

Pola Konsentrasi Merkuri (Hg) Udara Ambien di Serpong *Trend of Ambient Air Mercury (Hg) Concentration in Serpong*

Rina Aprishanty, Ricky Nelson, dan Nurmalia Safitri

Pusat Standardisasi Instrumen dan Kualitas Lingkungan Hidup, Kawasan PUSPIPTEK Gedung 210,
Serpong – Tangerang Selatan 15310, T/F 021-7560981
E-mail: aprishanty@gmail.com

Diterima 17 Mei 2023, direvisi 19 Mei 2023, disetujui 22 Mei 2023

ABSTRAK

Pola Konsentrasi Merkuri (Hg) Udara Ambien di Serpong. Merkuri (Hg) adalah logam alami yang dapat menyebabkan efek negatif terhadap kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Kajian ini merupakan bagian dari kegiatan pengembangan yang dilakukan oleh Laboratorium Merkuri dan Metrologi Pusat Standardisasi Instrumen Kualitas Lingkungan Hidup (PSIKLH). Tujuan kegiatan ini adalah untuk mendapatkan informasi mengenai konsentrasi Hg di udara ambien di Serpong sebagai bahan pendukung dalam penyusunan metode standar atau baku mutu Hg di udara ambien. Sampling dilakukan pada tanggal 4 Mei 2021 sampai 28 September 2022, setiap 1 (satu) minggu sekali secara kontinu dengan 3 (tiga) rangkaian alat sampling pada waktu yang bersamaan. Lokasi penempatan alat sampling berada di Lantai 2 Gedung 210 PSIKLH Serpong-Tangerang Selatan sesuai standar SNI 19-7119.6-2005. Metode sampling menggunakan pompa vakum dengan laju alir 0,5 L/menit selama 24 jam ke media adsorben Hg yang terbuat dari emas (Au) sehingga terjadi amalgamasi. Analisis Hg dilakukan menggunakan teknik *thermal desorption* yang dipanaskan pada suhu 800°C dimana Hg dilepaskan dari kolom emas menjadi uap Hg, kemudian dideteksi menggunakan *mercury analyzer Nippon Instruments Corporation* (NIC) tipe MA-3000. Hasil kajian menunjukkan rata-rata konsentrasi Hg di udara ambien tahun 2021 relatif kecil (11,7 ng/m³), dan tahun 2022 sebesar 25 ng/m³, berada di bawah nilai acuan yang ditetapkan oleh WHO (2017) untuk udara ambien yang ditetapkan oleh WHO (300 ng/m³). Hal ini cukup menarik karena konsentrasi Hg di Serpong lebih tinggi dibandingkan dengan kajian-kajian di wilayah urban Da Nang, Vietnam (3,86 ng/m³), Nanjing, China (7,9 ng/m³), Guiyang, China (9,72 ng/m³), Taoyuan, Taiwan (2,6 ng/m³), dan di wilayah *background* Welgegund, Afrika Selatan (1,68 ng/m³).

Kata kunci: Merkuri, amalgam, udara ambien, pencemaran udara.

ABSTRACT

The Concentration of Ambient Air Mercury (Hg) in Serpong. Mercury (Hg) is a naturally occurring metal that can cause negative health effects in humans and other living things. The study which was a part of development activity by Mercury and Metrology Laboratory of Center for Standardization of Environmental Quality Instruments (PSIKLH) is aimed to obtain information about the concentration of Hg in ambient air as supporting materials for method standard and quality standard preparation. Determination of Hg in ambient air was conducted once in a week continuously with 3 (three) series of sampling set. Sampling was carried out on May 4th, 2021 to September 28th 2022. The equipments were placed on the 2nd floor of PSIKLH Building 210, located in Serpong. Sampling of Hg in ambient air was determined by sucking the air using a vacuum pump with air flow of 0,5 L/minute for 24 hours into a gold trap sample so that amalgamation occurred. Analysis of Hg was carried out using a thermal desorption technique by heating at temperature of 800°C, so that Hg was released from the gold

column into vapor Hg and then detected by mercury analyzer Nippon Instruments Corporation (NIC) type MA-3000. This research indicated that the average Hg concentration in ambient air in 2021 was relatively low (11,7 ng/m³) in 2021, while in 2022 was 25 ng/m³ and this still under regulatory limit by WHO (300 ng/m³). It is interesting to note that Hg concentration in Serpong area was relatively higher as compare to studies reported in Da Nang urban area, Vietnam (3,86 ng/m³), Nanjing, China (7,9 ng/m³), Guiyang, China (9,72 ng/m³), Taoyuan, Taiwan (2,6 ng/m³), and Welgegund background area, South Africa (1,68 ng/m³).

