

Uji Kestabilan Kadar Merkuri pada Beberapa Larutan Pengawet *Stability Test For Mercury Concentration in Several Preservative Solutions*

Ely Rahmy Tapriziah, Ernawita Nazir, dan M. Iqbal Suryatama

Pusat Standardisasi Instrumen Kualitas Lingkungan Hidup - Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kawasan PUSPIPTEK Gedung 210 Jl. Raya Serpong, Tangerang Selatan, 15310, Indonesia
E-mail: tapriziah@gmail.com

Diterima 26 Oktober 2022, direvisi 31 Oktober 2022, disetujui 12 November 2022

ABSTRAK

Uji Kestabilan Kadar Merkuri Pada Beberapa Larutan Pengawet. Merkuri merupakan satu dari lima unsur yang mudah menguap dan berbentuk cair pada temperatur kamar. Konsentrasi merkuri di lingkungan pada umumnya cukup rendah terutama di dalam air, sehingga diperlukan suatu perlakuan pengawetan pada saat pengambilan sampel untuk menjaga kestabilan konsentrasi merkuri. Tujuan uji stabilitas ini adalah untuk mengetahui pengawet mana yang paling baik dalam menjaga kestabilan konsentrasi merkuri terutama pada konsentrasi rendah antara larutan Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), larutan L-Cystiene dan larutan Bromin klorida (BrCl). Kegiatan ini dilakukan di Laboratorium Merkuri Pusat Standardisasi Instrumen Kualitas Lingkungan Hidup (PSIKLH) pada tanggal 4 Juli sampai dengan 25 Juli 2022. Dalam kajian ini dilakukan pemantauan kestabilan larutan standar Hg 1000 $\mu\text{g/L}$ dan 4 $\mu\text{g/L}$ selama 4 (empat) pekan. Larutan standar tersebut ditambahkan dengan 3 (tiga) larutan pengawet pada masing-masing labu ukur yaitu larutan L-Cysteine+ HNO_3 0,2%, larutan $K_2Cr_2O_7$ 0,05%+ HNO_3 5%, dan larutan BrCl 0,5%. Setiap larutan standar kemudian diukur menggunakan alat *mercury analyzer* dengan metode *Cold Vapour Atomic Absorption Spektrofotometer* (CVAAS). Konsentrasi larutan standar Hg 1000 $\mu\text{g/L}$ di ketiga larutan pengawet setelah percobaan selama 4 minggu masih memenuhi batas keberterimaan yaitu memiliki nilai %RSD di bawah batas *upper warning limit* (UWL) yang dipersyaratkan dalam bagan kendali (*control chart*) laboratorium, sedangkan kondisi larutan standar Hg dengan konsentrasi 4 $\mu\text{g/L}$ yang ditambahkan larutan pengawet L-Cysteine+ HNO_3 0,2% memiliki %RSD yang tidak memenuhi batas keberterimaan laboratorium. %RSD terkecil diperoleh oleh larutan standar Hg yang ditambahkan pengawet BrCl 0,5%.

Kata kunci: Merkuri, kalium dikromat, L-Cystiene, bromin klorida.

ABSTRACT

Stability Test For Mercury Concentration In Several Preservative Solutions. Mercury is one of the five elements that is volatile and liquid at room temperature. Mercury concentrations in the environment are generally quite low, especially in water, so a preservative treatment is required at the time of sampling to maintain the stability of mercury concentrations. The purpose of this stability test is to find out which preservative is the best in maintaining the stability of mercury concentrations, especially at low concentrations among Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) solution, L-Cystiene solution and Bromine chloride (BrCl) solution. This activity was carried out at the Mercury Laboratory Center for Standardization of Environmental Quality Instruments (PSIKLH) from 4 July to 25 July 2022. In this study, monitoring of the stability of standard Hg solutions of 1000 $\mu\text{g/L}$ and 4 $\mu\text{g/L}$ was carried out for 4 (four) weeks. The standard solution was added with 3 (three) preservative solutions in each volumetric flask, namely L-Cysteine + 0.2% HNO_3 solution, 0.05% $K_2Cr_2O_7$ solution + 5% HNO_3 , and 0.5% BrCl solution. Each standard solution was then measured using a mercury analyzer using the Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometer (CVAAS) method. The concentration of a standard Hg solution of 1000 $\mu\text{g/L}$ in the three preservative solutions after 4 weeks of experiment still met the acceptable limit,

namely having a %RSD value below the upper warning limit (UWL) required in the laboratory control chart, while the condition of the Hg standard solution with a concentration of 4 µg/L added with a preservative solution of L-Cysteine+HNO₃ 0.2% had %RSD which did not meet laboratory acceptance limits. The smallest % RSD was obtained by standard Hg solution added with 0.5% BrCl preservative.

