki 100 kV dan mendeteksi partikel hingga ukuran ng/cm² untuk hampir semua elemen. Sebagai QA/QC, pengukuran menggunakan ED-XRF telah terjamin sertifikat *standard reference material* (SRM 2783). Analisa oleh XRF membutuhkan waktu selama 1-1,5 jam. Unsur-unsur yang diuji dalam alat ED-XRF antara lain Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As dan Pb. (Santoso dkk, 2014).

2.4. Metode Analisis Data

Data dianalisis dengan statistik deskriptif, uji t dan uji korelasi menggunakan perangkat lunak R-studio. Statistik uji t dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh musim terhadap konsentrasi partikulat di DKI Jakarta. Nilai p-value menunjukkan Hipotesis yang digunakan untuk pengujian uji t adalah:

H₀ = tidak ada perbedaan konsentrasi rata-rata unsur kimia antara musim hujan dan musim kemarau

H_a = terdapat perbedaan konsentrasi rata-rata unsur kimia secara signifikan antara musim hujan dan musim kemarau.

Dengan pengambilan keputusan:

- Jika nilai p-value >0,05 maka H₀ diterima
- Jika nilai p-value <0.05 maka H₀ ditolak dan H_a diterima.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Konsentrasi PM_{2,5} dan PM_(10-2,5) Total

Hasil pengukuran sampel konsentrasi rata-rata PM_{2,5} dan PM_(10-PM_{2,5}) di tiga lokasi sampling dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 konsentrasi PM_{2,5} dan PM_{10-2,5} di tiga lokasi pengambilan sampel menunjukkan hasil yang bervariasi. Untuk konsentrasi PM_{2,5} tertinggi berada di Jakarta Pusat. Hal ini disebabkan oleh aktivitas kendaraan bermotor yang padat di sekitar lokasi pengambilan sampel yang merupakan salah satu sumber utama pencemar PM_{2,5}.

Konsentrasi tertinggi PM_{10-2,5} berada di wilayah Jakarta Utara, hal ini disebabkan karena lokasi pengambilan sampel tersebut terletak di wilayah padat penduduk dan juga daerah industri, selain itu lokasi sampling di Jakarta Utara juga merupakan lokasi yang paling dekat dengan laut, yang dapat menjadi sumber utama pencemar yang berasal dari *sea salt*.

Tabel 1. Konsentrasi Partikulat ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di Tiga Lokasi Sampling

	Musim Hujan		Musim Kemarau*	
	PM _{2,5}	PM(10-2,5)	PM _{2,5}	PM(10-2,5)
Jakarta Pusat (BPLHD DKI Jakarta)	17,21	28,21	30,99	37,23
Jakarta Utara (AQMS Kelapa Gading)	12,64	32,94	22,74	43,71
Jakarta Selatan (AQMS Jagakarsa)	12,97	20,25	25,17	28,49

Sumber data: Driejana dkk., (2020)

Data PM_{2,5} dan PM_{10-2,5} di tiga lokasi kemudian digabungkan untuk mendapatkan konsentrasi rata-rata PM_{2,5} dan PM_{10-2,5} per musim yang dibutuhkan untuk analisis selanjutnya. Statistik deskriptif berdasarkan musim dapat dilihat pada Tabel 2.

Konsentrasi rata-rata antar musim pada Tabel 2 diperoleh dari keseluruhan data konsentrasi partikulat di Jakarta yang terdiri dari data partikulat Jakarta Pusat, Jakarta Selatan dan Jakarta Utara.

Tabel 2. Statistik Deskriptif

Parameter	Musim Hujan		Musim Kemarau*	
	PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM(10-PM _{2,5}) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM(10-PM _{2,5}) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Mean±CI	15,31±0,41	28,69±0,56	26,76±0,22	35,05±0,28
Standar deviasi	9,48	11,14	8,7	10,91
Maks	37,1	73,45	43,86	65,47
Min	1,85	6,94	4,15	8,60
Jumlah sampel	47	47	78	78

Sumber data: Driejana dkk., (2020)

Konsentrasi rata-rata PM_{2,5} dan PM(10-PM_{2,5}) di Jakarta lebih tinggi pada musim kemarau

