

Kontribusi Metropolitan terhadap Polutan Udara Berbahaya Timbal dan Merkuri dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Batu Bara)

H Yulinawati¹, S Zulaiha², R Pristianty³ dan L Siami⁴

^{1,2,3,4} Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia

E-mail: hernani@trisakti.ac.id

Abstrak. Metropolitan mengkonsumsi energi besar untuk memenuhi aktivitasnya yang sangat beragam dan berlangsung hampir 24 jam. Energi yang dihasilkan di Indonesia dominan berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batu bara. Pembakaran batu bara menghasilkan polutan udara berbahaya, antara lain timbal (Pb) dan merkuri (Hg). Pemerintah Indonesia telah menetapkan baku mutu udara ambien untuk timbal dalam pengendalian pencemaran udara (1999) dan baru-baru ini meratifikasi Konvensi Minamata mengenai merkuri (2017). Tujuan studi ini adalah untuk menganalisis konsentrasi dan sebaran Pb dan Hg di udara ambien yang bersumber dari PLTU terbesar di Indonesia. Sampel Pb dan Hg diambil dari total partikel tersuspensi (TSP) yang disampling menggunakan alat *High Volume Air Sampler* (HVAS) lalu dianalisis menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk Pb dan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) untuk Hg. Pengukuran dilakukan duplo selama dua hari di tiga titik sampling yaitu Desa Lebak Gede, Dermaga Tongkang dan Pantai Salira. Konsentrasi Pb terukur berkisar antara 0,014–0,159 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Sedangkan untuk Hg terukur berkisar 0,0035–0,0134 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi Pb dan Hg masih memenuhi baku mutu di udara ambien, namun perlu terus diawasi. Perbandingan Pb terhadap TSP 0,051% dan Hg terhadap TSP 0,0051%. Sebaran Pb dan Hg di atmosfer dipengaruhi faktor meteorologi dan waktu tinggalnya di atmosfer yang dapat mencapai 10 hari sehingga dapat memberi dampak pada skala lokal maupun regional. Metropolitan perlu mengendalikan konsumsinya untuk mengurangi polutan udara berbahaya. Perlu penelitian lebih lanjut dengan jumlah sampel yang lebih banyak dengan kekerapan waktu sampling serta evaluasi terhadap baku mutu itu sendiri.

Kata kunci: TSP, timbal, merkuri, PLTU, metropolitan

1. PENDAHULUAN

Metropolitan membutuhkan energi besar untuk memenuhi aktivitasnya yang sangat beragam dan berlangsung 24 jam. Dari keseluruhan pembangkit energi listrik yang ada di Indonesia, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan bahan bakar batu bara memiliki peranan cukup besar mencapai 50,28% (Kementerian ESDM, 2016). Batu bara secara alami dapat mengandung logam-logam berat seperti timah hitam atau timbal (Pb) dan merkuri (Hg) sehingga gas buang yang diemisikan oleh pembangkit listrik dalam bentuk *fly ash* (abu terbang) juga dapat mengandung logam berat tersebut. Abu terbang ini dapat jatuh ke berbagai tempat karena pengaruh kecepatan dan arah angin sehingga dapat mencemari lingkungan dan mempengaruhi kesehatan manusia (Noviariz, 2015).

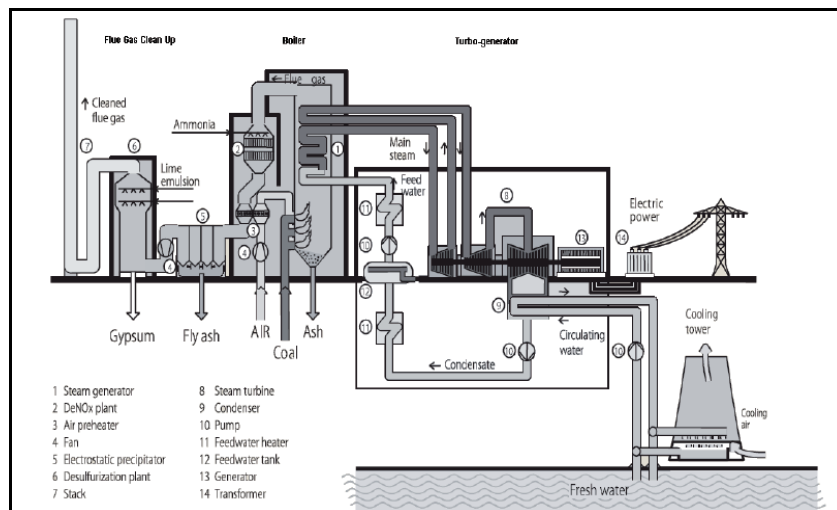
Polutan Pb dan Hg tidak dapat terdegradasi, maka emisi terus menerus dari PLTU akan menyebabkan konsentrasi keduanya di lingkungan makin terakumulasi. Pb di lingkungan telah meningkat lebih dari 1.000 kali selama tiga abad terakhir akibat aktivitas manusia (Sourcewatch, 2018). PLTU merupakan emiter Hg dominan sebesar 50% (US-EPA, 2016). Baku mutu udara ambien (BMUA) untuk Pb diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, sedangkan BMUA untuk Hg belum diatur. Akhir 2017 pemerintah Indonesia meratifikasi Konvensi Minamata tentang Hg, diharapkan Indonesia segera memiliki BMUA untuk Hg. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis konsentrasi dan sebaran Pb dan Hg di udara ambien melalui deposisi kering yang bersumber dari PLTU terbesar di Indonesia dan membandingkan konsentrasinya dengan BMUA.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batu Bara

PLTU adalah jenis pembangkit listrik tenaga termal yang banyak digunakan karena efisiensinya tinggi sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis. PLTU merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik (Gambar 1). Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu:

1. Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
2. Energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
3. Energi mekanik diubah menjadi energi listrik (Mukhtar, 2013).