Keywords: Mercury, amalgam, ambient air; air pollution.

1. Pendahuluan

Merkuri (Hg) merupakan salah satu jenis logam berat yang banyak ditemukan di alam dan tersebar dalam mineral, tanah, air dan udara sebagai senyawa anorganik dan organik (Carpi, 1997; Lindqvist & Rodhe, 1985; WHO, 1997, 2022). Konsentrasi Hg dalam tanah, air dan udara secara umum relatif rendah, dan pengaruh Hg pada kesehatan makhluk hidup bergantung pada bentuk senyawanya (WHO, 1997). Senyawa Hg anorganik dan Hg metalik dalam *International Agency for Research on Cancer* (IARC) dikategorikan dalam grup 3, yaitu kelompok bahan berbahaya yang tidak menimbulkan kanker pada manusia (*not classifiable as to its carcinogenicity to humans*); sedangkan metilmerkuri dan senyawa-senyawanya masuk ke dalam grup 2B yaitu kelompok bahan berbahaya yang mungkin bersifat karsinogen terhadap manusia (*possibly carcinogenic to humans*). Hg merupakan neurotoksik yaitu racun terhadap sistem syaraf pusat (WHO, 2022). Hg umumnya berada dalam batubara dan juga limbah kota dalam bentuk padatan (*solid municipal waste*), dan merupakan satu-satunya logam yang paling tidak mudah dipertahankan bentuk atau fasenya (Lindberg & Stratton, 1998). Setelah teremisikan, Hg dapat terdeposisi dalam bentuk basah maupun kering di lingkungan (Gustin, Dunham-Cheatham, Huang, Lindberg, & Lyman, 2021). Hal inilah yang menyebabkan WHO menyatakan bahwa Hg

menjadi polutan global (Brosset & Iverfeldt, 1989; Lindberg & Stratton, 1998; UNEP, 2019).

Hg merupakan logam berat alami yang dapat menguap atau lepas ke atmosfer dan hidrosfer, secara alami melalui aktivitas antropogenik (UNEP, 2019). Hg dilepaskan ke atmosfer sebagai Hg(0), meskipun proses pembakaran juga turut mengemisikan Hg(II) (Carpi, 1997; Lindberg & Stratton, 1998; Lindqvist & Rodhe, 1985). Deposisi atmosfer Hg(II) menjadi sumber utama masuknya Hg ke lingkungan permukaan (Amos *et al.*, 2012). Selain kegiatan penambangan, emisi Hg juga diketahui berasal dari *wet flue gas* hasil desulfurisasi air limbah yang menggunakan bak aerasi (Hsu, Atkinson, Chung, & Hsi, 2021), maupun emisi pembangkit listrik bahan bakar batubara (*coal-fired power plant*) (Li *et al.*, 2021).

Di Indonesia, terjadi peningkatan pencemaran logam berat berkaitan dengan peningkatan proses industrialisasi (Lestaris, 2010). Melalui aktivitas penambangan, senyawa Hg digunakan dalam pengolahan emas secara amalgamasi yang berpotensi mengemisikan Hg ke udara. Di udara ambien, kegiatan sampling dan analisis dibagi menjadi dua matriks yaitu partikulat dan gas-gas (Vallero, 2014). Dalam kegiatan ini, pengujian dilakukan terhadap Hg fase gas yang terdapat di udara ambien menggunakan metode aktif manual dengan bantuan kolom *gold trap*. Studi mengenai penggunaan kolom emas (Au)

yang digunakan untuk menangkap Hg di udara ambien sudah berlangsung sejak lama (Brosset & Iverfeldt, 1989; Gustin, Amos, Huang, Miller, & Heidecorn, 2015; Munthe, Schroeder, Xiao, & Lindqvist, 1990; Xiao, Munthe, & Lindqvist, 1991). Metode yang diaplikasikan di PSIKLH diadopsi dari *Manual of Measurement Method of Hazardous Air Pollutants* dari *Ministry of Environment Japan* (Watanabe, 2017).

Persyaratan nilai acuan terkait pengukuran Hg di udara ambien yang telah diinventarisasi berasal dari WHO *Guideline* 2017. Nilai Acuan Hg di udara ambien untuk rata-rata 24 jam sebesar 0,0003 mg/m³ (300 ng/m³). Hingga saat ini, belum tersedia baku mutu Hg di udara ambien di Indonesia. Beberapa kajian mengenai keberadaan Hg di udara ambien diketahui menggunakan metodologi berbeda (Asmarani, Abbas, & Sulaeman, 2021; Febrion & Falah, 2018; Huang, Lyman, Hartman, & Gustin, 2014; Yulinawati, Zulaiha, Pristianty, & Siami, 2019). Kegiatan ini bertujuan untuk mendapatkan data konsentrasi Hg di kawasan perkantoran Serpong dan selain itu data juga dapat digunakan sebagai dasar untuk penyusunan standar maupun baku mutu. Dengan asumsi tidak ada sumber utama pencemaran Hg secara signifikan di wilayah titik sampling, maka Serpong dapat dikategorikan sebagai *background area*.