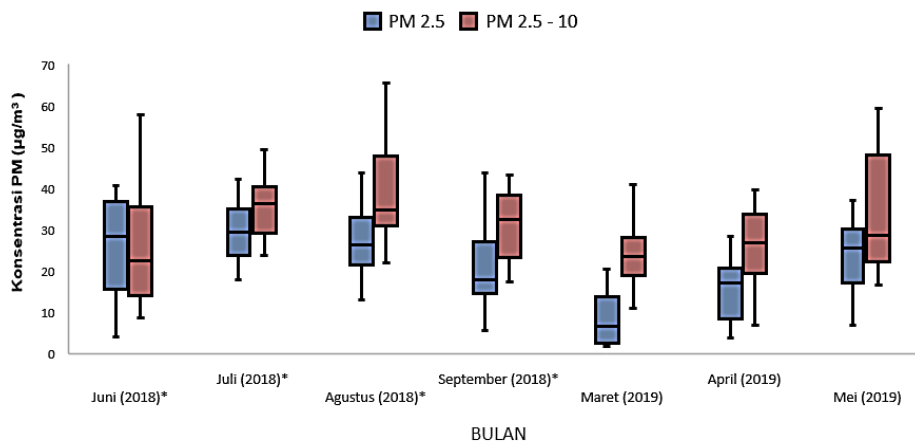
dibandingkan pada musim hujan. Berdasarkan hasil konsentrasi rata-rata, perbedaan konsentrasi PM_{2,5} antara musim adalah 55% yang artinya hujan mempengaruhi penurunan konsentrasi PM_{2,5} hingga. Untuk PM_{10-2,5} konsentrasi pada musim kemarau dan musim hujan dapat berbeda hingga 76%.

Hal ini membuktikan bahwa curah hujan memberikan pengaruh menurunkan konsentrasi partikulat di udara, karena air hujan yang jatuh membantu pembersihan pencemaran partikulat di atmosfer, khususnya pada partikulat kasar.

Pada musim hujan terjadinya deposisi basah yang menyapu (rain-out) atau melarutkan (wash-out) partikulat dari atmosfer. Penurunan lebih besar pada partikulat kasar melalui proses washout oleh hujan juga merupakan pengaruh ukuran yang lebih mudah mengendap. Karena proses tersebut, setelah terjadinya hujan, konsentrasi partikulat di udara ambien akan berkurang (Hasan, dkk (2019). Hal inilah yang menyebabkan konsentrasi PM_{2,5} dan PM_{10-2,5} pada musim hujan lebih rendah dibandingkan pada musim kemarau.

Penelitian oleh Kusumaningtyas (2018) mengenai partikulat yang dilakukan di Jakarta sejak tahun 2000 hingga 2016 menunjukkan bahwa konsentrasi PM₁₀ mengalami sedikit penurunan akibat iklim dan peningkatan curah hujan.

Konsentrasi PM(2,5) dan PM(10-2,5) pada musim hujan yang berasal dari hasil sampling dan musim kemarau yang didapatkan dari data pengukuran sebelumnya kemudian dibuatkan grafik boxplot whisker untuk tiap bulan pengambilan sampel yang dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil boxplot pada Gambar 2 untuk konsentrasi rata-rata PM_{2,5} tertinggi pada bulan Juli yang termasuk dalam fase musim kemarau dan terendah pada bulan Maret yang masih dalam fase musim hujan. Untuk PM_{10-2,5} tertinggi pada bulan Agustus yang masuk dalam fase musim kemarau dan terendah pada bulan Maret yang termasuk dalam fase musim hujan.



Gambar 2. Boxplot Konsentrasi PM_{2,5} dan PM(10-PM_{2,5}) pada Musim Hujan dan Musim Kemarau*

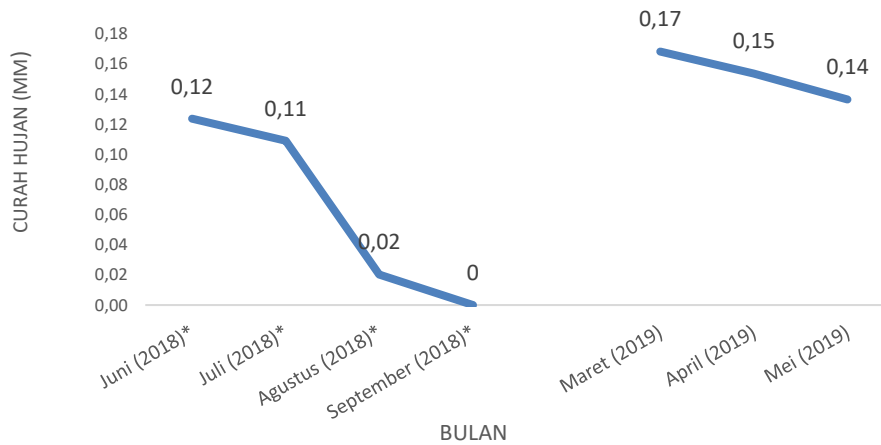
Sumber: Driejana dkk., (2020)

Parameter meteorologi adalah faktor penting yang mempengaruhi partikulat dan variasi massa

komponen penyusunnya. Secara umum, kelembapan yang relatif tinggi dapat meningkatkan konsentrasi

massa partikulat, sementara kecepatan angin dan curah hujan yang tinggi dapat mengurangi polutan

(Shen dkk, 2016). Data curah hujan yang diperoleh dari BPLHD DKI Jakarta dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Curah Hujan pada Bulan Pengambilan Sampling
Sumber : Driejana dkk., (2020)

Grafik curah hujan pada musim kemarau dan musim hujan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa pada musim kemarau curah hujan tertinggi terjadi di bulan Juni yaitu 0,12 mm dan selanjutnya mengalami tren penurunan hingga akhirnya di bulan September tidak mengalami hujan sama sekali. Curah hujan bulanan di musim hujan rata-rata lebih tinggi dari bulan Juni-September.