Gambar 1 Skema PLTU (Sumber: Mahamud, 2013)

Batu bara terbentuk dari tumbuhan yang telah terkonsolidasi antara strata batuan lainnya dan diubah oleh kombinasi pengaruh tekanan dan panas selama jutaan tahun sehingga membentuk lapisan batu bara (WCI, 2005). Batu bara yang digunakan di PLTU objek penelitian ini adalah jenis subbituminous. Proses pembakaran batu bara maka menghasilkan limbah berupa abu yang terdiri dari 80% *fly ash* (abu terbang) dan 20% *bottom ash* (abu jatuh). *Fly ash* dibawa aliran gas buang melewati alat pengendali debu dengan sistem elektroda, yaitu *electrostatic precipitator* (ESP), yang dapat menangkap 99,5% *fly ash* dan 0,5% sisanya diemisikan melalui cerobong (*stack*). Sedangkan *bottom ash* akan jatuh terkumpul ke dasar *boiler*. Polutan Pb dan Hg adalah sebagian logam-logam berat pencemar udara yang terkandung dalam abu tersebut.

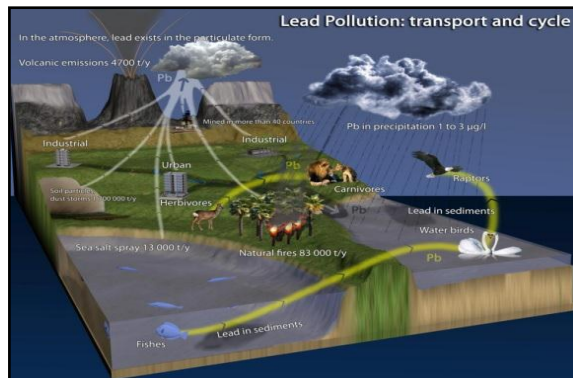
2.2 Timah Hitam atau Timbal (Pb)

Timbal (Pb) adalah salah satu jenis logam berat yang mudah dibentuk serta memiliki sifat kimia yang aktif sehingga biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak berkarat. Pb berasal dari berbagai sumber yaitu: alami, industri dan transportasi (Gusnita, 2012). Secara alami kadar Pb di udara berkisar 0,0001-0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Industri yang berpotensi menggunakan Pb sebagai bahan baku ataupun yang menghasilkan Pb dari prosesnya adalah industri listrik, baterai, kabel, bahan bakar, kimia (menggunakan bahan pewarna), dan pengecoran maupun permunian.

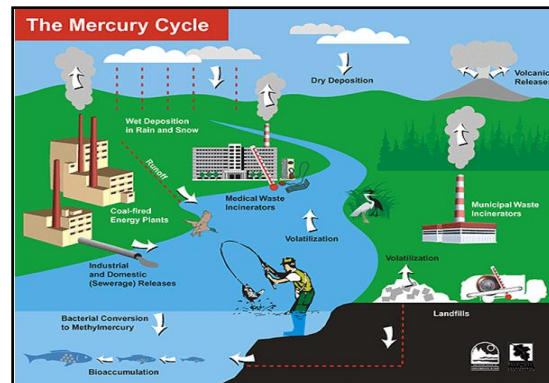
Dampak yang terjadi bila terpapar Pb antara lain adalah menderita gejala kehilangan nafsu makan, depresi, kelelahan, sakit kepala, menurunkan kecerdasan intelektual (IQ), mengakibatkan keguguran, kematian bayi dalam kandungan, kelahiran prematur, menurunkan jumlah sperma dan meningkatnya jumlah sperma abnormal (Gusnita, 2012). Siklus Pb di lingkungan dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada PLTU, konsentrasi Pb di *bottom ash* pada setiap unit cerobong empat kali lebih tinggi

dibandingkan konsentrasi Pb di batu bara, sedangkan konsentrasi Pb di *fly ash* 6-12 kali lebih tinggi dibandingkan konsentrasi Pb di batu bara (Tolvanen, 2004). Selama proses pembakaran batu bara, sebagian besar logam berat yang terdapat dalam batu bara induk disimpan dalam sisa abu batu bara dan terkonsentrasi dalam volume abu yang lebih kecil dibandingkan dengan batu bara asli. Maka konsentrasi logam berat yang terdapat pada abu batu bara akan lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi logam berat pada batu bara induk (Carlson dan Adriano, 1993).



Gambar 2 Siklus Pb di Lingkungan
(Sumber: Hynek, 2011)



Gambar 3 Siklus Hg di Lingkungan
(Sumber: Biodesign.cc, 2017)

2.3 Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) adalah logam berat persisten yang terbioakumulasi di lingkungan dengan bentuk fisik-kimia yang unik. Hg diemisikan ke atmosfer oleh berbagai sumber antropogenik dan alami (Bjorklund, 2017). Sumber Hg antropogenik berasal dari kegiatan pembakaran batu bara untuk pembangkit listrik, penambangan, penyulingan minyak, insinerasi limbah padat, proses industri peleburan logam, dan produksi semen (UNEP, 2013). Dampak kesehatan akibat tingkat paparan Hg yang tinggi dalam jangka panjang adalah kegelisahan, rasa malu yang berlebihan, anoreksia, masalah tidur, kehilangan selera makan, iritabilitas, kelelahan, pelupa, tremor, gangguan penglihatan, dan gangguan pada pendengaran (ATSDR, 2018). Gambar 3 menunjukkan siklus Hg di lingkungan.