2. Metodologi

Penentuan titik dan lokasi *sampling* dilakukan sesuai SNI 19-7119.6-2005 (BSN, 2005). Sampling Hg di udara ambien dilakukan dengan cara menghisap udara menggunakan pompa vakum ke media adsorben penangkap Hg yang terbuat dari emas (gold trap method sample collection) sehingga terjadi amalgamasi. dan pengujian Hg di udara ambien menggunakan prinsip thermal desorption sesuai dengan instruksi kerja internal (PSIKLH, 2020). Periode sampling dilakukan selama 24 jam dengan laju

alir 0,5 L/menit. Jumlah alat sampling yang digunakan dalam setiap periode sampling sebanyak 3 set, sehingga dalam satu hari sampling terdapat 3 sampel berbeda. Volume udara dihitung dalam keadaan standar dengan memperhitungkan temperatur dan tekanan saat sampling. Kegiatan sampling dilakukan setiap seminggu sekali secara kontinu. Analisis Hg dilakukan menggunakan teknik *thermal desorption* yang dipanaskan pada suhu 800°C dimana Hg dilepaskan dari kolom emas menjadi uap Hg, kemudian dibaca pada alat *mercury analyzer Nippon Instruments Corporation* (NIC) tipe MA-3000. Konsentrasi Hg yang dihitung dalam satuan ng/m³ merupakan hasil yang sudah dikurangi dengan blanko.

Verifikasi metode dilakukan dengan mencari batas deteksi (LoD) dan batas kuantifikasi (LoQ) metode sebelum dilakukan pengujian. LoD dan LoQ dari metode ini diperoleh dari standar deviasi analisis berulang konsentrasi rendah dari gas standar LoD dan LoQ dari standar deviasi dibagi dengan slope yang diperoleh.

2.1 Lokasi Sampling

Pengambilan contoh uji Hg di udara ambien dilakukan di lantai 2 PSIKLH-KLHK Serpong, Tangerang Selatan, Banten (titik GPS : 06o21'00,18"S 106o40'03,06"E). Lokasi sampling dapat dilihat pada Gambar 1.

2.2 Peralatan dan Bahan

Peralatan utama yang dibutuhkan untuk sampling adalah *cartridge* perangkat amalgamasi emas, tabung perangkat diisi dengan *soda lime*, pompa SIBATA MP-Σ300 (Gambar 3), tabung, pipa, statip, tiang penyangga, peralatan meteorologi (termometer, higrometer, dan barometer). Bahan penunjang uji terdiri dari *soda lime* (campuran padatan NaOH dan CaO), *standard gas box mercury* dengan kemurnian 99%, aluminium foil, *glass wool*, dan gas O₂. Instrumen untuk analisis Hg di udara

ambien menggunakan *mercury analyzer* NIC MA-3000 (Gambar 4).

Rangkaian peralatan alat sampling dapat dilihat pada Gambar 2.

2.3 Perhitungan

Konsentrasi Hg di udara ambien dihitung melalui rumus sebagai berikut:

$$C_{Hg} = (C_s - C_b) / (V_{udara} * 293) / (T + 273) * P / 760 \dots(1)$$

Keterangan :

CHg : konsentrasi Hg di udara pada T 25oC(ng/m³)

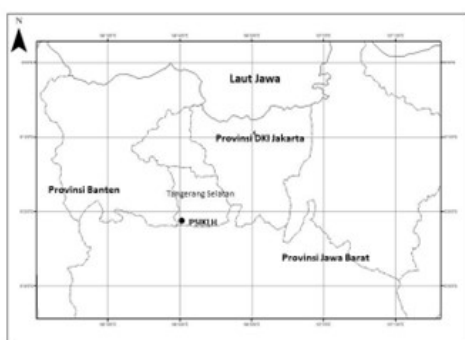
Cs : jumlah Hg dalam sampel (ng)

Cb : jumlah Hg dalam blanko perjalanan (ng)

