



**KOVALEN: Jurnal Riset Kimia**

<https://bestjournal.untad.ac.id/index.php/kovalen>



## Spesiasi dan Bioavailabilitas Merkuri dalam Sedimen Teluk Palu Pasca Gempa dan Tsunami dengan Metode *Diffusive Gradient in Thin Film* (DGT)

[Speciation and Bioavailability of Mercury in Palu Bay Sediments Post Earthquake and Tsunami Using the Diffusive Gradient in Thin Film (DGT) Method]

Husain Sosidi, Khairuddin, Putri Dwiyana, Ruslan✉

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tadulako, Jl. Soekarno-Hatta Km. 9, Kampus Bumi Tadulako, Palu,

**Abstract.** Speciation and bioavailability of mercury in the sediments of Palu Bay after the earthquake and tsunami were conducted using fractionation and Diffusion Gradient in Thin Films (DGT). This method has been conducted using sediment samples from the estuary of the Pondo River, Palu. Heavy metal speciation of mercury ions was conducted by looking at the distribution of mercury ions in various species by sequential extraction and heavy metal bioavailability of mercury ions. This method was conducted by looking at the migration of mercury ions from sediments into the seawaters using a Diffusive Gradient in Thin Films (DGT). The speciation of mercury ions concentration with sequential extraction as EFLE (easily, freely, leachable, exchangeable) fraction is about  $< 0.0005$  ppm, the oxidizable fraction is about  $< 0.0005$  ppm and the resistant fraction is between  $< 0.0005$  ppm to  $0.0063$  ppm. The results of DGT experiments to study the migration of mercury ions from sediments into the seawaters during 3 days of immersion is between  $0.01003$  ppm and  $0.01748$  ppm. The availability of mercury ions concentration in the sediments allows for the migration of mercury ions into water.

**Keywords:** Sediment, mercury ions, speciation, bioavailability, DGT

**Abstrak.** Spesiasi dan bioavailabilitas merkuri dalam sedimen Teluk Palu pasca Gempa dan Tsunami dengan metode fraksinasi dan metode *Diffusive Gradient in Thin Film* (DGT), dengan sampel sedimen yang berasal dari muara Sungai Pondo, Palu. Metode ekstraksi sekuensial digunakan untuk melakukan spesiasi dan *Diffusive Gradient in Thin Film* (DGT) untuk melihat potensi migrasi ion logam berat merkuri. Spesiasi ion logam berat merkuri dalam sedimen sebagai fraksi EFLE (*easily, freely, leachable, exchangeable*)  $< 0,0005$  ppm, fraksi oxidisable  $< 0,0005$  ppm, dan fraksi resistant antara  $< 0,0005$  sampai  $0,0063$  ppm. Hasil penentuan migrasi ion mekruri dari sedimen ke badan air dengan perendaman DGT selama 3 hari berkisar antara  $0,01003$  sampai  $0,01748$  ppm. Konsentrasi ion merkuri dalam sedimen cukup memungkinkan adanya migrasi ion logam ke badan air.

**Kata kunci:** Sedimen, ion merkuri, spesiasi, bioavailabilitas, DGT

Diterima: 16 Juli 2024, Disetujui: 23 Agustus 2024

Sitasi: Sosidi, H., Khairuddin., Dwiyana, P., dan Ruslan (2024). Spesiasi dan Bioavailabilitas Merkuri dalam Sedimen Teluk Palu Pasca Gempa dan Tsunami dengan Metode *Diffusive Gradient in Thin Film* (DGT). *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 10(2), 175-184.

✉ Corresponding author

E-mail: [Ruslan@untad.ac.id](mailto:Ruslan@untad.ac.id)

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2024.v10.i2.17264>



2477-5398/ © 2024 Sosidi et al.  
This is an open-access article under the CC BY-SA license.

## LATAR BELAKANG

Secara geografis, pesisir Teluk Palu terletak antara 119°52' Bujur Timur dan 119°49' Bujur Timur dengan garis lintang 0°52'45" Lintang Selatan dan 0°51'19" Lintang Selatan. Sedikitnya terdapat 15 sungai yang mengalir ke Teluk Palu dan memanjang di sepanjang pesisir, mulai dari Tanjung Karang sampai Pelabuhan Pantoloan dengan panjang  $\pm$  50 km. Khusus di sepanjang daerah aliran sungai yang bermuara di Pantai Talise, terdapat banyak kegiatan penambangan emas dan sebagian di antaranya menggunakan proses amalgamasi, yaitu proses pemisahan dengan menggunakan merkuri untuk memperoleh emas. Dalam proses ini, sungai dimanfaatkan sebagai tempat pembuangan limbah.