Curah hujan di bulan Maret adalah 0,17 mm kemudian menurun menjadi 0,15 mm dan 0,14 mm di bulan April dan Mei. Data curah hujan rata-rata yang didapatkan menunjukkan bahwa curah hujan yang lebih tinggi akan mengurangi tingkat konsentrasi partikulat.

3.2. Profil Konsentrasi Unsur Logam Antar Musim

Konsentrasi unsur-unsur logam dan BC pada PM_{2,5} dan PM(10-2,5) yang sebelumnya telah dianalisa profil distribusinya kemudian digambarkan dalam bentuk boxplot seperti pada Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa konsentrasi rata-rata beberapa unsur cenderung lebih tinggi pada musim kemarau namun beberapa unsur terlihat memiliki konsentrasi lebih tinggi pada musim hujan seperti unsur Al dan Pb, hal ini dapat disebabkan oleh aktivitas sumber pencemar yang kemungkinan lebih tinggi pada saat pengambilan sampel.

Distribusi konsentrasi tiap unsur pada PM(10-2,5) dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa konsentrasi beberapa unsur-unsur antar musim cenderung bervariasi, dan konsentrasi rata-rata unsur kimia cenderung lebih tinggi pada musim kemarau. Terdapat beberapa unsur yang terlihat lebih tinggi pada PM_{2,5} musim hujan seperti unsur Cu, Zn dan V.

Unsur Cu dan Zn adalah unsur penanda yang umumnya berasal dari sumber spesifik pembakaran batu-bara (Owoade dkk, 2015) Unsur V umumnya digunakan pada industri dan juga berasal dari sisa pembakaran minyak (Chen dkk, 2014; Yu dkk, 2019).

Tingginya konsentrasi rata-rata beberapa unsur pada musim hujan ini diperkirakan akibat perubahan kecepatan dan arah angin yang berbeda antara musim kemarau dan musim hujan pada saat sampling, yang membawa pencemar dari sumber spesifiknya.

3.3. Pengaruh Musim Terhadap Konsentrasi Partikulat

Ada atau tidaknya perbedaan konsentrasi unsur kimia terhadap musim menggunakan uji t ini dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa untuk PM_{2,5} terdapat delapan unsur yang nilai p-value >0,05 yaitu Na, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Pb, Cl sehingga dapat dikatakan bahwa unsur-unsur tersebut tidak memiliki perbedaan konsentrasi rata-rata pada musim hujan maupun pada musim kemarau. Sedangkan konsentrasi BC, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Ni, Zn, As, berbeda signifikan pada musim hujan dan musim kemarau. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi unsur tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh curah hujan yang menyebabkan deposisi basah sehingga unsur-unsur kimia di atmosfer juga berkurang.

Perbedaan konsentrasi elemen pada PM_{2,5} yang signifikan antara musim hujan dan musim kemarau dapat disebabkan oleh perbedaan konsentrasi PM_{2,5} antara musim hujan dan musim kemarau terutama pada elemen BC dimana konsentrasi BC di musim kemarau lebih tinggi yang menyebabkan warna filter lebih pekat disbanding saat musim hujan.

Untuk PM(10-2,5) (partikulat kasar) terdapat tujuh unsur yang memiliki nilai p-value >0,05 antara lain Na, Ti, Mn, Fe, Cr, Zn dan Pb, kesembilan unsur ini tidak memiliki perbedaan konsentrasi rata-rata unsur kimia baik pada musim hujan dan musim kemarau. Sebagian besar dari tujuh unsur ini berasal dari sumber pencemar alami, kecuali Pb yang berasal dari kegiatan antropogenik. Unsur lain yang menunjukkan adanya perbedaan antara musim hujan dan musim kemarau adalah Al, Si, S, K, Ca, V, Ni, Cu, As, Cl.

Pada PM_{10-2,5} konsentrasi unsur yang berbeda antara musim hujan dan musim kemarau lebih banyak

dibandingkan dengan nilai konsentrasi yang sama pada musim hujan dan musim kemarau, yang menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi PM10-2,5 pada musim hujan dan musim kemarau mempengaruhi pula perbedaan konsentrasi pada unsur-unsur yang terdapat pada PM10-2,5.

Curah hujan yang tinggi mengakibatkan tingginya faktor sink melalui deposisi basah. Deposisi basah merupakan mekanisme penting untuk mengurangi polusi udara dengan menyapu partikulat dan bahan organik dari atmosfer hingga ke tanah (Guo, 2014). Adanya deposisi basah juga akan mempengaruhi masa partikulat serta distribusi dan penyebarannya di atmosfer (Liu dkk, 2013).