Keywords: Mercury, potassium dichromate, L-Cystiene, bromine chloride.

1. Pendahuluan

Merkuri atau raksa (dalam bahasa Latin disebut *Hydrargyrum*, air/cairan perak) merupakan salah satu unsur kimia yang pada tabel periodik mempunyai simbol Hg dan nomor atom 80 (EPA, 2021). Unsur golongan logam transisi ini merupakan logam yang ada secara alami dan satu-satunya logam yang pada suhu kamar berwujud cair (Zaetun, Dewi, Sutami, & Srigede, 2015). Sifat merkuri sama dengan sifat kimia yang stabil terutama di lingkungan sedimen, yaitu mengikat protein, mudah menguap dan mengemisi atau melepaskan uap merkuri beracun walaupun pada suhu ruang (UNEP, 2018). Merkuri digunakan dalam berbagai bentuk dan untuk berbagai keperluan, seperti industri klor-alkali, produksi alat-alat listrik, pertanian (sebagai fungisida), alat-alat laboratorium, amalgam dan sebagai bahan yang sangat penting dalam penambangan emas terutama pada penambang skala kecil (Fardiaz, 1992).

Merkuri (Hg) adalah polutan global yang mengancam sumber daya air dan kesehatan manusia (Gu, Lu, Johs, & Pierce, 2019). Merkuri (Hg) dan senyawanya sangat diperhatikan karena toksisitasnya yang tinggi dan keberadaannya yang luas di lingkungan. Penggunaan merkuri oleh masyarakat sangat berdampak negatif bagi kesehatan, diantaranya dapat mengganggu sistem saraf, ginjal, pernapasan bahkan dapat mengakibatkan kanker (Edaniati & Fitriani, 2015).

Peraturan Pemerintah memasukkan merkuri (Hg) sebagai salah satu unsur Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dengan

karakteristik beracun, berdasarkan uji pada tikus dengan LD50 sebesar 37 mg/kg, karsinogenik, dan berbahaya bagi lingkungan (KLHK, 2021). Karakteristik beracun yang dimaksud adalah dapat menyebabkan kematian atau sakit yang serius apabila masuk ke dalam tubuh, melalui pernafasan, kulit atau mulut. Sifat karsinogenik, adalah salah satu pemicu pertumbuhan sel kanker yang dapat merusak jaringan tubuh. Karakteristik yang terakhir yaitu karakteristik berbahaya bagi lingkungan, karena Hg juga dapat merusak lingkungan perairan, tanah dan sedimen.

Pemantauan secara berkala harus dilakukan untuk mengantisipasi keberadaan merkuri di lingkungan, terutama di perairan. Pengujian merkuri dalam matriks air memiliki beberapa kendala karena konsentrasi merkuri yang sangat kecil. Parlemen Eropa menerapkan standar kualitas nasional untuk merkuri di dalam air sebesar 0,05 µg/L (Jena, 2020). Indonesia juga telah menetapkan nilai baku mutu merkuri untuk air sungai kelas 1 sebesar 1 µg/L (KLHK, 2021).

Toksitas Hg bergantung pada spesies, berbagai metode telah dikembangkan untuk analisis spesiasi Hg (Amde, Yin, Zhang, & Liu, 2016). Diperlukan alat uji dengan rentang kerja dalam satuan µg/L bahkan ng/L dan larutan standar yang stabil. Kestabilan dari larutan standar yang digunakan dipengaruhi oleh jenis pengawet yang dipakai dalam mengawetkan larutan standar merkuri (Jenne & Avotins, 1975). Metode pengawetan meliputi penggunaan berbagai kombinasi asam, oksidan, dan zat

pengompleks, beberapa larutan yang umum digunakan untuk mengawetkan larutan standar merkuri adalah larutan asam nitrat (HNO_3), asam klorida (HCl) (Ahmed & Stoeppler, 1987), larutan kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), larutan L-Cystiene dan larutan Bromin klorida (BrCl).