Kajian kadar ion logam Hg di perairan Teluk Palu pertama kali dikemukakan oleh Ruslan dan Khairuddin (2010). Hasil penelitian mereka mengungkapkan bahwa sebagian konsentrasi ion logam merkuri di beberapa titik pengambilan sampel operasi penambangan Emas Poboya telah melampaui batas konsentrasi maksimum yang diperbolehkan dan telah melampaui konsentrasi maksimum baku mutu yang dipersyaratkan untuk air, sedimen, limbah cair, dan limbah padat, sedemikian rupa sehingga kondisinya tidak lagi aman.

Mirdat, dkk (2013) melaporkan bahwa kandungan ion logam Hg di lokasi pengolahan peleburan emas Kelurahan Poboya Kota Palu dalam tanah sangat tinggi yaitu 0,057 – 8,19 mg/kg, daerah ini merupakan daerah aliran Sungai Pondo yang bermuara di Teluk Palu. Menurut Purnawan dkk (2013), sedimen di muara Sungai Pondo Teluk Palu mengandung ion logam Hg dengan kisaran konsentrasi 0,0103 – 0,185 mg/kg yang masih di bawah

ambang batas baku mutu. Dari hasil penelitian Paundanan, dkk (2015) di perairan Teluk Palu rata-rata konsentrasi ion logam Hg melebihi baku mutu yang ditetapkan, sedangkan pada sedimen masih di bawah baku mutu. Pada seluruh organ ikan yang diteliti rata-rata konsentrasi ion logam Hg berada di bawah baku mutu.

Khairuddin dan Ruslan (2018) terhadap konsentrasi ion logam Hg di perairan Teluk Palu dengan menggunakan metode DGT yang dilakukan sebelum terjadinya Gempa dan Tsunami di Teluk Palu menunjukkan massa ion logam Hg yang terikat pada resin gel dengan konsentrasi ion logam Hg pada perairan adalah kisaran 3,502 – 3,507  $\mu\text{g/L}$ . Pencemaran pada perairan yang disebabkan oleh Ion logam Hg telah banyak diteliti menggunakan berbagai teknik pengukuran, salah satunya metode DGT secara *in situ*.

Merkuri toksik dan tidak toksik tidak dapat dibedakan dengan mengukur konsentrasi total merkuri di lingkungan perairan, namun analisis spesiasi dapat mengkuilifikasi keberadaan merkuri dengan tingkat toksisitasnya di lingkungan (Kristianingrum, 2007). Penerapan spesiasi yang paling umum adalah untuk menunjukkan aktivitas analitis dan mengukur distribusinya. Oleh karena itu, sebaran spesies dalam suatu sampel digambarkan dengan istilah spesiasi. Spesiasi dapat terjadi dalam berbagai bentuk kimia, seperti komposisi isotop, bilangan oksidasi, dan jenis ligan (Kiss et al., 2017).

Spesiasi ion logam berat dalam media lingkungan (air, tanah, dan sedimen) dapat menjadi dasar penentuan bioavailabilitasnya. Bioavailabilitas adalah ketersediaan logam yang diserap oleh hayati dan dapat mengubah karakteristik fisiknya sehingga memunculkan

efek toksik (Benard & Neff, 2001). Metode DGT memudahkan penentuan spesies ion logam tertentu untuk menentukan bioavailabilitas logam di lingkungan perairan (Davison & Zhang, 1994; Unsworth, dkk., 2006)

Berdasarkan uraian di atas maka spesiasi dan bioavailabilitas memiliki keterkaitan, yakni spesiasi dapat digunakan untuk memperkirakan bioavailabilitas pada suatu komponen perairan (Siaka dkk, 2020). Upaya untuk mengetahui spesiasi dan bioavailabilitas ion logam merkuri dalam sedimen Teluk Palu pasca Gempa dan Tsunami agar dapat mempertahankan ekosistem dengan metode ekstraksi sekuensial hingga pengukuran migrasi ion logam dari sedimen ke air laut dengan metode DGT. Metode DGT sendiri di Indonesia belum banyak dipergunakan untuk analisis bioavailabilitas logam.