3.4. Identifikasi Sumber

Sumber spesifik dari pencemar partikulat dapat diketahui melalui uji korelasi antar unsur. Korelasi adalah ukuran asosiasi antar dua variabel untuk mengetahui kuat tidaknya hubungan antar dua variable (Schober dkk, 2018). Uji korelasi dilakukan untuk unsur kimia pada PM(2,5) dan PM(10-2,5) di musim hujan yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Nilai *p-Value* Uji t untuk Perbedaan Musim pada PM2,5 dan PM(10-2,5)

Parameter	Partikulat halus (PM2,5)		Partikulat kasar (PM(10-PM2,5))	
	<i>p-value</i>	keterangan	<i>p-value</i>	keterangan
BC	0,0001	Tolak H ₀		
Na	0,253	Terima H ₀	0,1667	Terima H ₀
Al	7,67x10 ⁻⁷	Tolak H ₀	1,34x10 ⁻⁵	Tolak H ₀
Si	0,001	Tolak H ₀	0,04	Tolak H ₀
S	0,0003	Tolak H ₀	2x10 ⁻⁴	Tolak H ₀
K	3,37x10 ⁻⁹	Tolak H ₀	7,283x10 ⁻⁶	Tolak H ₀
Ca	0,001	Tolak H ₀	4x10 ⁻⁴	Tolak H ₀
Ti	0,037	Tolak H ₀	0,542	Terima H ₀
V	0,397	Terima H ₀	0,022	Tolak H ₀
Cr	0,95	Terima H ₀	0,998	Terima H ₀
Mn	0,065	Terima H ₀	0,244	Terima H ₀
Fe	0,378	Terima H ₀	0,695	Terima H ₀
Ni	5,65x10 ⁻⁸	Tolak H ₀	0,003	Tolak H ₀
Cu	0,387	Terima H ₀	0,001	Tolak H ₀
Zn	2,68x10 ⁻⁵	Tolak H ₀	0,103	Terima H ₀
Pb	0,158	Terima H ₀	0,305	Terima H ₀
As	2,2x10 ⁻¹⁶	Tolak H ₀	2,2x10 ⁻¹⁶	Tolak H ₀
Cl	0,2778	Terima H ₀	1x10 ⁻⁴	Tolak H ₀

Korelasi antar unsur kimia pada PM2,5 dapat dilihat pada Tabel 4. Uji korelasi digunakan untuk mengetahui hubungan antar unsur, jika antar unsur memiliki nilai korelasi yang tinggi dengan unsur penanda (marka) sumber maka unsur tersebut dapat diduga berasal dari sumber pencemar spesifik yang sama.

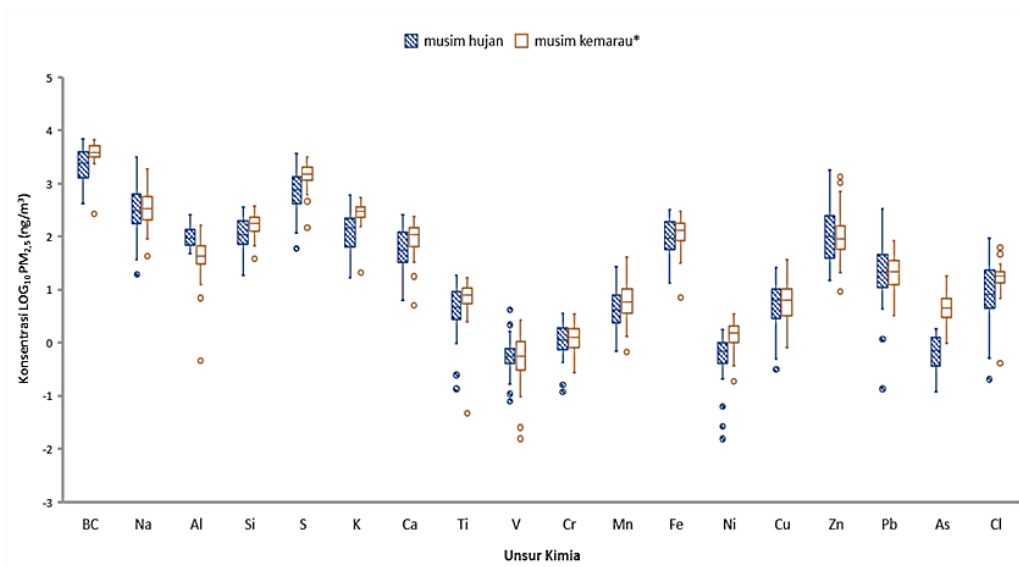
Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa unsur Al, Si, Ca, Ti, Fe berkorelasi kuat satu sama lain, unsur BC berkorelasi kuat dengan unsur K, S, Ti, Cr. Unsur Mn berkorelasi kuat dengan Zn, dan Fe. Unsur Pb berkorelasi kuat dengan unsur As. Berdasarkan korelasi antar unsur ini, Si dan Al adalah unsur penanda (marka) dari sumber tanah (Lestiani dkk, 2013). Korelasi antar unsur Al, Si, Ca, Ti, Fe mengindikasikan unsur-unsur tersebut berasal dari sumber yang sama. Debu tanah yang terutama berasal dari Al, Ca, Fe, Si bisa berasal dari resuspensi tanah (Lestiani dkk, 2013) dan dapat juga berasal dari long-range transport (Sillanpa, 2006).