Kombinasi asam nitrat dan kalium dikromat berhasil mengawetkan merkuri dalam berbagai konsentrasi dan bentuk terlarut. Karena pengawet asam-oksidan ini bertindak sebagai penampung merkuri di udara dan wadah plastik permeabel terhadap uap merkuri, botol kaca lebih disukai untuk pengumpulan sampel (Hamlin, 1989).

Penelitian mengenai kestabilan merkuri pada larutan standar telah dilakukan sejak tahun 1970, campuran larutan HNO_3 5 % dan 0,01 % $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ mampu mengawetkan larutan standar merkuri selama 10 hari tanpa adanya penurunan (Feldman, 1974). Komposisi larutan campuran ini mampu mengawetkan larutan standar merkuri pada glass vial hingga 5 bulan (Feldman, 1974). Penelitian lain tahun 1977, memperkuat penemuan Feldman yaitu dengan penambahan larutan HNO_3 dan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, standar merkuri konsentrasi 0,2 dan 0,6 $\mu\text{g/L}$ dapat bertahan hingga 120 hari (Carron & Agemian, 1977). Selain itu, *Certified Reference Material* (CRM) total logam merkuri yang diterbitkan oleh ERA menggunakan bahan HNO_3 dan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sebagai larutan campuran pengawet merkuri (ERA, 2015).

L-Cysteine disarankan untuk digunakan bersama dengan HNO_3 sebagai pengawet larutan standar merkuri (Hamlin, 1989; Mladenova, Dakova, Tsalev, & Karadjova, 2012). Matriks cair menggunakan metode CVAAS menggunakan 10 mg L-Cysteine per liter air, sedangkan untuk matriks padatan (metode *thermal decomposition*) menggunakan 100 mg L-Cysteine per liter air. Perbedaan kuantitas ini terjadi karena pada metode *thermal decomposition*, ikatan antara Hg

dan L-Cysteine terdekomposisi sempurna karena pembakaran suhu tinggi. Menurut metode USEPA, prosedur yang digunakan untuk penentuan MeHg dalam sampel air melibatkan pengawetan dengan asam klorida (HCl , 0,4%), dan untuk penentuan T-Hg sampel dioksidasi dengan Bromin klorida (BrCl) (Braaten, de Wit, Harman, Hageström, & Larssen, 2014).

Tujuan dari kajian ini adalah untuk mengetahui kestabilan larutan standar Hg setelah ditambahkan larutan pengawet yang berbeda, serta untuk mengetahui larutan pengawet mana yang paling baik untuk menjaga kestabilan larutan standar Hg dalam waktu tertentu terutama pada konsentrasi rendah. Larutan pengawet yang digunakan adalah L-Cysteine+ HNO_3 0,2%, larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,05%+ HNO_3 5%, dan larutan BrCl 0,5% .

2. Metodologi

Dalam pelaksanaan pengambilan data, Kegiatan dilakukan di laboratorium merkuri Pusat Standardisasi Instrumen Kualitas Lingkungan Hidup (PSIKLH) pada tanggal 4 Juli sampai dengan 25 Juli 2022, dengan memantau kestabilan larutan standar Hg 1000 $\mu\text{g/L}$ dan 4 $\mu\text{g/L}$ selama waktu tertentu. Konsentrasi merkuri diukur menggunakan alat *mercury analyzer*.

Peralatan yang digunakan dalam uji coba ini adalah *NIC Mercury Analyzer RA-4500*, *magnetic stirrer bar* 40 mm, *magnetic stirrer*, botol kaca duran 100 mL, botol kaca duran 50 mL, gelas arloji, gelas ukur 50 mL, labu ukur 1 L, labu ukur 50 mL, labu ukur 100 mL, *micropipette eppendorf* 0,5-5 mL, *micropipette eppendorf* 10-100 μL , *tip eppendorf* 5 mL, *tip eppendorf* 10-100 μL , *spatula stainless steel*, *vortex*, *test tube* 15 mL. Adapun untuk bahannya adalah larutan standar merkuri 1000 ppm, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, L-Cysteine, KBr , KBrO_3 , SnCl_2 , HNO_3 , H_2SO_4 pekat (96-98%), dan HCl pekat (32%).