## METODE PENELITIAN

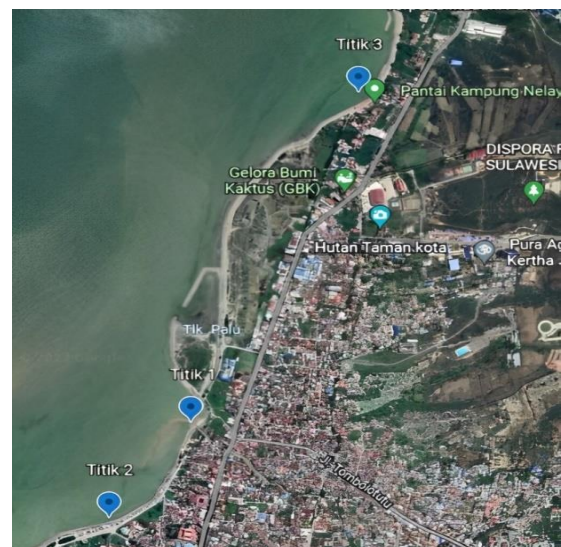
### Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan adalah akuades,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  glasial (p.a Merck),  $\text{HNO}_3$  (p.a Merck),  $\text{H}_2\text{O}_2$  50%, larutan akuaregia,  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  (p.a Merck), larutan standar merkuri 1000 ppm, resin 3-merkaptopropil terikat silika gel, kertas saring whatman, benang dan tisu.

Alat yang digunakan adalah alat-alat penunjang yang ada di laboratorium, shaker, sentrifuge, pH meter, neraca analitik, hot plate, penangas air, spatula plastik, lumpang dan alu, *sediment grab*, seperangkat alat *Diffusive Gradient in Thin Film* (DGT) (Research, Lancaster, UK) dan *Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES).

### Prosedur Penelitian

Lokasi pengambilan sampel yaitu muara sungai yang diduga tercemar oleh ion logam merkuri sekitar muara Sungai Pondo, Pantai Talise. Sedimen diambil dengan menggunakan alat *Sediment Grab* di 3 titik. Sampel sedimen tersebut dimasukkan ke dalam plastik polietilen, kemudian disimpan dalam freezer agar tetap dingin untuk mengurangi oksidasi logam berat sebelum diuji di laboratorium. Pengambilan sampel dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali.



**Gambar 1.** Peta lokasi sampling di kampung Nelayan kelurahan Talise.

1. Titik 1 muara sungai pondo pada  $0^{\circ}52'46,213^{\circ}\text{S}$   $119^{\circ}52'15,133^{\circ}\text{E}$
2. Titik 2 sebelah selatan pada  $0^{\circ}53'2,853^{\circ}\text{S}$   $119^{\circ}52'5,327^{\circ}\text{E}$
3. Titik 3 sebelah utara pada  $0^{\circ}51'51,422^{\circ}\text{S}$   $119^{\circ}52'39,191^{\circ}\text{E}$ .

### Spesiasi Logam Hg

Proses ekstraksi kimia akan diterapkan pada semua perlakuan, yaitu sampel sedimen akan mengalami perlakuan tahapan ekstraksi sekuensial (*sequential extraction*) yang merupakan adopsi metode Tessier yang telah dimodifikasi

**Ekstraksi tahap 1 (fraksi EFLE)**

Sebanyak 5 g sampel sedimen ditambahkan 25 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M, dikocok selama 3 jam. Selanjutnya, disentrifugasi dan supernatannya didekantasi dan disaring. Supernatan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan akuades. Logam Hg dalam filtrat diukur dengan ICP-OES.

**Ekstraksi tahap 2 (fraksi oxidisable)**

Residu dari ekstraksi tahap 1 dicuci dengan akuades. Setelah itu, 10 mL larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  8,8 M ditambahkan dan dipanaskan dalam penangas air pada suhu  $85^\circ\text{C}$ . Larutan tersebut kemudian ditambah 20 mL  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  1 M, diatur sehingga pHnya 2 dengan menambahkan  $\text{HNO}_3$ , kemudian dikocok selama 3 jam lalu disentrifugasi dan disaring. Filtrat diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 50 mL, lalu logam Hg diukur dengan ICP-OES.

**Ekstraksi tahap 3 (fraksi resistant)**

Residu dari ekstraksi tahap 2 dicuci dengan akuades kemudian ditambah 10 mL larutan akuaregia, campuran tersebut dipanaskan di atas hotplate dengan suhu  $140^\circ\text{C}$ . Larutan disaring, kemudian filtrat yang diperoleh diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 50 mL. Larutan tersebut diukur dengan ICP-OES.