Elemen utama yang digunakan untuk mengidentifikasi pembakaran batu-bara adalah Cu, Cr, Mn, Ni, dan Se (Owoade dkk, 2015). Unsur Zn, Cl, dan Se adalah unsur penanda yang sering digunakan dari sumber yang berasal dari pembakaran batubara (Lee dkk, 2008; Alleman dkk, 2010; Owoade dkk, 2015). Maka korelasi Mn dan Zn diidentifikasi kemungkinan berasal dari pembakaran batu-bara. Perkiraan sumber lainnya yang berasal dari unsur penanda Mn dan Zn adalah peleburan besi dan baja (Thurston dkk, 2011).

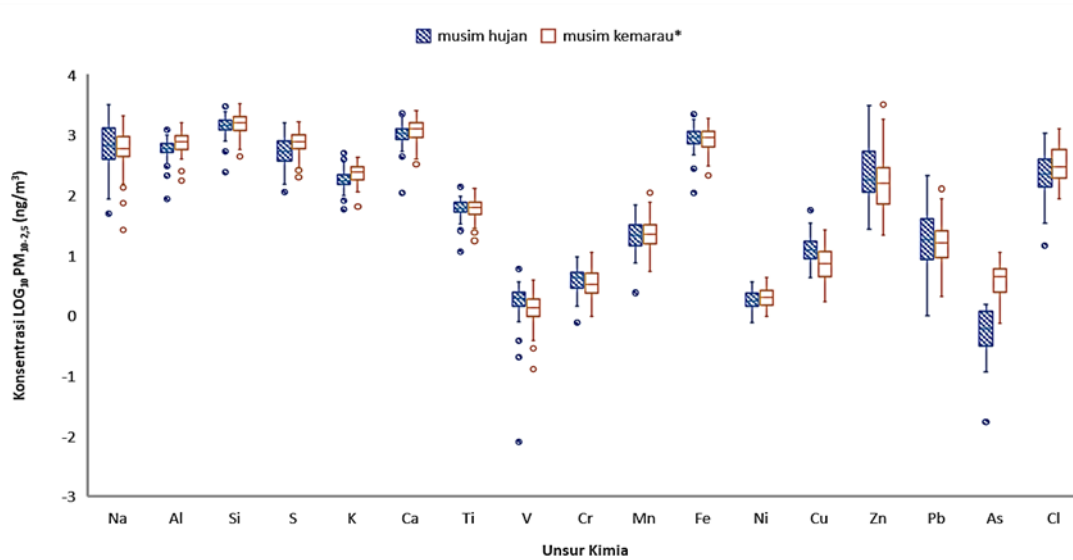
Kontribusi tinggi dari Pb, dapat berasal dari pemurnian smelter dan industri logam (Shen dkk, 2016). BC, K, dan Cr diindikasikan berasal dari emisi kendaraan dan pembakaran biomassa. Faktor yang dicirikan dengan tingginya black carbon merupakan jejak-jejak dari emisi kendaraan (Santoso dkk 2015; Lestari dan Mauliadi, 2009). Unsur K mengindikasikan berasal dari emisi pembakaran biomassa (Banerjee dkk, 2015).

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa pada partikulat kasar unsur Na berkorelasi kuat dengan unsur Cl, unsur Al berkorelasi kuat dengan Ca, Ti, Cr, Mn, Fe. Unsur Pb berkorelasi kuat dengan As. Na dan Cl diduga kuat berasal dari sea salt. Partikel garam yang secara mekanis biasanya ditemukan di PM(10-2,5) mengarah ke sumber laut untuk Na dan Cl (Crilley dkk, 2017).

Crustal terdiri dari mineral aluminosilikat dan sumber ini merepresentasikan Al dan Si sebagai komponen utama dan juga komponen lainnya seperti K, Ca, Ti dan Fe yang umumnya ada pada unsur soil (Davy dkk, 2017). Unsur soil diduga menjadi salah satu sumber pencemar partikulat kasar. Unsur lain yang memberikan nilai korelasi yang kuat adalah Pb dan As yang diprediksi berasal dari sumber industri terutama industri yang kemungkinan masih menggunakan logam berat (Rixson, 2015).