Pada PLTU, konsentrasi Hg di *fly ash* lebih besar dibandingkan di batu bara karena *fly ash* memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi terhadap Hg. Kemampuan penyerapan yang kuat dari *fly ash* terhadap Hg berasal dari kandungan klorin yang tinggi pada batu bara dan kandungan tinggi dari karbon yang tidak terbakar pada *fly ash* (Zhang, dkk., 2008).

2.4 Analisis Deposisi Kering dan Logam Berat

Peralatan yang biasa digunakan untuk analisis deposisi kering dalam bentuk TSP adalah *High Volume Air Sampler (HVAS)*, *X-Ray Fluorescence (XRF)* untuk Pb dan *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)* untuk Hg. Prinsip kerja dari HVAS adalah udara ambien dihisap melalui filter di dalam *shelter* dengan menggunakan pompa vakum berlaju alir tinggi sehingga partikel terkumpul di permukaan filter. Jumlah partikel yang terakumulasi pada filter selama periode waktu tertentu dianalisis secara gravimetrik (SNI 7119-3:2017).

Dasar analisis dari XRF adalah dengan pencacahan dan identifikasi karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik, yaitu karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M sampel, maka elektron sampel akan keluar dari orbitnya. Maka sampel akan mengalami kekosongan elektron dan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X (Munasir, dkk., 2012). Spektrometer XRF adalah alat uji untuk menganalisis unsur yang terkandung dalam bahan secara kualitatif maupun kuantitatif (Jamaludin, 2012). Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam

bahan yang dianalisis, yang ditunjukkan oleh adanya karakteristik spektrum unsur pada energi sinar-X. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam bahan yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum.

Prinsip instrumen AAS dengan *cold vapor* adalah larutan asam yang mengandung Hg bereaksi dengan SnCl_2 dalam bejana yang berada di luar instrumen AAS. Unsur Hg dalam bentuk padatan terangkut oleh udara atau aliran gas inert ke sel penyerapan yang dipasang pada instrumen AAS. Metode ini memberikan tingkat sensitivitas sekitar empat kali lebih besar daripada *flame atomic absorption*. Teknik *cold vapor* adalah satu-satunya metode yang disetujui untuk menentukan Hg pada level $2\mu\text{g/L}$ atau 2ppb (Shrader, dkk., 2010).

2.5 Baku Mutu Udara Ambien (BMUA)

Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara dan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah menetapkan BMUA untuk Pb adalah $2\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ atau $2000\text{ng}/\text{Nm}^3$ (waktu pengukuran 24 jam) dan $1\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ atau $1000\text{ng}/\text{Nm}^3$ (waktu pengukuran 1 tahun). Saat ini Indonesia belum menetapkan BMUA untuk Hg sehingga penelitian ini mengacu pada *World Health Organization* (WHO) Tahun 2000 yaitu $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ (waktu pengukuran 1 tahun).

Kemampuan alat dan lokasi sampling kadang membatasi waktu sampling hanya 1 jam, sehingga perlu dilakukan perhitungan konsentrasi terhadap perbedaan waktu pengukuran agar dapat dibandingkan dengan BMUA.

$$C_2 = C_1 \times \left[\frac{T_1}{T_2} \right]^n \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.1)}$$

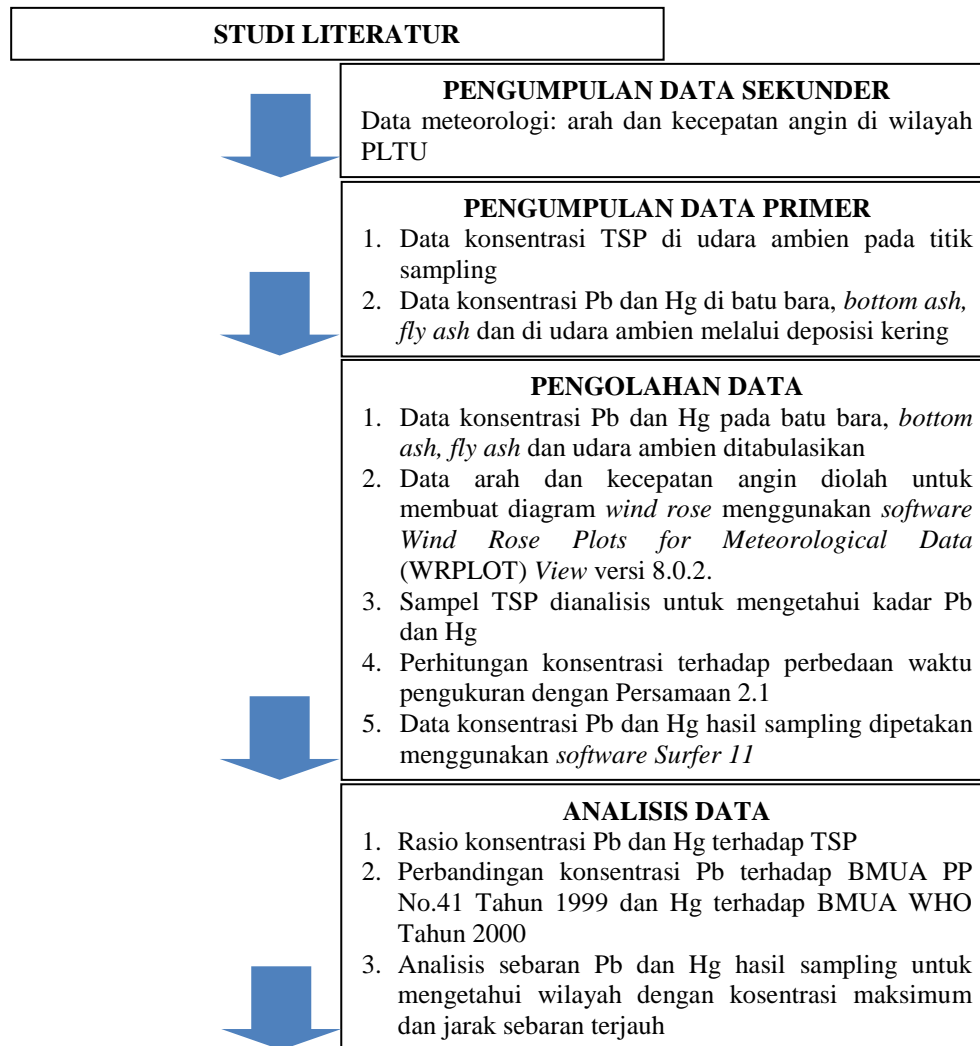
Keterangan:

- C_2 = Konsentrasi perhitungan polutan waktu pengukuran 24 jam atau 1 tahun ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- C_1 = Konsentrasi sampel polutan waktu pengukuran 1 jam ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- T_1 = Waktu sampling polutan (1 jam)
- T_2 = Waktu perhitungan polutan (24 jam atau 1 tahun)
- n = 0,185

3. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian mencakup studi literatur, pengumpulan data (sekunder dan primer), pengolahan data dan analisis data (Gambar 4). Data sekunder adalah data meteorologi yang mencakup arah dan kecepatan angin selama bulan Agustus dari tahun 2013-2018. Data arah dan kecepatan angin terukur diolah untuk mendapatkan diagram mawar angin (*wind rose*) menggunakan *software Wind Rose Plots for Meteorological Data (WRPlot View)*.

Data primer berupa sampel Pb dan Hg yang berasal dari batu bara, *bottom ash* dan *fly ash*. Sampel Pb dan Hg di udara ambien yang dianalisis berasal dari sampel TSP di udara ambien. Alat yang digunakan untuk mengukur TSP adalah HVAS dan bahan yang digunakan adalah filter serat kaca. Pengukuran TSP di udara ambien dilakukan selama dua hari secara duplo dengan periode pengukuran satu jam. Pengukuran dilakukan pada tiga titik sampling yaitu Desa Lebak Gede (titik koordinat $05^{\circ}55'24''\text{LS}$, $106^{\circ}00'38,0''\text{BT}$), Dermaga Tongkang ($05^{\circ}53'21,3''\text{LS}$, $106^{\circ}01'25,7''\text{BT}$), dan Pantai Salira ($05^{\circ}53'07,8''\text{LS}$, $106^{\circ}03'01,0''\text{BT}$). Analisis TSP dilakukan dengan metode gravimetri. Analisis kandungan Pb pada TSP dilakukan dengan metode XRF di Laboratorium BATAN Bandung dan analisis kandungan Hg pada TSP dilakukan dengan metode AAS di Laboratorium Terpadu IPB.



Gambar 4. Tahapan Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Konsentrasi Logam Berat di PLTU

Hasil analisis Pb dan Hg pada sampel batu bara. *fly ash*, dan *bottom ash* ditunjukkan pada Tabel 1. Konsentrasi Pb lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi Hg. Konsentrasi Pb di batu bara sebesar 2,58 ppm dan Hg di batu bara 0,05 ppm. Hasil ini sesuai dengan penelitian dari Tolvanen (2004) dan Zhang (2008).

Tabel 1. Konsentrasi Pb dan Hg di Sumber

Sampel	Konsentrasi (ppm)	
	Pb*	Hg**
Batubara (3 Agustus 2018)	2,58	0,05
Fly Ash (2 Agustus 2018)	34,7	0,31
Fly Ash (3 Agustus 2018)	27,3	0,17
Bottom Ash (2 Agustus 2018)	14,3	0,04
Bottom Ash (3 Agustus 2018)	16,0	0,01

Sumber: Hasil Pengujian *Lab BATAN-Bandung, **Lab Terpadu IPB.