Pengujian dilakukan dengan mengencerkan standar induk merkuri 1000 mg/L secara bertingkat sampai diperoleh konsentrasi 1000 µg/L dan 4 µg/L. Sebanyak 3 (tiga) labu disiapkan untuk konsentrasi 1000 µg/L, dan 3 (tiga) labu untuk konsentrasi 4 µg/L. Pada masing-masing labu tersebut ditambahkan pengawet yaitu larutan L-Cysteine+HNO₃ 0,2%, larutan K₂Cr₂O₇ 0,05%+HNO₃ 5%, dan larutan BrCl 0,5%. Setiap larutan standar kemudian diukur menggunakan alat *mercury analyzer*

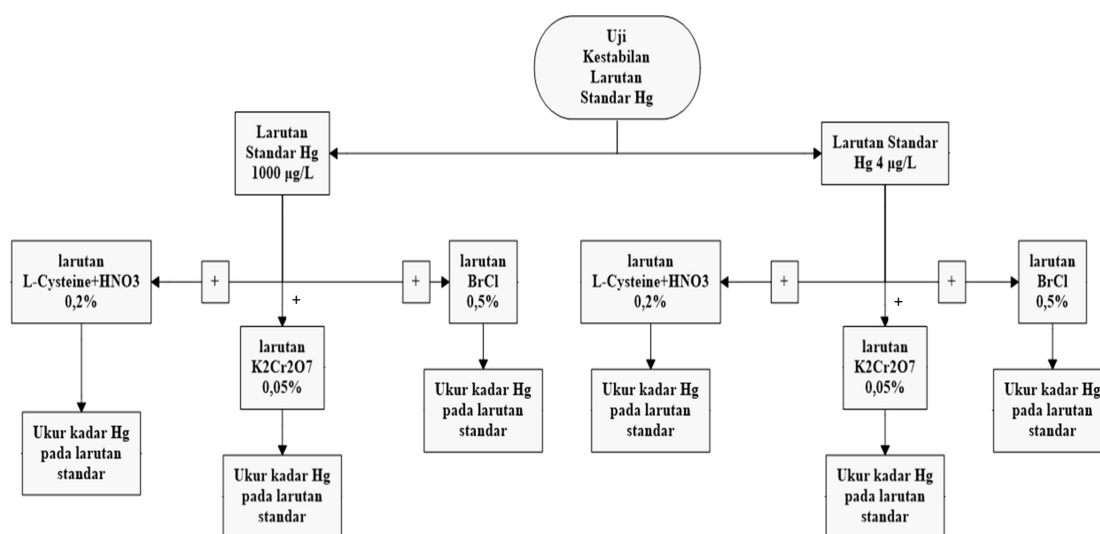
(Gambar 1) dengan metode *Cold Vapour Atomic Absorption Spektrofotometer* (CVAAS) dan dicatat hasilnya. Pengukuran diulang setiap 1(satu) minggu sekali selama 1(satu) bulan untuk melihat tren konsentrasi larutan standar Hg tersebut (Gambar 2).

3. Hasil dan Pembahasan

Kestabilan asam yang digunakan dan partikulat merkuri memiliki korelasi yang kuat dimana kedua komponen tersebut merupakan kontributor utama di matriks air



Gambar 1. Mercury Analyzer RA-4500



Keterangan : Pengukuran diulang setiap 1(satu) minggu sekali selama 1(satu) bulan

Gambar 2. Kerangka Kerja Percobaan

(Plaschke, Dal Pont, & Butler, 1997). Obyek percobaan ini adalah 2 (dua) larutan standar merkuri dengan konsentrasi yang berbeda yaitu 1000 µg/L dan 4 µg/L, terhadap larutan standar tersebut masing-masing ditambahkan larutan pengawet yaitu L-Cysteine+HNO₃ 0,2%, larutan K₂Cr₂O₇ 0,05%+HNO₃ 5%, dan larutan BrCl 0,5%.