Gambar 4. Boxplot Konsentrasi Unsur Kimia Antar Musim pada PM2,5
 Sumber: Driejana dkk., (2020)



Gambar 5. Boxplot Konsentrasi Unsur Kimia Antar Musim pada PM(10-PM2,5)
 Sumber: Driejana dkk., (2020)

Tabel 4. Korelasi Antar Unsur Kimia PM2,5 pada Musim Hujan

	BC	Na	Al	Si	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	As	Cl
BC	1,0																	
Na	0,2	1,0																
Al	0,2	0,2	1,0															
Si	0,8	0,3	0,9	1,0														
S	0,8	0,5	0,6	0,7	1,0													
K	0,9	0,4	0,5	0,7	0,7	1,0												
Ca	0,8	0,4	0,4	0,9	0,7	0,7	1,0											
Ti	0,8	0,4	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	1,0										
V	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	1,0									
Cr	0,7	0,3	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,1	1,0								
Mn	0,3	0,6	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,2	0,3	1,0							
Fe	0,7	0,6	0,8	0,9	0,7	0,6	0,9	0,9	0,3	0,7	0,6	1,0						
Ni	0,1	0,3	0,5	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,1	0,3	0,2	0,4	1,0					
Cu	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,1	0,3	0,2	0,5	0,4	1,0				
Zn	0,5	0,7	0,4	0,6	0,7	0,4	0,6	0,6	0,2	0,4	0,7	0,8	0,4	0,1	1,0			
Pb	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,4	0,2	0,2	1,0		
As	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,6	0,6	0,1	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2	0,2	0,9	1,0	
Cl	0,4	0,5	0,2	0,4	0,3	0,5	0,4	0,5	0,1	0,3	0,4	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	1,0

Tabel 5. Korelasi Antar Unsur Kimia PM(10-PM2,5) pada Musim Hujan

	Na	Al	Si	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	As	Cl
Na	1,0																
Al	0,3	1,0															
Si	0,3	1,0	1,0														
S	0,6	0,7	0,7	1,0													
K	0,3	0,9	0,8	0,8	1,0												
Ca	0,3	0,8	0,9	0,7	0,8	1,0											
Ti	0,3	1,0	1,0	0,7	0,8	0,8	1,0										
V	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	1,0									
Cr	0,2	0,7	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8	0,5	1,0								
Mn	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	1,0							
Fe	0,5	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,7	0,7	0,8	1,0						
Ni	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	0,5	1,0					
Cu	0,2	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	0,4	1,0				
Zn	0,8	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,6	0,7	0,4	0,7	0,8	0,6	0,5	1,0			
Pb	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,5	0,6	0,3	0,5	0,7	1,0		
As	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,5	0,6	0,4	0,4	0,5	0,6	0,3	0,5	0,6	0,9	1,0	
Cl	0,7	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,7	0,7	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	1,0

4. Kesimpulan

Konsentrasi rata-rata PM2,5 dan PM(10-2,5) pada musim hujan lebih rendah dibandingkan pada musim kemarau, hal ini diduga akibat adanya proses deposisi basah pada musim hujan yang dibuktikan dengan tingginya rata-rata curah hujan pada musim hujan dibandingkan pada musim kemarau. Berdasarkan hasil konsentrasi rata-rata, musim hujan dapat menurunkan konsentrasi PM2,5 hingga 55% dan PM10-2,5 hingga 76%. Berdasarkan hasil uji t diketahui bahwa terdapat perbedaan komposisi yang signifikan untuk komponen kimia penyusun PM2,5 dan PM(10-2,5). Konsentrasi BC, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Ni, Zn, As pada PM2,5 cenderung lebih rendah pada musim hujan. Sedangkan untuk PM(10-PM2,5) unsur yang menunjukkan perbedaan antara musim hujan dan musim kemarau adalah Al, Si, S, K, Ca, V, Ni, Cu, As, Cl dimana konsentrasi unsur tersebut lebih tinggi pada musim kemarau dibandingkan pada musim hujan. Sumber pencemar PM2,5 pada musim hujan diprediksi berasal dari soil, emisi kendaraan dan pembakaran biomassa serta industri. Untuk PM(10-2,5) sumber pencemar diprediksi berasal dari sea salt, soil, dan industri.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan bagian dari riset *Urban Hybrid Models for Air Pollution Exposure Assessment* (UDARA). Riset merupakan kolaborasi antara Institut Teknologi Bandung dan the University of Manchester. dengan dukungan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) - Dana Ilmu Penelitian Indonesia (DIPI) dengan *Newton Fund - Research Council UK* (RCUK). Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dinas Lingkungan Hidup (DLH) dan Laboratorium Lingkungan Hidup Daerah (LLHD) Provinsi DKI Jakarta atas bantuannya memberikan akses lokasi dan pelaksanaan sampling.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, Eka F. dan Muhayatun Santoso. 2016. Analisis Karakterisasi Konsentrasi dan Komposisi Partikulat Udara (Studi Case: Surabaya). *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia* Vol. 2. Hal 97-103.