4.2 Konsentrasi Pb dan Hg terhadap Baku Mutu

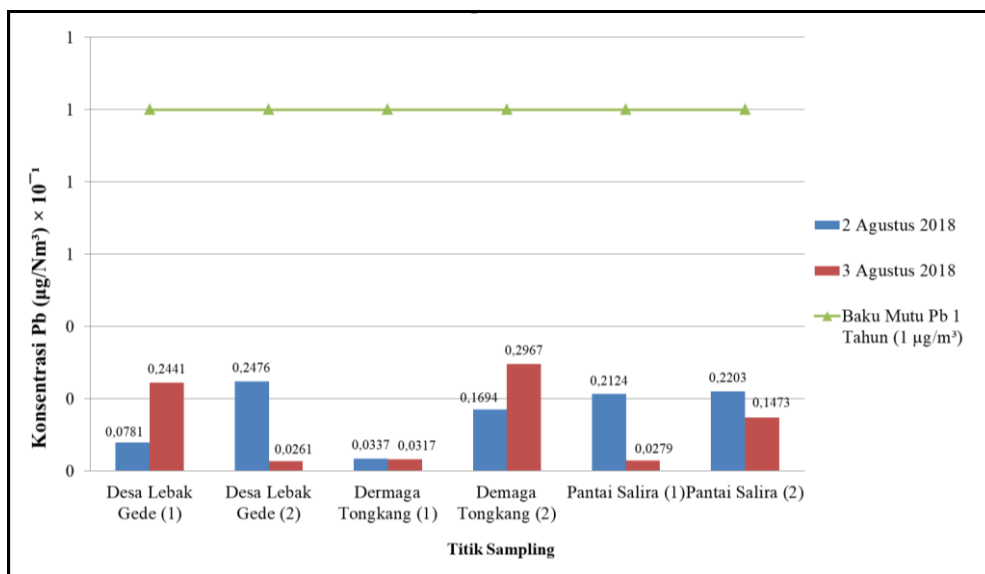
Konsentrasi Pb dan Hg didapatkan dari analisis filter TSP disampling selama 1 jam. Tabel 2 menunjukkan konsentrasi TSP tertinggi tanggal 2 dan 3 Agustus berada di Pantai Salira dengan konsentrasi masing-masing sebesar 259,90 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan 200,80 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Konsentrasi Pb tertinggi pada pengukuran 1 jam berada di titik Dermaga Tongkang pada tanggal 3 Agustus dengan konsentrasi sebesar 0,1591 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan konsentrasi Hg tertinggi pada pengukuran 1 jam berada di Pantai Salira pada tanggal 3 Agustus dengan konsentrasi sebesar 0,0135 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Tabel 2. Konsentrasi Pb dan Hg pada TSP ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

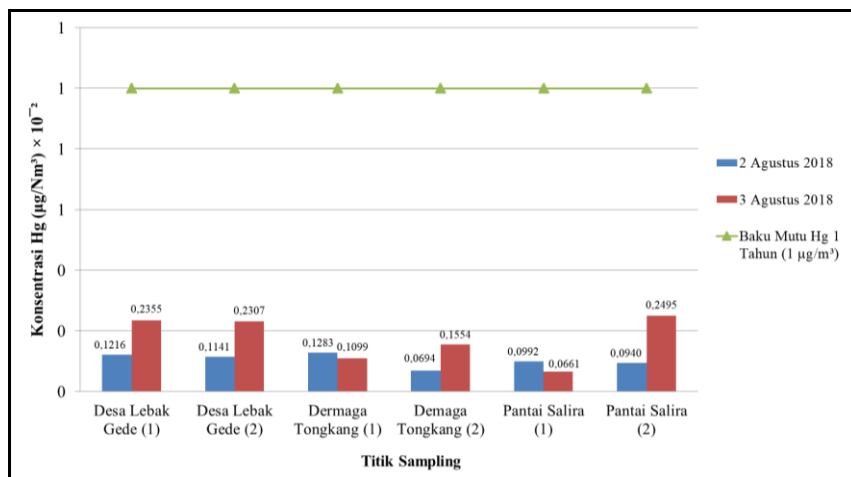
Tanggal	Lokasi	TSP		Pb		Hg		Rasio (%)	
		1 Jam	1 Jam	1 Tahun	1 Jam	1 Tahun	Pb/TSP	Hg/TSP	
2 Agustus 2018	Desa Lebak	108,03	0,0419	0,0078	0,0065	0,0012	0,0388	0,0060	
	Gede	96,31	0,1328	0,0248	0,0061	0,0011	0,1379	0,0064	
	Dermaga	170,52	0,0181	0,0034	0,0069	0,0013	0,0106	0,0040	
	Tongkang	109,52	0,0909	0,0169	0,0037	0,0007	0,0830	0,0034	
	Pantai Salira	203,17	0,1140	0,0212	0,0053	0,0010	0,0561	0,0026	
3 Agustus 2018	Desa Lebak	259,90	0,1182	0,0220	0,0050	0,0009	0,0455	0,0019	
	Gede	160,82	0,1309	0,0244	0,0126	0,0024	0,0814	0,0079	
	Dermaga	153,65	0,0144	0,0026	0,0124	0,0023	0,0094	0,0081	
	Tongkang	134,88	0,0174	0,0032	0,0059	0,0011	0,0129	0,0044	
	Pantai Salira	134,24	0,1591	0,0297	0,0083	0,0016	0,1185	0,0062	
		200,80	0,0150	0,0028	0,0035	0,0007	0,0075	0,0018	
		170,68	0,0790	0,0147	0,0134	0,0025	0,0463	0,0078	

Rasio Pb/TSP dan Hg/TSP adalah perbandingan konsentrasi logam berat pada pengukuran 1 jam terhadap konsentrasi TSP 1 jam sehingga didapat rasio tertinggi untuk Pb dan Hg secara berurut sebesar 0,1379% dan 0,0081% dengan rasio rata-rata Pb/TSP sebesar 0,051% dan rasio rata-rata Hg/TSP sebesar 0,0051%.

Untuk mengetahui perbandingan konsentrasi Pb dan Hg terhadap Baku Mutu Udara Ambien (BMUA), dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Konsentrasi Pb dan Hg bernilai kecil. Agar konsentrasi Pb dan Hg terlihat pada grafik, maka perlu dikalikan dengan 10 untuk Pb dan 100 untuk Hg.