**Analisis Sampel menggunakan DGT (Zhang, 1995)**

Sampel sedimen dari tiga titik yang telah lolos ayakan 60 mesh masing-masing diambil sebanyak 500 g, lalu basahkan sedimen dengan sedikit air laut. Perendaman DGT dilakukan dengan prosedur sebagai berikut : Pasangkan benang pada lubang di dasar DGT kemudian segera tenggelamkan dalam sedimen. Selama waktu perendaman, pastikan

seluruh unit DGT terendam (3 hari). Resin gel setelah perendaman diambil dengan memutar sekrup penutup. Tutup yang telah terbuka dibersihkan, kemudian lepaskan filter dan lapisan difusi gel dan lapisan gel paling bawah yaitu resin gel. Resin gel ditambahkan 10 mL larutan  $\text{HNO}_3$  1 M dalam tabung sampel yang bersih dan campuran dibiarkan terelusi selama 24 jam. Kemudian alikuot hasil elusi  $\text{HNO}_3$  diambil untuk pembuatan adisi standar.

**Pembuatan Kurva Adisi Standar (SNI 6989.78:2011)**

Sebanyak 2 mL larutan hasil elusi dipindahkan kedalam tiga buah labu ukur 50 mL lalu ditambahkan larutan standar Hg 1000 ppm ke dalam masing-masing labu yaitu sebanyak 0,5; 0,75; dan 1 mL. Masing-masing labu ukur tersebut ditambahkan akuades hingga tanda batas, sehingga konsentrasi masing-masing yaitu 10; 15; dan 20 ppm. Sampel selanjutnya dianalisis dengan ICP-OES.

**Analisis Kadar Hg dengan ICP-OES**

Sampel uji yang diperoleh dari perlakuan ekstraksi dan DGT diinjeksikan ke alat ICP-OES. Disiapkan larutan  $\text{SnCl}_2$  2% dan HCl : aquadem (1:1). Larutan sampel,  $\text{SnCl}_2$  2% dan HCl : aquadem (1:1) diinjeksikan ke alat ICP-OES dalam waktu yang sama (Wijaya, 2013). Uji kuantitatif merkuri dalam sampel dilakukan dengan mengamati konsentrasi masing-masing sampel pada panjang gelombang 184,950 nm. Setelah itu didapatkan konsentrasi merkuri (ppm).

**HASIL DAN PEMBAHASAN****Hasil Uji Ekstraksi Sekuensial Distribusi Logam berat Hg dalam Sedimen**

Merkuri yang secara alami berada di alam sangatlah sedikit. Merkuri berasal dari

aktivitas gunung berapi, rembesan air tanah melalui daerah yang mengandung merkuri. Kandungan merkuri bertambah setelah banyaknya kegiatan manusia yang menggunakan merkuri sebagai bahan industri (Darmono, 2001). Selain faktor alam, kegiatan yang menghasilkan limbah merkuri dapat berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi merkuri di lingkungan seiring dengan pertambahan penduduk dan kemajuan teknologi.

Merkuri yang memasuki ekosistem perairan akan mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi sehingga membahayakan baik manusia yang akan mengonsumsi spesies tercemar tersebut maupun organisme perairan yang berada disekitarnya. Logam akan mengendap jika konsentrasi logam lebih besar dari kelarutan komponen terendah yang dihasilkan antara logam dan asam yang ada dalam air seperti karbonat, hidroksil dan klorida (Ruslan dan Khairuddin, 2010). Sebaran ion logam Hg dalam sedimen pada tingkat fraksinasi yang berbeda ditunjukkan dengan pengukuran menggunakan metode ekstraksi sekuensial yang dilakukan pada setiap titik lokasi sampel. Metode Tessier yang telah dimodifikasi digunakan untuk mengidentifikasi spesiasi ion logam Hg dalam sedimen Teluk Palu pasca Gempa dan Tsunami.

Ekstraksi sekuensial dengan menggunakan berbagai jenis pereaksi untuk mengevaluasi mobilitas logam berat dalam sedimen. Spesies logam dapat digunakan untuk mengidentifikasi ion logam yang *bioavailable*, berpotensi *bioavailable*, dan *non bioavailable*. Ion logam Hg yang berada pada fraksi 1 (EFLE) adalah ion logam yang bersifat *bioavailable*, logam yang berada pada fraksi 2 adalah ion logam yang berpotensi *bioavailable*,

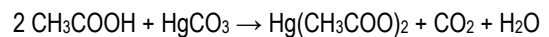
dan yang berada pada fraksi 3 (*resistant*) adalah ion logam yang tidak *bioavailable*.