Alleman, L.Y., L. Lamaison, E. Perdrix, A. Robache, J. C. Galloo. 2010. PM10 Metal Concentrations and Source Identification Using Positive Matrix Factorization and Wind Sectoring in A French Industrial Zone. *Atmospheric Research* Vol. 9. Pages 612-625.

Atmodjo, Djoko P. D., Nana Suherman, Syukria K. 2011. Sampling Partikulat Udara pada Lingkungan Udara Terbuka (Ambien). *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*. Hal 61-67.

Banerjee, T., V. Murari, M. Kumar, M. P. Raju. 2015. Source Apportionment of Airborne Particulates Through Receptor Modeling : Indian Scenario. *Atmospheric Research*. Pages 164-165.

Bond, T.C., S. J. Doherty, D. W. Fahey, P. M. Forster, T. Berntsen, B. J. DeAngelo, M. G. Flanner, S. Ghan, B. Kärcher, D. Koch. 2013. Bounding the Role of Black Carbon in The Climate System: a Scientific Assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 118. Pages 5380-5552.

Brunekreef, B., D. W. Dockery, M. Krzyzanowski. 1995. Epidemiologic Studies on Short-term Effects of Low Levels of Major Ambient Air Pollution Components. *Environmental Health Perspectives* Vol. 103. Pages 3-13.

Chen, C. H., C. Wu, H C. Chiang, D. Chu, K. Y. Lee, W. Y. Lin, J. Yih, K.W. Tsai, Y. L. Guo. 2019. The Effects of Fine and Coarse Particulate Matter on Lung Function Among The Elderly. Vol. 9. Pages 14790.

Crilley, L., F. Lucarelli, W. J. Bloss, M. Roy , D. C. Beddows, G. Calzolari, S. Nava, G. Valli, V. Barnardoni, R. Vecchi. 2017. Source Apportionment of Fine and Coarse Particles at A Roadside and Urban Background Site in London During 2012 Summer Clearflo Campaign. *Environmental Pollution* Vol. 220. Pages 766-778.

Davy, P.K., W.J. Trompeter, T. Ancelet, A. Markwitz. 2017. Source Apportionment and Trend Analysis of Air Particulate Matter in The Auckland Region. Prepared by The Institute of Geological and Nuclear Sciences Ltd, GNS Science for Auckland Council. Auckland Council Technical Report, TR2017/001.

Drijejana, Sari, N.K., M. Santoso. 2020. Composition Characterization of Dry Season Particulate Matters in Jakarta and Their Potential Sources Identification, *Manuskrip dalam Preparasi*.

Environmental Science and Water Resources Vol. 1. Pages 59 - 66.

Gotschi, T., J. Heinrich, J. Sunyer, N. Kunzli. 2008. Long-term Effects of Ambient Air Pollution on Lung Function: A