Gambar 5. Konsentrasi Pb terhadap BMUA

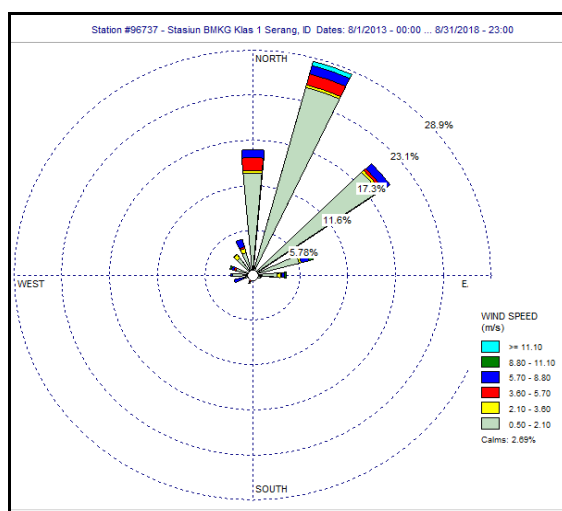


Gambar 6. Konsentrasi Hg terhadap BMUA

Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa konsentrasi Pb dan Hg masih di bawah baku mutu yang ditetapkan oleh PP RI No.41 Tahun 1999 untuk Pb dan *World Health Organization* (WHO) Tahun 2000 untuk Hg yang menetapkan kadar maksimum dalam periode pengukuran 1 tahun sebesar 1 µg/Nm³. Konsentrasi kedua parameter pada dua (2) hari pengukuran menunjukkan hasil yang sangat kecil. Hal tersebut dapat dikarenakan sampel yang dianalisis sangat sedikit untuk masing-masing parameter Pb dan Hg sehingga kemungkinan terdeteksinya sangat kecil daerah titik sampling tersebut tercemar oleh Pb dan Hg. Selain itu, Pb dan Hg dapat berdeposisi kering di dalam TSP tetapi Pb dan Hg memiliki kecenderungan berdeposisi ke dalam bentuk gas dibandingkan ke dalam partikel.

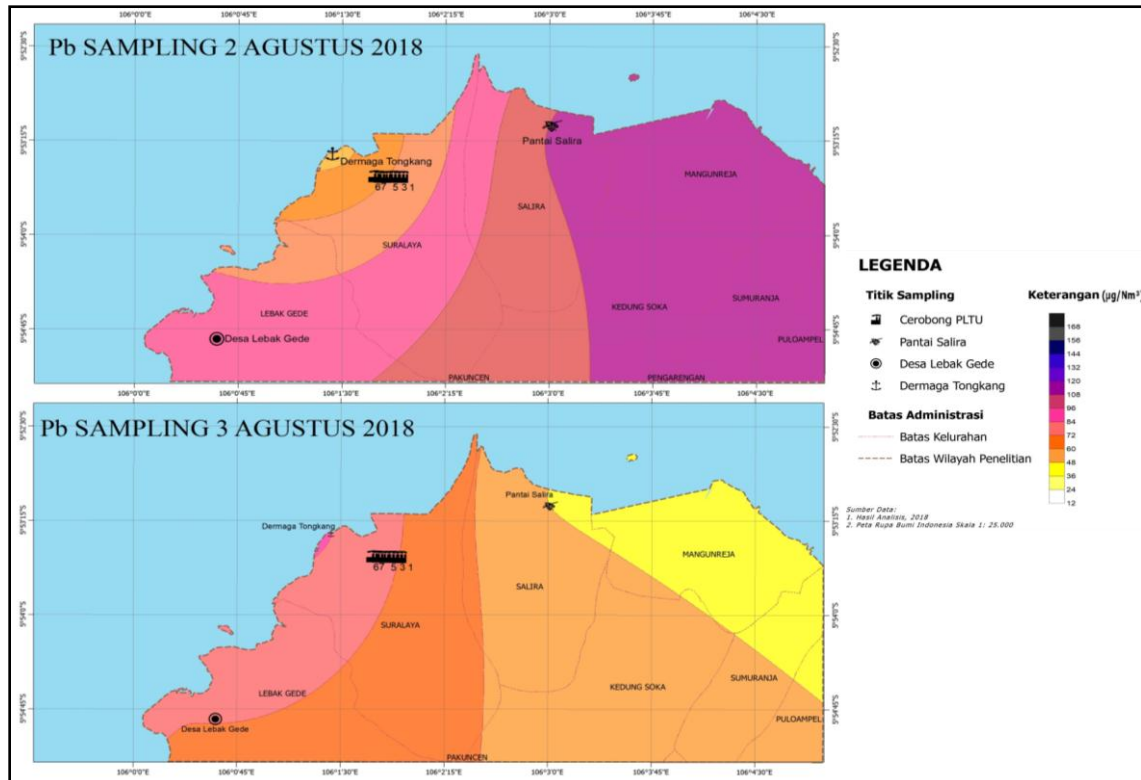
4.3 Pola Sebaran Pb dan Hg

Windrose dapat menggambarkan bagaimana konsentrasi polutan, arah dan kecepatan angin bervariasi dalam suatu waktu (Agustine, dkk., 2017). Gambar 7 menunjukkan bahwa arah angin dominan berasal dari *North Northeast* (NNE) dengan sudut koordinat 22,5° dan distribusi frekuensi kecepatan angin berkisar 0,50 – 2,10 dengan kecepatan angin dominan adalah 0,89 m/detik dan kecepatan angin rata-rata yang didapatkan dari *WRPLOT View* selama bulan Agustus tahun 2013-2018 adalah 1,90 m/detik. Kemungkinan besar angin bertiup ke arah berlawanan yaitu, arah *South southwest* (SSW) dengan sudut 202,5°. Sehingga asumsi polutan yang terbawa oleh angin dengan konsentrasi tertinggi berada di daerah *South southwest*.