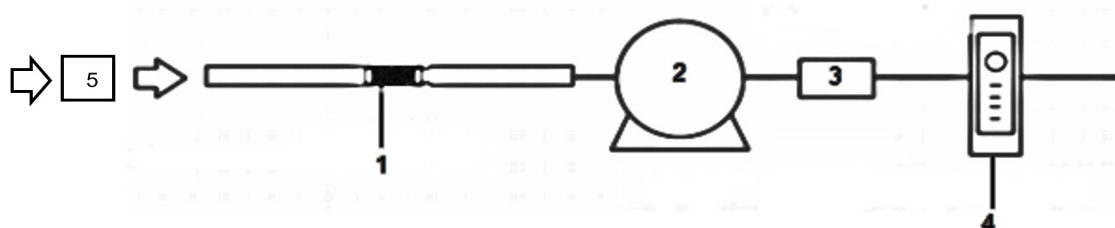
V udara : volume sampel tercatat pada flowmeter (m³)

T : rata-rata temperatur saat pengambilan contoh uji (oC)

P : rata-rata tekanan atmosfer saat pengambilan contoh uji (mmHg)



Gambar 1. Lokasi sampling PSIKLH Serpong



Keterangan gambar:

1. Tabung collector yang dilengkapi selongsong pelindung dari pipa PVC
2. Pompa vakum

3. Alat pengontrol laju alir
4. Alat pengukur laju alir
5. Soda lime trap dan glass wool

Gambar 2. Sketsa Rangkaian Alat Pengambil Contoh Uji



a. Cartridge amalgam emas



b. Tabung berisi soda lime



c. Pompa penghisap

Gambar 3. Bahan dan Peralatan Sampling Hg di Udara Ambien



Gambar 4. Instrumen Mercury Analyzer NIC MA-3000

3. Hasil dan Pembahasan

Pemantauan Hg di udara ambien menjadi penting dilakukan karena saat melakukan asesmen terhadap level emisi dan riwayat transportasi, maka salah satu matriks tempat pertama dimana suatu polutan akan terlihat adalah udara (UNEP, 2019). Secara khusus, Hg memiliki waktu tinggal yang lama di atmosfer dan dapat menempuh jarak jauh dari sumber emisi aslinya, sehingga pencemaran Hg sangat mungkin terjadi dimana saja tergantung pada kondisi meteorologi (UNEP, 2019; WHO, 1997).

Pada saat akan melakukan pemantauan terhadap suatu parameter, laboratorium wajib

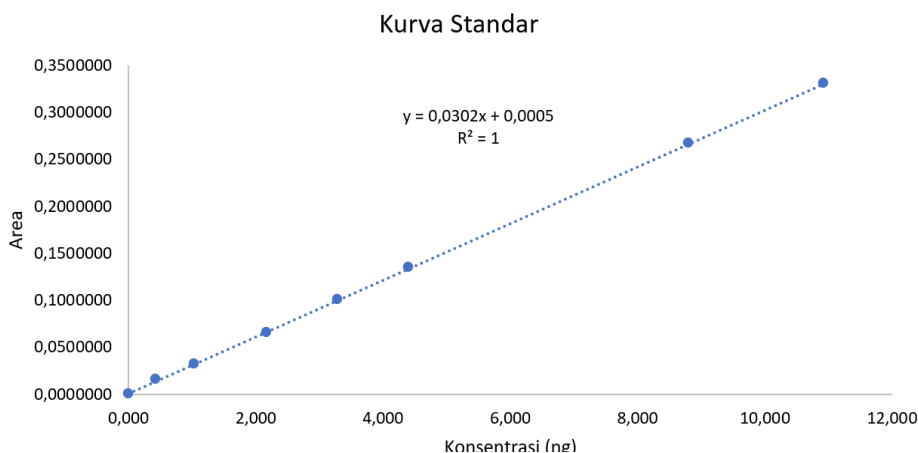
melakukan kegiatan verifikasi metode untuk mendukung jaminan mutu terhadap data yang dihasilkan (BSN, 2017). Penentuan limit deteksi harus memperhatikan kisaran konsentrasi yang didapatkan.

3.1 Verifikasi Metode Pengujian Hg di Udara Ambien

Verifikasi metode merupakan bagian dari jaminan mutu dan pengendalian mutu laboratorium (BSN, 2017). Dalam kegiatan ini, verifikasi dilakukan dengan menggunakan konsentrasi rendah karena hasil pemantauan yang didapatkan di wilayah Serpong relatif rendah. Limit deteksi (LoD)

Tabel 1. Penentuan Linearitas Kurva Kalibrasi, LoD dan LoQ

Larutan standar	Konsentrasi (ng)	Area
Std 1	0,000	0,0002057
Std-2	0,430	0,0145139
Std-3	1,050	0,0311473
Std-4	2,185	0,0654207
Std-5	3,278	0,1004330
Std-6	4,406	0,1341032
Std-7	8,811	0,2659226
Std-8	10,927	0,3303308
<i>Method Slope</i>		0,0302
<i>Intercept</i>		0,0005
<i>Correlation Determination (R)</i>		1,0000
<i>Correlation Coefficient (r)</i>		1,0000
Batas Keberterimaan		$r \geq 0.995$
Kesimpulan Linearitas		diterima
STYEX		0,0009
LoD		0,0902
LoQ		0,3006