**Tabel 1.** Distribusi kadar ion logam Hg dalam sedimen berdasarkan tahapan ekstraksi

No	Ekstraksi	Kadar ion Hg pada Lokasi (ppm)		
		I	II	III
1	F1	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
2.	F2	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
3.	F3	< 0,0005	0,0063	0,0052

**Fraksi 1 (Easily Freely Leachable and Exchangable)**

Fraksi dengan ikatan paling tidak stabil seperti ikatan ionik, ikatan karbonat, ikatan kompleks ionik dan ikatan yang mudah ditukar dihasilkan melalui ekstraksi pada tahap pertama. Ion logam Hg pada fraksi 1 merupakan ion logam yang *bioavailable* dan diklasifikasikan sebagai logam berbahaya bagi lingkungan sekitarnya. Hasil ekstraksi menggunakan asam asetat glasial yang merupakan hasil pemutusan senyawa karbonat diperoleh konsentrasi ion Hg dalam sedimen yaitu < 0,0005 ppm. Distribusinya hampir merata untuk setiap titik sampel. Penggunaan asam asetat glasial pada fraksi ini diprediksi dapat melarutkan ion logam Hg yang berikatan dalam bentuk karbonat tanpa merusak spesies lain yang ada di sedimen. Reaksi yang terjadi pada fraksi ini adalah :



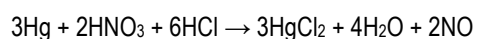
Secara alami reaksi ini dapat disebabkan oleh perubahan kondisi lingkungan seperti pH, gelombang laut dan faktor lainnya. Oleh karena itu, fraksi ini mudah terlepas ke badan air (*available*).

### Fraksi 2 (Oxidizable)

Ekstraksi tahap kedua yaitu mengekstrak ion logam yang berikatan dengan senyawa organik atau dalam bentuk sulfida. Sedimen diekstraksi dengan menggunakan hidrogen peroksida yang merupakan oksidator kuat, pada kondisi teroksidasi materi organik dan sulfida yang terikat dengan logam dapat dilepaskan. Amonium asetat ditambahkan ke dalam larutan untuk membantu melarutkan ion logam yang telah dibebaskan dari ikatan molekul organik. Ion logam pada fraksi ini berpotensi *bioavailable* dan akan menjadi *bioavailable* jika zat pengoksidasi kuat mengenai sedimen di lingkungan tersebut (Gasparatos dkk. 2005). Kadar ion logam Hg dalam sedimen yang terekstraksi pada fraksi ini yaitu < 0,0005 ppm di setiap titik sampel.

### Fraksi 3 (Resistant)

Ekstraksi tahap akhir yaitu untuk menentukan fraksi *resistant*. Fraksi ini terdiri dari kumpulan logam yang terikat kuat pada mineral sedimen dan memiliki sifat stabil. Oleh karena sifat ikatan tersebut, maka fraksi ini disebut *non bioavailable*. Berdasarkan hasil yang diperoleh kadar ion logam Hg pada titik I sebesar < 0,0005, pada titik II sebesar 0,0063 dan pada titik III sebesar 0,0052 ppm. Penggunaan akuaregia untuk mereduksi semua jejak logam yang terdapat dalam sedimen (fraksi sisa). Reaksi yang terjadi pada fraksi ini adalah:



Keberadaan ion logam pada fraksi ini tidak perlu dikhawatirkan karena bersifat *non bioavailable*. Ion logam pada spesies ini merupakan hasil dari kontaminasi alami, seperti pelapukan / fragmentasi batuan atau penguraian kristal silikat dalam batuan (Yap dkk., 2003).

Hasil yang telah diperoleh dari setiap tahapan ekstraksi pada Tabel 2 distribusi ion logam berat Hg dalam sedimen yaitu, < 0,0005 ppm pada setiap titik dalam senyawa karbonat (fraksi 1), < 0,0005 ppm pada setiap titik dalam senyawa sulfida (fraksi 2) dan yang terikat kuat pada senyawa silika (fraksi 3) yaitu, < 0,0005 ppm pada titik I, 0,0063 ppm pada titik II dan 0,0052 pada titik III. Pola penyebaran spesiasi ion logam Hg secara umum pada sedimen di perairan Teluk Palu pasca Gempa dan Tsunami adalah Fraksi 3 > Fraksi 1 = Fraksi 2. Berdasarkan hal tersebut dapat dilihat bahwa pola penyebaran ion Hg dalam sedimen yang bersifat *bioavailable* relatif rendah.