Hasil Pengukuran Larutan Standar Hg 1000 µg/L

Data hasil pengamatan untuk larutan standar Hg 1000 µg/L dari minggu pertama sampai minggu ke empat dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1. diperoleh hasil dari ketiga larutan pengawet terhadap standar 1000 µg/L dengan masing-masing %RSD nya adalah 1,4% untuk L-Cysteine+HNO₃ 0,2%, 1,5% untuk K₂Cr₂O₇ 0,05%+HNO₃ 5% dan 1,6 % untuk BrCl 0,5%, hal ini menunjukkan bahwa dari

ketiga larutan pengawet ini memiliki nilai dibawah batas *upper warning limit* (UWL) yang dipersyaratkan dalam bagan kendali (*control chart*) laboratorium air PSIKLH yaitu %RSD < 9,4 % . Bagan kendali sebagai media untuk menilai ketepatan presisi suatu metode pengukuran (APHA, 2017).

Hasil Pengukuran Larutan Standar Hg 4 µg/L

Hasil pengamatan larutan standar Hg 4 µg/L setelah ditambahkan larutan pengawet yang berbeda selama 4 (empat) minggu berturut-turut. Tabel 2. menampilkan perubahan yang terjadi pada larutan Hg konsentrasi 4 µg/L, yang juga ditambahkan pengawet larutan L-Cysteine+HNO₃ 0,2%, larutan K₂Cr₂O₇ 0,05%+HNO₃ 5%, dan larutan BrCl 0,5.

Larutan standar Hg yang ditambahkan larutan pengawet L-Cysteine+HNO₃ 0,2% memiliki nilai %RSD yang paling tinggi

Tabel 1. Hasil Pengujian standar Hg 1000 µg/L dengan pengawet yang berbeda

Larutan Pengawet	Larutan L-Cysteine+HNO ₃ 0,2%	larutan K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,05%+HNO ₃ 5%	larutan BrCl 0,5%
Minggu ke-	Konsentrasi Hg	Konsentrasi Hg	Konsentrasi Hg
1	994,2	998,79	1026,68
2	984,4	974,10	1027,65
3	961,4	1008,4	999,77
4	980,8	988,40	1037,40
Rata-rata	980,2	992,4	1022,9
SD	13,7	14,7	16,1
%RSD	1,4	1,5	1,6

Keterangan : konsentrasi standar Hg dalam satuan µg/L

Tabel 2. Hasil Pengujian standar 4 µg/L dengan pengawet yang berbeda

Larutan Pengawet	Larutan L-Cysteine+HNO ₃ 0,2%	larutan K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,05%+HNO ₃ 5%	larutan BrCl 0,5%
Minggu ke-	Konsentrasi Hg	Konsentrasi Hg	Konsentrasi Hg
1	3,96	3,97	4,37
2	4,02	3,78	4,46
3	3,78	3,68	4,31
4	2,85	3,53	4,34
Rata-rata	3,6	3,7	4,4
SD	0,5	0,2	0,1
%RSD	13,5	4,5	1,7

Keterangan : konsentrasi standar Hg dalam satuan µg/L

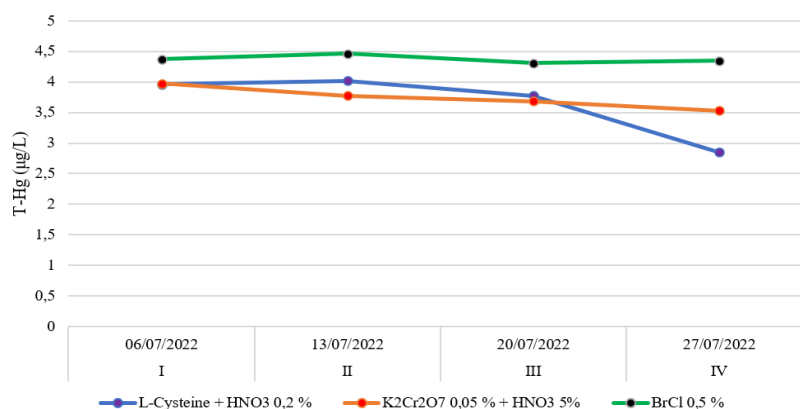
yaitu sebesar 13,5%. Nilai tersebut melebihi nilai UWL yang ada pada bagan kendali untuk pengukuran Hg di laboratorium. Hal ini dikarenakan L-Cysteine adalah nutrient berupa asam amino semiesensial (Yin *et al.*, 2016) dan larutan yang mengandung L-Cysteine hanya stabil dalam waktu 1(satu) minggu (Welz & Šucmanová, 1993). Faktor tempat penyimpanan standar juga berpengaruh karena penyimpanan larutan dalam botol polietilen densitas tinggi (HDPE) yang mengandung asam nitrat (0,15 hingga 2,0% (v/v) tidak cocok untuk pengawetan merkuri terlarut (Hg^{2+}) baik sebagai elemen tunggal atau sebagai bagian dari larutan multi-elemen. Pada konsentrasi mulai dari 0,05 hingga 10,0 $\mu g/L$ lebih dari 10% merkuri terlarut hilang dalam tiga hari pertama dan hingga 50% merkuri hilang dalam sembilan hari setelah larutan disiapkan (Louie, Wong, Huang, & Fredrickson, 2012).