Gambar 5. Kurva standar Hg di Udara Ambien

Tabel 2. Perhitungan LoD dan LoQ Hg di Udara Ambien

	Temperatur (°C)	Tekanan (mmHg)	Volume udara (m ³)	Konsentrasi (ng/m ³)
LoD	25	760	0,72	0,1
LoQ	25	760	0,72	0,4

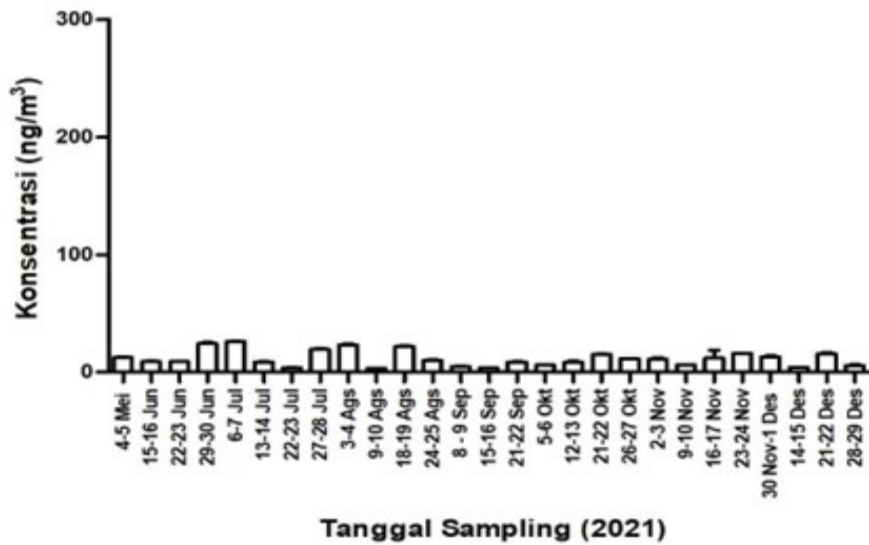
dan limit kuantifikasi (LoQ) Hg di udara ambien yang diperoleh adalah sebesar 0,1 dan 0,4 ng/m³. Penentuan linearitas kurva kalibrasi, LoD dan LoQ dapat dilihat pada Tabel 1 dan kurva standar Hg dapat dilihat pada Gambar 5.

Perhitungan LoD dan LoQ Hg di Udara Ambien disajikan pada Tabel 2.

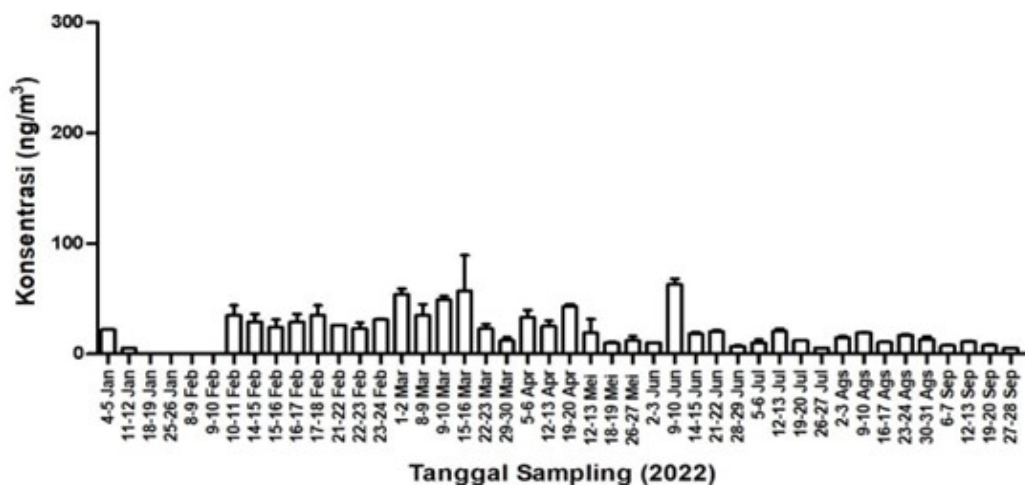
3.2 Pemantauan Hg di Udara Ambien

Pemantauan Hg di udara ambien yang dilakukan di Serpong merupakan bagian dari pengembangan yang dilakukan oleh Laboratorium Merkuri dan Metrologi PSIKLH, disamping kegiatan pemantauan konsentrasi Hg atmosferik dan dalam deposisi basah, dimana PSIKLH yang tergabung dalam kegiatan *The Asia Pacific Mercury Monitoring Network* (APMMN). Kegiatan pemantauan secara kontinu menjadi hal yang harus dilakukan untuk mendapatkan tren konsentrasi suatu pencemar di lokasi yang sudah ditetapkan.