Berdasarkan *International Association of Dredging Companies (IADC)/Central Dredging Association (CEDA) 1997* tentang batas cemaran logam merkuri pada sedimen yaitu 1,6 mg/L. Pada hasil ini dapat dikatakan bahwa ion logam berat Hg yang bersifat *bioavailable* maupun yang berpotensi *bioavailable* di sedimen Teluk Palu masih berada di bawah baku mutu. Penelitian Paundanan, dkk (2015) melaporkan bahwa konsentrasi ion logam Hg pada organ ikan yang berada di perairan Teluk Palu masih berada di bawah baku mutu. Pada merkuri yang bersifat *non bioavailable* atau yang terikat kuat pada batuan sedimen di Teluk Palu juga masih berada di bawah baku mutu. Berdasarkan paparan distribusi ion logam Hg dalam sedimen di Teluk Palu pasca Gempa dan Tsunami bahwa migrasi ion logam Hg dari sedimen ke badan air (air laut) memiliki potensi yang masih sangat kecil.

### Kadar Hg dalam Sedimen

Metode ekstraksi sekuensial didapatkan gambaran distribusi merkuri pada sedimen Teluk Palu dengan hasil kadar ion logam Hg berkisar antara  $0,0063 \leq \text{Hg} < 0,0005$  ppm.

**Tabel 2.** Kadar ion logam Hg dalam sedimen (ppm)

Ekstraksi	Perlakuan		Rata-rata
	I	II	
Titik I	Fraksi 1	<0,0005	<0,0005
	Fraksi 2	<0,0005	<0,0005
	Fraksi 3	<0,0005	<0,0005
Titik II	Fraksi 1	<0,0005	<0,0005
	Fraksi 2	<0,0005	<0,0005
	Fraksi 3	<0,0005	0,0063
Titik III	Fraksi 1	<0,0005	<0,0005
	Fraksi 2	<0,0005	<0,0005
	Fraksi 3	<0,0005	0,0052

Berdasarkan Tabel 2. kadar merkuri dalam sedimen masih tergolong rendah. Pada perlakuan kedua terdeteksi ion logam Hg di fraksi 3 sebesar 0,0063 ppm pada titik II dan sebesar 0,0052 ppm pada titik III. Akumulasi konsentrasi ion logam merkuri pada sedimen di ketiga titik dengan berbagai tingkatan fraksi menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata antara titik yang dekat muara maupun yang jauh. Secara zonasi konsentrasi rata-rata ion Hg dalam sedimen menunjukkan Titik II > Titik III > Titik I. Pencemaran ion logam merkuri diduga tidak hanya disebabkan oleh kegiatan penambangan di Poboya, tetapi juga dapat disebabkan oleh pelapukan batuan, peralatan listrik, obat-obatan yang dibuang langsung ke lingkungan sekitar (Ruslan dan Khairuddin 2010).

Perbedaan kandungan ion logam Hg dalam sedimen di setiap titik diduga karena adanya faktor pencemar yang berasal dari darat seperti limbah dari aktivitas pemukiman, perhotelan, SPBU, pusat perbelanjaan dan PLTU. Kandungan ion logam Hg dalam sedimen diduga juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kecepatan arus dan jenis sedimen yang lebih dominan berpasir. Menurut Binal Amin (2002) bahwa jenis sedimen dapat mempengaruhi kadar logam

berat dengan kateogri kadar logam berat pada lumpur > lumpur berpasir > berpasir. Faktor lainnya adalah kandungan ion logam Hg dalam sedimen dipengaruhi oleh kedalaman, jarak pantai dan ukuran butir sedimen.

Kadar merkuri pada sedimen di sekitar muara Sungai Pondo relatif rendah dan masih aman bagi biota laut. Menurut penelitian Paundanan, dkk (2015) melaporkan bahwa kandungan Hg dalam sedimen di muara Sungai Pondo sebelum terjadinya peristiwa Gempa dan Tsunami di Teluk Palu berkisar antara 0,017 – 0,287 mg/kg (masih berada di bawah ambang batas baku mutu). Cemaran merkuri di Teluk Palu pasca Gempa dan Tsunami ini menunjukkan telah mengalami penurunan dibandingkan sebelum terjadinya Gempa dan Tsunami, hal ini dapat terjadi karena adanya perubahan lapisan sedimen bawah laut yang dipengaruhi oleh longsor bawah laut.