- Review. *Epidemiology* (Cambridge, Mass.) Vol. 19. Pages 690-701.
- Greenstone dan Q. Fan. 2019. Indonesia's Worsening Air Quality and its Impact on Live Expectancy. Jakarta. *Air Quality Life Index*.
- Guo, L. C., L. J. Bao, J. She, E. Y. Zeng. 2014. Significance of Wet Deposition to Removal of Atmospheric Particulate Matter and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons : A Case Study in Guangzhou, China. *Atmospheric Environment* Vol. 83. Pages 136 - 144.
- Hasan, N.Y., Driejana, A. Sulaeman, H. Ariesyadi. 2019. Chemical Composition and Sources Attribution of Rainwater in Bandung Area, Indonesia. *International Journal of GEOMATE* Vol. 17. Pages 131-138.
- Kothai P., I. V. Saradhi, P. Prathibha, P. K. Hopke, G.G. Pandit, V.D. Puranik. 2008. Source Apportionment of Coarse and Fine Particulate Matter at Navi Mumbai, India. *Aerosol and Air Quality Research* Vol. 8. Pages 423-436.
- Kusumaningtyas, Sheila, D., Edvin Aldrian, Trinh Wati, Dwi Atmoko, Sunaryo. 2018. The recent of ambient air quality in Jakarta. *Aerosol and Air Quality Research*, Vol. 18. Pages 2343-2354.
- Lee, Celine S.L., C. Chou, H.C. Cheung, C. Tsai, W. Huang, S. Huang, M. Chen, H. Liao, C. Wu, T. Tsao, M. Tsai, T. Su. 2019. Seasonal Variation of Chemical Characteristics of Fine Particulate Matter at a High-Elevation Subtropical Forest in East Asia. *Environmental Pollution* Vol. 246. Pages 668-677.
- Lee, S., W. Liu, Y. Wang, A.G. Russell, E.S. Edgerton. 2008. Source Apportionment of PM_{2.5}: Comparing PMF and CMB Results for Four Ambient Monitoring Sites in The Southeastern United States. *Atmospheric Environment* Vol. 4. Pages 4126-4137.
- Lestari P dan Mauliadi. 2009. Source Apportionment of Particulate Matter at Urban Mixed Site in Indonesia Using PMF. *Atmospheric Environment* Vol. 43. Pages 1760 - 1770.
- Lestiani, D. M. Santoso, S Kurniawati, A. Markwitz 2014: Application of EDXRF in Supporting National Program of Air Quality Improvement in Indonesia.
- Lestiani, D. M. Santoso, S Kurniawati, A. Markwitz. 2013. Characteristic of Airborne Particulate Matter Samples Collected from Two Semi Industrial Sites in Bandung, Indonesia. *Indo. J. Chem* Vol. 13. Pages 271-277.
- Liu, D., J. Allan, J. Whitehead, D. Young, M. Flynn, H. Coe, G. McFiggans, Z.L. Fleming, B. Bandy. 2013. Ambient Black Carbon Particle Hygroscopic Properties Controlled by Mixing State and Composition. *Atmos. Chem. Phys.* Vol. 13.
- Owoade, K., P. Hopke, F. Olise, L. Ogundele, O. Fawole, B. Olaniyi, O. Jegede, M. Ayoola, M. Bashiru. 2015. Chemical Compositions and Source Identification of Particulate Matter (PM_{2,5} and PM_{2,5-10}) from A Scrap Iron and Steel Smelting Industry Along The Ife-Ibadan Highway, Nigeria. *Atmospheric Pollution Research* Vol. 6. Pages 107-119.
- Pearson, J. F., C. Bachireddy, S. Shyamprasad, A. B. Goldfine, J. S. Brownstein. 2010. Association Between Fine Particulate Matter and Diabetes Prevalence in the U.S. *Diabetes care*, Vol. 33 No. 10. Pages 2196-2201.
- Rixson, L, E. Riani, M. Santoso. 2015. Charaxterization of Long Term Exposure of Particulate Matter at Puspitek Serpong-South Tangerang. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi* Vol. 11. Pages 51-64.
- Santoso M. dan D. D. Lestiani. 2014. Application of ED XRF in Supporting National Program of Air Quality Improvement in Indonesia.
- Santoso M., D. D. Lestiani, P. K Hopke. 2013. Atmospheric black carbon in PM_{2.5} in Indonesian Cities. *Air And Waste Management Association* Vol. 63. Pages 1022-1025.
- Santoso M., Lestiani D. D., dan Markwitz A. 2013. Characterization of Airborne Particulate Matter Collected at Jakarta Roadside of An Arterial road. *Radioanal Nucl Chem.* Vol. 297. Pages 165-169.
- Schober, P., C. Boer, I. A. Schwarte. 2018. Correlation Coeficients : Appropriate Use and Interpretation.
- Shen, R., K. Schafer, J. Schnelle-Kris, L. Shao, S. Norra, U. Kramer, B. Michalke, G. Abbaszade, T. Streibel, M. Fricker, Y. Chen, R. Zimmermann, S. Emeis, H. Peter. 2016. Characteristics and Sources of PM in Seasonal Perspective- A case Study from One Year Continuously Sampling in Beijing. *Atmospheric Pollution Research* Vol. 7. Pages 235 - 248.
- Sillanpa, Markus. 2006. Chemical and Source Acharacterisation of Size-Segregated Urban Air Particulate Matter. Helsinki. Finnish Meteorological Institute.
- Tahri M., M. Bounakhla, H. Ait Bouh, M. Zghaid, A. Benchrif, F. Benyaich, Y. Noack. 2012. Concentrations and Chemical Speciation of Particulate Matter in Two Moroccan Cities; Meknes and Kenitra.
- Thurston, George D, Kazuhiko Ito, Ramona Lall. 2006. A Source Apportionment of U.S. Fine Particulate Matter Air Pollution. *Atmospheric environment* Vol. 45 No. 24. Pages 3924-3936.
- Vallius, Marko. 2005. Characteristics and sources of fine particulate matter in urban air. Finland. University of Kuopio.
- Wang, H., Y. Zhuang, Y. Wang, Y. Sun, H. Yuan, G. Zhuang, Z. Hao. 2008. Longterm monitoring and source apportionment of PM_{2.5}/PM₁₀ in Beijing, China. *J. Environment Science* Vol. 20. Pages 1323-1327.
- World Bank Group (WBG). 1998. Airborne particulate matter. *Pollution Prevention and Abatement Handbook*.
- Zannaria, N., Dwina R., M. Santoso. 2009. Karakteristik Kimia Paparan Partikulat Terespirasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia* Vol. 9. Pages 37-50.