Hasil pengujian selama periode pemantauan tahun 2021 menunjukkan konsentrasi Hg di udara ambien relatif kecil di wilayah Serpong, jauh dari nilai acuan untuk udara ambien yang ditetapkan oleh WHO yaitu sebesar 300 ng/m³. Pada periode Mei – Desember 2021, konsentrasi minimum adalah sebesar 3,3 ng/m³ dan maksimum sebesar 26,1 ng/m³, dengan rata-rata sebesar 11,7 ng/m³ (Gambar 6). Hal ini dapat dipahami, mengingat tidak ada sumber signifikan pencemar Hg seperti kegiatan penambangan yang menggunakan metode amalgasi di area sekitarnya. Salah satu potensi sumber pencemar Hg yang mungkin terjadi di lokasi titik *sampling* adalah kegiatan laboratorium yang menggunakan bahan kimia mengandung Hg seperti pengujian SO₂ metode *tetrachloromercurate* (TCM) di udara ambien, pengujian HCl metode Hg-tiosianat di udara emisi, dan pengujian-pengujian lainnya.



Gambar 6. Pola Konsentrasi Hg di Udara Ambien di Serpong Tahun 2021



Gambar 7. Tren Konsentrasi Hg di Udara Ambien di Serpong Tahun 2022

Pada periode pemantauan tahun 2022 konsentrasi Hg di udara ambien sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan tahun 2021, meskipun masih jauh berada di bawah nilai acuan udara ambien yang ditetapkan WHO (2017) sebesar 300 ng/m³. Konsentrasi minimum adalah sebesar 5 ng/m³ dan maksimum 63 ng/m³, dengan rata-rata sebesar 25 ng/m³ (Gambar 7). Konsentrasi Hg yang terdeteksi di Serpong ini terlihat lebih tinggi dibandingkan dengan kajian di beberapa wilayah antara lain sebesar 3,86

ng/m³ di wilayah urban Da Nang, Vietnam (Sheu *et al.*, 2013), 7,9 ng/m³ di Nanjing, China (Zhu *et al.*, 2012), 9,72 ng/m³ di Guiyang, China (Fu, Feng, Qiu, Shang, & Zhang, 2011), 2,6 ng/m³ di Taoyuan, Taiwan (Sheu, Phu Nguyen, Truong, & Lin, 2019), dan 1,68 ng/m³ di wilayah *background* Welgegund, Afrika Selatan (Bredenkamp, 2021).

Pemantauan udara ambien sangat dipengaruhi oleh kondisi meteorologi. Data meteorologi yang diperoleh dari stasiun

Serpong selama pemantauan menunjukkan status *calm*, seperti terlihat pada Gambar 8. Kondisi *calm* memberi informasi bahwa nilai konsentrasi pencemar cenderung berasal sumber di sekitar stasiun PSIKLH dan /atau hasil akumulasi lepasan partikulat jangka panjang dalam kondisi stabil (*steady state*) di atmosfer.

Perbedaan musim antara kemarau dan hujan akan berpengaruh pada konsentrasi polutan yang diperoleh. Dalam sebuah studi di Beijing, pengukuran Hg atmosfer dilakukan selama musim hujan (Juli–November) 2021 dengan tujuan untuk mengetahui variasi harian Hg atmosfer selama musim hujan di lokasi perkotaan di kota besar Beijing, dan mengidentifikasi potensi sumber Hg atmosfer melalui metode analisis komprehensif dari klaster, model *potential source contribution function* (PSCF), dan *positive matrix factorization* (PMF) (Wang, Wang, Zhang, & Zhang, 2022). Dari studi tersebut diketahui bahwa emisi antropogenik menyebabkan nilainya bertambah dua kali lipat dibandingkan dengan konsentrasi yang berada di wilayah *background*. Di atmosfer, *gas elemental mercury* (GEM) adalah spesies Hg atmosfer yang dominan (>90% dari total), akhirnya dapat dihilangkan dari atmosfer melalui oksidasi menjadi spesies divalen yang lebih larut dalam air, seperti *reactive gas mercury* (RGM) dan *particle*

bound mercury (PBM) (Han *et al.*, 2018). Hg teroksidasi ini dapat direduksi oleh berbagai reduktor atmosfer dalam aerosol, kabut, dan awan yang pada akhirnya mempengaruhi nasib atmosfer serta siklus biogeokimia (Han *et al.*, 2018).