#### Hasil Penentuan Migrasi Ion Logam Hg dari Sedimen ke Air Laut

Berdasarkan gambaran sebaran ion logam Hg dengan metode ekstraksi di atas, maka kemampuan logam berat untuk bermigrasi dari sedimen ke air laut masih relatif kecil, namun seiring dengan perkembangan industri di Kota Palu tidak menutup kemungkinan terjadinya penumpukan logam Hg yang lebih besar di dalam sedimen. Rendahnya kadar merkuri pada sedimen tetap perlu diwaspadai karena sifat merkuri yang akumulatif sehingga berbahaya bagi biota yang hidup di sekitar daerah cemarannya. Oleh sebab itu pentingnya mengembangkan metode untuk melihat potensi *bioavailable* logam dengan metode *Diffusive Gradient in Thin Film* (DGT).

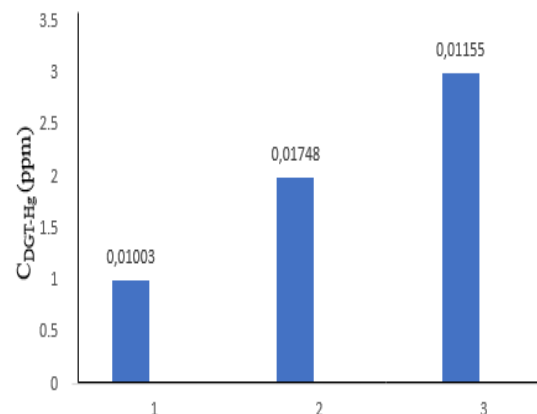
Perangkat DGT terdiri dari lapisan hidrogel membran yang saling menempel,

tetapi hanya membran penyaring yang bersentuhan langsung dengan sedimen pada saat pengaplikasian. Ion logam akan berdifusi melalui membran pendifusif, setelah itu akan terperangkap pada binding gel. Binding gel yang digunakan mengandung resin tiol (-SH) yang dikembangkan untuk pengukuran spesies ion logam Hg. Tiol adalah senyawa yang mengandung gugus fungsi -SH yang merupakan analog sulfur dari gugus hidroksil atau alkohol. Afinitas yang besar dari anion tiolat terhadap logam berat yang terdapat pada gugus tiol menjadi keunggulan penggunaan binding gel tersebut (Wermuth, 2003). Mousavi (2015) juga menjelaskan hukum asam dan basa keras lunak yang memprediksi bahwa asam lunak (Hg) dan basa lunak (-SH) akan memiliki interaksi yang kuat.

Perhitungan  $C_{DGT}$  melibatkan massa logam yang terserap, ketebalan membran penyaring dan difusi gel, waktu aplikasi, luas permukaan membran, serta koefisien difusi. Metode adisi standar yang melibatkan penambahan larutan standar yang diketahui konsentrasinya pada sampel yang akan dianalisis digunakan untuk menentukan konsentrasi hasil elusi pada DGT. Adapun tujuan dari penggunaan metode adisi standar karena kadar logam Hg pada fraksi yang mudah lepas pada hasil ekstraksi sekuensial relatif kecil sehingga dimungkinkan tidak dapat terlihat ion logam yang bersifat *bioavailable* atau ion logam yang memiliki potensi untuk bermigrasi dari sedimen ke badan air. Data yang diperoleh pada penenggelaman DGT selama 3 hari dengan metode adisi standar ditunjukkan pada Gambar 2.

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Gambar 2 didapatkan  $C_{DGT}$  ion logam Hg yang memiliki sifat *bioavailable* dan berpotensi

mengalami migrasi dari sedimen ke air laut pada Titik I yaitu 0,01003 ppm, pada Titik II yaitu 0,01748 dan pada Titik III yaitu 0,01155 ppm. Secara zonasi konsentrasi konsentrasi ion logam Hg menunjukkan Titik II > Titik III > Titik I hal ini sesuai seperti distribusi ion logam Hg dalam sedimen menggunakan metode ekstraksi sekuensial. Menurut Khairuddin dan Ruslan (2018) konsentrasi merkuri diperairan Teluk Palu dengan menggunakan metode *Diffusive Gradient in Thin Film* (DGT) yang dilakukan sebelum terjadinya Gempa dan Tsunami menunjukkan konsentrasi Hg pada perairan berkisar 3,502 – 3,507 ppm. Sedangkan menurut penelitian Paundanan, dkk (2015) konsentrasi rata-rata Hg pada organ ikan yang berada di perairan Teluk Palu yaitu 0,028 – 0,166 mg/kg (masih berada dibawah baku mutu).