Berbeda dengan larutan pengawet lainnya dimana %RSD yang terlihat pada Tabel 2. Masih berada di bawah batas UWL yaitu masing-masing sebesar 4,5 % untuk larutan $K_2Cr_2O_7$ 0,05%+ HNO_3 5% dan 1,7 % larutan BrCl 0,5%. Hasil menunjukkan bahwa larutan yang ditambahkan dengan 5% (b/b) HNO_3 dan 0,05% (b/b) $K_2Cr_2O_7$ tidak mengalami perubahan signifikan dalam kandungan nominal analit selama minimal 1 bulan.

%RSD paling rendah diperoleh oleh larutan standar Hg yang ditambahkan dengan larutan BrCl 0,5% dimana sampel merkuri dan larutan standar sangat stabil baik dalam labu kaca dan tabung PP setelah destruksi $KMnO_4-K_2S_2O_8$ atau BrCl (Zhang *et al.*, 2020). Tingkat kestabilan larutan standar Hg 4 $\mu g/L$ selama 4 minggu dengan penambahan larutan pengawet yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada percobaan ini perlu diperhatikan pula ada kontaminasi dari pereaksi dan wadah yang digunakan terutama untuk larutan standar Hg konsentrasi rendah (4 $\mu g/L$). Botol sampel yang terbuat dari polietilen densitas tinggi akan mengandung jejak klorida, titanium, dan aluminium di antara banyak lainnya yang berasal dari katalis yang digunakan dalam pembuatan polimer, begitu pula wadah kaca dapat berkontribusi terhadap nilai blanko yang tinggi. Pertimbangan ini menjadi semakin penting ketika menganalisis Hg pada tingkat mikrogram per liter (Carron & Agemian, 1977).

Perlakuan memanaskan KBr dan $KBrO_3$ pada suhu 300°C selama 1 malam serta mendekontaminasi semua peralatan yang dipakai menggunakan larutan BrCl 0,1% (Hammerschmidt, Bowman, Tabatchnick, & Lamborg, 2011) dan pembilasan wadah sampel sebelum digunakan, dengan larutan



Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian standar Hg 4 $\mu g/L$ dengan pengawet yang berbeda

BrCl 0,5 % adalah metode sederhana yang paling baik untuk mencegah kontaminasi Hg dari wadah (Hammerschmidt *et al.*, 2011) terbukti efektif untuk menghilangkan kontaminasi yaitu dengan hasil pengukuran blanko yang semula memiliki kadar merkuri sebesar 1,04 µg/L menjadi 0,007 µg/L dibawah nilai limit deteksi laboratorium untuk Hg yaitu 0,03 µg/L.

4. Simpulan

Kondisi konsentrasi larutan standar Hg 1000 µg/L di ketiga larutan pengawet setelah percobaan selama 4 minggu masih memenuhi batas keberterimaan yaitu memiliki nilai %RSD di bawah batas *upper warning limit* (UWL) yang dipersyaratkan dalam bagan kendali (*control chart*) laboratorium, sedangkan kondisi larutan standar Hg dengan konsentrasi 4 µg/L yang ditambahkan larutan pengawet L-Cysteine+HNO₃ 0,2% memiliki %RSD yang tidak memenuhi batas keberterimaan laboratorium. %RSD terkecil diperoleh oleh larutan standar Hg yang ditambahkan pengawet BrCl 0,5%.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PSIKLH atas sumber daya dan fasilitas yang tersedia.

6. Kepengarangan

Seluruh penulis berkontribusi dalam melakukan penyusunan makalah menjadi suatu kesatuan tak terpisahkan. Penulis kesatu melakukan kompilasi data dan penyusunan naskah. Penulis kedua melakukan pengolahan dan verifikasi data hasil analisis sementara Penulis ketiga melakukan pengujian dan pelaporan hasil.