4. Simpulan

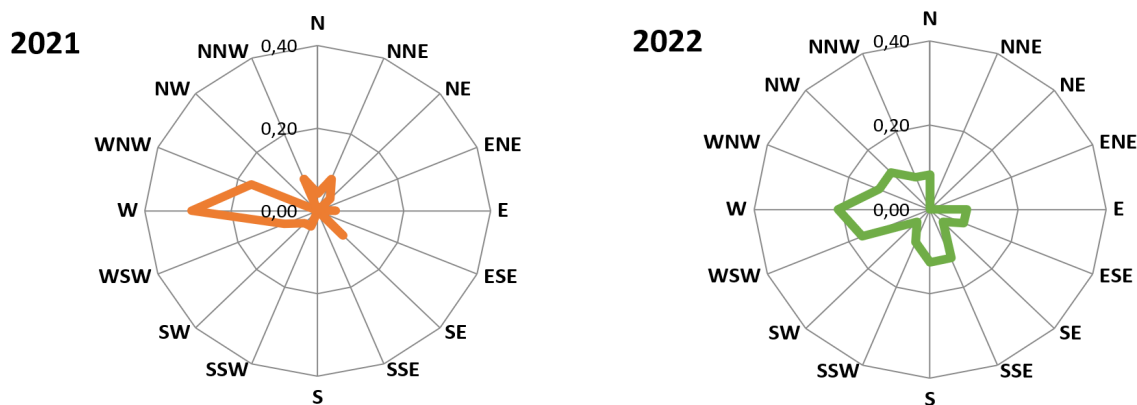
Hasil pengukuran Hg di udara ambien di kawasan Puspiptek Serpong selama tahun 2021 dan tahun 2022 menunjukkan pola kecenderungan fluktuatif dan konsentrasi Hg berada di bawah nilai acuan yang ditetapkan oleh WHO (2017) yaitu 300 ng/m³. Perkiraan sumber Hg yang terdeteksi di lokasi pengukuran perlu dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan PMF *models*.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PSIKLH atas sumber daya dan fasilitas yang tersedia, serta kepada Adi Mulyadi yang telah membantu kegiatan *sampling*.

6. Kepengarangan

Seluruh penulis berkontribusi dalam melakukan penyusunan makalah menjadi suatu kesatuan tak terpisahkan. Penulis kesatu melakukan review kegiatan secara



Gambar 8. Data Meteorologi Serpong Tahun 2021 dan 2022

keseluruhan Penulis kedua melakukan pengolahan, verifikasi data hasil analisis, dan data hasil meteorologi. Penulis ketiga melakukan sampling, pengujian, dan pelaporan hasil.