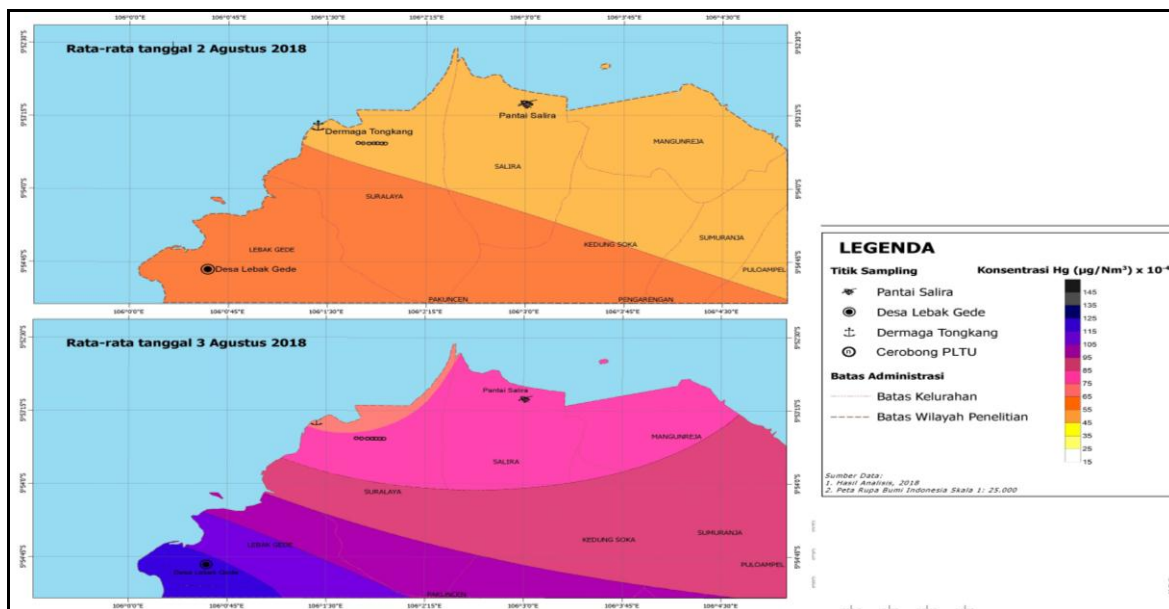


Gambar 7. Mawar Angin Bulan Agustus 2018

Sebaran konsentrasi Pb dan Hg yang menempel pada TSP dianalisis sebarannya dengan membuat peta pola sebaran yang ditunjukkan pada Gambar 8 untuk Pb dan Gambar 9 untuk Hg. Pola sebaran dibuat berdasarkan hasil rata-rata konsentrasi Pb dan Hg tanggal 2 dan 3 Agustus 2018. Hasil dari dianalisis tersebut menunjukkan jarak terjauh dan konsentrasi tertinggi dari sebaran polutan Pb dan Hg sehingga dapat dilihat pengaruhnya terhadap metropolitan.



Gambar 8. Peta Sebaran Pb Sampling Tanggal 2 dan 3 Agustus



Gambar 9. Peta Sebaran Hg Sampling Tanggal 2 dan 3 Agustus

Peta tersebut menunjukkan bahwa warna dari pola penyebaran konsentrasi Pb tersebut tidak stabil sehingga tidak menunjukkan hasil yang konklusif. Pada Gambar 8, wilayah terjauh dengan konsentrasi Pb tertinggi pada tanggal 2 Agustus 2018 terdapat di Dermaga Tongkang dengan kisaran konsentrasi $84 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ - $96 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Sedangkan wilayah terjauh dengan konsentrasi Pb tertinggi pada tanggal 3 Agustus 2018 terdapat di Kecamatan Puloampel yang menyentuh titik Pantai Salira dengan kisaran konsentrasi $108 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ - $120 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Berdasarkan pada Gambar 9 Peta Pola Penyebaran Hg sampling rata-rata tanggal 2 dan 3 Agustus 2018 menunjukkan perbedaan yang signifikan karena pola penyebarannya berbeda dari masing-masing tanggal 2 dan 3 Agustus 2018. Pada tanggal 2 Agustus 2018 menunjukkan konsentrasi Hg tertinggi berada di interval warna orange dengan range warna $55 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ - $65 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ yang menyentuh titik Desa Lebak Gede. Sedangkan tanggal 3 Agustus 2018 menunjukkan konsentrasi Hg tertinggi berada di interval warna biru pekat dengan range warna $115 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ - $125 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ yang menyentuh titik Desa Lebak Gede.

Jika menyesuaikan dengan arah angin dominan, seharusnya polutan tertinggi berada pada wilayah NNE dari PLTU yaitu ke Desa Lebak Gede. Namun pada Gambar 9, sebaran Pb tersebut tidak sesuai dengan arah angin dominan. Namun pada Gambar 10, sebaran Hg sesuai dengan arah angin dominan. Penyebaran Pb dan Hg dapat disebabkan oleh prinsip dari deposisi kering, yaitu emisi debu yang berasal dari PLTU terbawa oleh angin dan akan jatuh pada jarak yang berbeda-beda tergantung dari kondisi meteorologis dan stabilitas atmosfer daerah tersebut. Begitu halnya dengan Pb dan Hg yang terikat pada debu juga akan jatuh pada jarak yang berbeda-beda. Selain itu, pada saat sampling juga terdapat sumber lainnya yang dapat memberikan kontribusi debu pada filter tersebut seperti debu dari jalanan dan sumber emisi dari pabrik lainnya.

5. SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa:

1. Rasio Pb pada TSP berkisar antara 0,0075%-0,1379% dan rasio Hg pada TSP berkisar antara 0,0018%-0,0081%. Rasio rata-rata Pb pada TSP sebesar 0,051% dan Hg pada TSP sebesar 0,0051%.
2. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi Pb tertinggi di Dermaga Tongkang (3 Agustus) sebesar $0,0297 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sedangkan konsentrasi Hg tertinggi di Pantai Salira (3 Agustus) sebesar $0,0025 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Konsentrasi-konsentrasi tersebut belum melebihi baku mutu udara ambien untuk pengukuran 1 tahun yaitu $1 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.
3. Sebaran Pb dan Hg menunjukkan perbedaan pola. Sebaran Pb terjauh dengan konsentrasi tertinggi terjadi di Kecamatan Puloampel, sedangkan sebaran Hg terjauh dengan konsentrasi tertinggi terjadi di Desa Lebak Gede.

Penggunaan energi di metropolitan tidak berdampak langsung pada metropolitan itu sendiri, namun berkontribusi pada pencemaran lingkungan di daerah pembangkit energinya, walau saat ini belum melebihi baku mutu yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1999. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 *tentang Pengendalian Pencemaran Udara*.
- _____. 2016. *International Coal Based Power Conferences 2016; Indonesia Electricity Development Plant and Indonesia Coal-Ash Management Implementation*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM).
- _____. 2017. SNI 7119-3:2017 *tentang Cara Uji Partikel Tersuspensi Total Menggunakan Peralatan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan Metoda Gravimetri*.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2018. Mercury Quick Facts: Health Effect of Mercury Exposure. Retrieved November 31, 2018, from <https://www.atsdr.cdc.gov/mercury/docs/healtheffectsm Mercury.pdf>.
- Biodesign.cc. 2017. Mercury. Retrieved November 26, 2018, from <http://wiki.biodesign.cc/wiki/Mercury>.

- Bjorklund, dkk. 2017. The Toxicology of Mercury: Current Research and Emerging Trends. *Research* 159, 545-554.
- Carlson, C.L., and Adriano, D.C. 1993. Environmental Impacts of Coal Combustion Residues. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 22, 2, 227-247.
- Gusnita, D. 2012. Pencemaran Logam Berat Timbal di Udara dan Upaya Penghapusan Bensin Timbal. *Peneliti Bidang Komposisi Atmosfer, LAPAN. Berita Dirgantara* Vol. 13, 3, 95-101.
- Hynek, dkk. 2011. Electrochemical Analysis of Lead Toxicosis in Vultures. *International Journal of Electrochemical Science*, 6, 5980 – 6010.
- Jamaludin, A dan Darma A. 2012. Analisis Kerusakan X-Ray Fluoresence (XRF). *Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN*. No. 9-10.
- Mahamud, R., M.M.K. Khan, M.G. Rasul and M.G. Leinster. 2013. “Energy Analysis and Efficiency Improvement of a Coal Fired Thermal Power Plant in Queensland”. Australia: *Central Queensland University, School of Engineering and Built Environment, Rockhampton*.
- Mukhtar, A R. 2013. Fungsi dan Prinsip Kerja PLTU. Retrieved February 14, 2018, from <https://rakhman.net/power-plants-id/fungsi-dan-prinsip-kerja-pltu/>
- Munasir, dkk. 2012. Uji XRD dan XRF Pada Bahan Meneral (Batuan dan Pasir) sebagai Sumber Material Cerdas ($CaCO_3$ dan SiO_2). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*. Vol 2 No 1.
- Sharader, D.E and Hobbins, W.B. 2010. “Application Note: The Determination of Mercury by Cold Vapor Atomic Absorption”. United States of America: Agilent Technologies 1983.
- Tolvanen, M. 2004. *Mass Balance Determination for Trace Elements at Coal, Peat, and Bark Fired Power Plants*. Finland: Department of Physical Sciences Faculty of Science University of Helsinki.
- United Nation Environment Programme (UNEP). 2013. *Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport*. UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland.
- United States-Environmental Protection Agency (US-EPA). 2016. “2014 National Emissions Inventory version 1 Technical Support Document”. United States of America: Air Quality Assessment Division Emission Inventory and Analysis Group Research Triangle Park, North Carolina.
- World Coal Indonesia (WCI). 2005. *Sumber Daya Batu Bara: Tinjauan Lengkap Mengenai Batu Bara*. Retrieved December, 18, from www.worldcoal.org.
- World Health Organization (WHO). 2000. *Mercury*. Denmark: WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- Zhang, L., dkk. 2008. “Mercury Emissions from Six Coal-Fired Power Plants in China”. Elsevier: *Fuel Processing Technology* Vol. 89, 11, 1033-1040.
- Agustine, I., Yulinawati, H., Suswantoro, E., Gunawan, D., Application Of Open Air Model (R Package) To Analyze Air Pollution Data. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, Volume 1, Number 1, page 98-109, October 2017. <http://dx.doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v1i1.2430>