Daftar Pustaka

Ahmed, R., & Stoepler, M. (1987). Storage and stability of mercury and methylmercury in

sea water. *Analytica Chimica Acta*, 192, 109-113.

- Amde, M., Yin, Y., Zhang, D., & Liu, J. (2016). Methods and recent advances in speciation analysis of mercury chemical species in environmental samples: a review. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 28(1-4), 51-65. doi:10.1080/09542299.2016.1164019.
- APHA. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Carron, J., & Agemian, H. (1977). Preservation of sub-ppb levels of mercury in distilled and natural fresh waters. *Analytica Chimica Acta*, 92(1), 61-70.
- Edaniati, E., & Fitriani, F. (2015). Analisis perilaku masyarakat terhadap dampak merkuri untuk kesehatan di Gampong Cot Trap Kecamatan Teunom Kabupaten Aceh Jaya Tahun 2014. *J-Kesmas: Jurnal Fakultas Kesehatan Masyarakat*, 2(2), 8-31.
- EPA. (2021). Basic Information about Mercury Retrieved from <https://www.epa.gov/>
- ERA. (2015). Safety data sheet mercury, WasteWatR™. Golden, Colorado: ERA.
- Fardiaz, S. (1992). *Polusi air dan udara* (Vol. 1): Kanisius.
- Feldman, C. (1974). Preservation of dilute mercury solutions. *Analytical Chemistry*, 46(1), 99-102.
- Gu, B., Lu, X., Johs, A., & Pierce, E. M. (2019). Mercury in Water *Encyclopedia of Water* (pp. 1-18).
- Hamlin, S. N. (1989). Preservation of samples for dissolved mercury 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 25(2), 255-262.
- Hammerschmidt, C. R., Bowman, K. L., Tabatchnick, M. D., & Lamborg, C. H. (2011). Storage bottle material and cleaning for determination of total mercury in seawater. *Limnology and Oceanography: Methods*, 9(10), 426-431.
- Jena. (2020). Determining mercury in environmental waters. Retrieved from <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=19645>.
- Jenne, E., & Avotins, P. (1975). The time stability of dissolved mercury in water samples—I. Literature review. *Journal of Environmental Quality*, 4(4), 427-431.

- KLHK. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021*. Jakarta.
- Louie, H., Wong, C., Huang, Y. J., & Fredrickson, S. (2012). A study of techniques for the preservation of mercury and other trace elements in water for analysis by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). *Analytical Methods*, 4(2), 522-529. doi:10.1039/C2AY05182F.
- Mladenova, E., Dakova, I., Tsalev, D., & Karadjova, I. (2012). Mercury determination and speciation analysis in surface waters. *Open Chemistry*, 10(4), 1175-1182.
- Plaschke, R., Dal Pont, G., & Butler, E. C. V. (1997). Mercury in waters of the derwent estuary—Sample treatment and analysis. *Marine Pollution Bulletin*, 34(3), 177-185. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(96\)00085-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(96)00085-9).
- UNEP. (2018). Global mercury assessment. Retrieved from <https://www.unenvironment.org/resources/publication/global-mercury-assessment-2018>
- Welz, B., & Šucmanová, M. (1993). L-cysteine as a reducing and releasing agent for the determination of antimony and arsenic using flow injection hydride generation atomic absorption spectrometry—Part 1. Optimization of the analytical parameters. *Analyst*, 118(11), 1417-1423.
- Yin, J., Ren, W., Yang, G., Duan, J., Huang, X., Fang, R., . . . Hou, Y. (2016). l-Cysteine metabolism and its nutritional implications. *Molecular Nutrition & Food Research*, 60(1), 134-146.
- Zaetun, S., Dewi, L. B. K., Sutami, N. L. P. S. A., & Srigede, L. (2015). Gambaran kadar merkuri (hg) dengan pemberian tanaman Eceng Gondok (*Echorina crassipes*) menggunakan metode spektrofotometer UV-Vis. *Jurnal Riset Kesehatan*, 4(1), 700-707.
- Zhang, J., Chao, J., Tang, Y., Wan, P., Yang, X. J., Wong, C., . . . Hu, Q. (2020). Quantification of trace mercury in water: solving the problem of adsorption, sample preservation, and cross-contamination. *Global Challenges*, 4(1), 1900061.