Daftar Pustaka

- Amos, H. M., Jacob, D. J., Holmes, C., Fisher, J. A., Wang, Q., Yantosca, R. M., . . . Gustin, M. (2012). Gas-particle partitioning of atmospheric Hg (II) and its effect on global mercury deposition. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(1), 591-603.
- Asmarani, A. R., Abbas, H. H., & Sulaeman, U. (2021). Analisis Risiko Paparan Merkuri (Hg) Udara Ambien pada Pekerja Emas di Kelurahan Rappokalling Kota Makassar. *Window of Public Health Journal*, 1263-1275.
- Bredenkamp, L. (2021). *Background ambient atmospheric mercury concentrations for the South African interior*. North-West University (South Africa).
- Brosset, C., & Iverfeldt, Å. (1989). Interaction of solid gold with mercury in ambient air. *Water, Air, and Soil Pollution*, 43(1), 147-168.
- BSN. (2005). SNI 19-7119.6-2005 Bagian 6: Penentuan Lokasi Pengambilan Contoh Uji Pemantauan Kualitas Udara Ambien Jakarta.
- BSN. (2017). SNI ISO/IEC 17025:2017 *Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi*. Jakarta: BSN.
- Carpi, A. (1997). Mercury from combustion sources: a review of the chemical species emitted and their transport in the atmosphere. *Water, Air, and Soil Pollution*, 98(3), 241-254.
- Febrion, C., & Falah, U. S. (2018). Studi identifikasi pencemaran logam timbal (Pb) dan merkuri (Hg) di udara ambien pada lokasi industri pengguna bahan bakar batubara di wilayah Kabupaten Bandung. *Sumber*, 10, 0.
- Fu, X., Feng, X., Qiu, G., Shang, L., & Zhang, H. (2011). Speciated atmospheric mercury and its potential source in Guiyang, China. *Atmospheric Environment*, 45(25), 4205-4212. doi:https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.05.012.
- Gustin, M. S., Amos, H. M., Huang, J., Miller, M. B., & Heidecorn, K. (2015). Measuring and modeling mercury in the atmosphere: a critical review. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(10), 5697-5713.
- Gustin, M. S., Dunham-Cheatham, S. M., Huang, J., Lindberg, S., & Lyman, S. N. (2021). Development of an understanding of reactive mercury in ambient air: A review. *Atmosphere*, 12(1), 73.
- Han, D., Zhang, J., Hu, Z., Ma, Y., Duan, Y., Han, Y., . . . Wang, W. (2018). Particulate mercury in ambient air in Shanghai, China: Size-specific distribution, gas-particle partitioning, and association with carbonaceous composition. *Environmental Pollution*, 238, 543-553. doi:https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.088.
- Hsu, C.-J., Atkinson, J. D., Chung, A., & Hsi, H.-C. (2021). Gaseous mercury re-emission from wet flue gas desulfurization wastewater aeration basins: A review. *Journal of hazardous materials*, 420, 126546.
- Huang, J., Lyman, S. N., Hartman, J. S., & Gustin, M. S. (2014). A review of passive sampling systems for ambient air mercury measurements. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 16(3), 374-392.
- Lestaris, T. (2010). *faktor-faktor yang berhubungan dengan keracunan merkuri (Hg) pada penambang emas tanpa ijin (peti) di Kecamatan Kurun, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah*. UNIVERSITAS DIPONEGORO.
- Li, Z., Chen, X., Liu, W., Li, T., Qiu, G., Yan, H., . . . Wang, Q. (2021). Soil and ambient air mercury as an indicator of coal-fired power plant emissions: a case study in North China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(25), 33146-33157.
- Lindberg, S. a., & Stratton, W. (1998). Atmospheric mercury speciation: Concentrations and behavior of reactive gaseous mercury in ambient air. *Environmental science & technology*, 32(1), 49-57.
- Lindqvist, O., & Rodhe, H. (1985). Atmospheric mercury—a review. *Tellus B*, 37(3), 136-159.
- Munthe, J., Schroeder, W., Xiao, Z., & Lindqvist, O. (1990). Removal of gaseous mercury from air using a gold coated denuder. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 24(8), 2271-2274.
- PSIKLH. (2020). *Intruksi Kerja Penentuan Hg Fase Uap di Udara Ambien*. Retrieved from Serpong:
- Sheu, G.-R., Lin, N.-H., Lee, C.-T., Wang, J.-L., Chuang, M.-T., Wang, S.-H., . . . Ou-Yang, C.-F. (2013). Distribution of atmospheric mercury in northern Southeast Asia and South China Sea during Dongsha Experiment. *Atmospheric Environment*, 78, 174-183. doi:https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.002.

- Sheu, G.-R., Phu Nguyen, L. S., Truong, M. T., & Lin, D.-W. (2019). Characteristics of atmospheric mercury at a suburban site in northern Taiwan and influence of trans-boundary haze events. *Atmospheric Environment*, *214*, 116827. doi:https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116827.
- UNEP. (2019). *Global mercury assessment 2018*. Retrieved from Geneva
- Vallero, D. (2014). *Fundamentals of Air Pollution*: Academic Press.
- Wang, C., Wang, Z., Zhang, Y., & Zhang, X. (2022). Sustained high atmospheric Hg level in Beijing during wet seasons suggests that anthropogenic pollution is continuing: Identification of potential sources. *Environmental Research*, *214*, 113814. doi:https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113814
- Watanabe. (2017). Measurement method for mercury in the ambient air Gold amalgamation trap, thermal desorption and cold vapor-atomic absorption spectrometry *Manual of Measurement Method of Hazardous Air Pollutants*. Tokyo: MoEJ.
- WHO. (1997). IARC: Mercury and Mercury Compounds.
- WHO. (2022). Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–132.
- Xiao, Z., Munthe, J., & Lindqvist, O. (1991). Sampling and determination of gaseous and particulate mercury in the atmosphere using gold-coated denuders. *Water Air & Soil Pollution*, *56*(1), 141-151.
- Yulinawati, H., Zulaiha, S., Pristianty, R., & Siami, L. (2019). *Kontribusi Metropolitan terhadap Polutan Udara Berbahaya Timbal dan Merkuri dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Batu Bara)*. Paper presented at the Seminar Nasional Pembangunan Wilayah dan Kota Berkelanjutan.
- Zhu, J., Wang, T., Talbot, R., Mao, H., Hall, C. B., Yang, X., . . . Huang, X. (2012). Characteristics of atmospheric Total Gaseous Mercury (TGM) observed in urban Nanjing, China. *Atmos. Chem. Phys.*, *12*(24), 12103-12118. doi:10.5194/acp-12-12103-2012.