**Gambar 2.** Hubungan lokasi sampel Vs  $C_{DGT-Hg}$

Konsentrasi ion logam Hg yang berhasil diserap DGT jauh lebih tinggi karena perangkat tersebut hanya dapat menyerap spesi ion logam yang bersifat tidak stabil atau kompleks logam yang terikat lemah. Oleh karena itu, ion Hg yang berhasil diserap pada DGT dianggap sebagai ion bebas Alkil Hg ataupun  $Hg^{2+}$  dalam bentuk unsur. Namun, jika dikaitkan dengan sejarah lokal penambangan di sepanjang daerah aliran sungai yang bermuara ke Teluk



Palu, maka hal ini diduga karena endapan limbah logam Hg yang terjadi selama bertahun-tahun akibat maraknya tambang emas tradisional masyarakat berhasil terionisasi dengan bantuan mikroorganisme dalam sedimen. Selain itu selektivitas dari binding gel 3-merkaptopropil terikat silika gel sangat baik dalam melakukan proses penyerapan Hg pada sedimen tercemar.

Berdasarkan Gambar 2 dapat dikatakan bahwa ion logam Hg akan mengalami migrasi dari sedimen ke badan air atau dengan asumsi bahwa ion logam diserap oleh DGT, maka hal ini dapat dimungkinkan pula terjadi pada kondisi lingkungan perairan yang sebenarnya, bahwa logam berat merkuri yang memasuki perairan akan berikatan dengan unsur lain dalam air laut membentuk merkuri organik dan anorganik yang bersifat labil dan akan mudah mengalami migrasi dari sedimen ke badan air kemudian diserap oleh biota laut.

### Bioavailabilitas Merkuri dalam DGT

Kandungan logam dalam resin (Ce) secara akurat menggambarkan keberadaan logam dari sedimen ke badan air dan zat padat dalam perairan, yang digunakan untuk menentukan bioavailabilitas logam berat terhadap mikroorganisme maupun biota dalam lingkungan perairan. Menurut prinsip kerja perangkat DGT, konsentrasi efektif untuk tujuan bioavailabilitas adalah jumlah maksimum logam yang dapat melewati serat selulosa dan diserap ke dalam gel pendifusif yang merupakan gambaran dari kemungkinan terburuk yang dapat terjadi bagi biota dan mikroorganisme yang hidup di perairan.

Penggunaan DGT dapat menjadi alat menjanjikan untuk mempelajari konsentrasi *bioavailable* logam tetapi harus digunakan dengan hati-hati dalam kondisi pH asam. Selain

itu, dimungkinkan untuk mengubah waktu pengaplikasian unit DGT menjadi lebih singkat dalam larutan tanah.. Ketebalan difusi gel juga dapat digunakan untuk menghindari kejenuhan dan mendapatkan hasil yang lebih berarti (Conesa, dkk., 2009).

### KESIMPULAN

Distribusi ion logam Hg dalam sedimen didominasi oleh spesies *resistant* sebesar  $< 0,0005$  sampai  $0,0063$  ppm. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen telah tercemar merkuri walaupun masih berada di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan.

Migrasi ion logam Hg dari sedimen ke badan air menggunakan metode DGT diperoleh  $C_{DGT}$  sebesar  $0,01003$  sampai  $0,01748$  ppm. Simulasi pengukuran DGT menunjukkan *bioavailabilitas* ion logam Hg masih berada di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan..

### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih Tim Peneliti haturkan kepada Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tadulako yang telah memberikan dana Hibah Penelitian Skema Penelitian Unggulan Tahun 2022 melalui dana DIPA Fakultas.

### DAFTAR PUSTAKA

- Amin, B. (2002). Distribusi Logam Berat Pb, Cu dan Zn pada Sedimen di Perairan Telaga Tujuh Karimun Kepulauan Riau. *Jurnal Nature Indonesia*, 5(1) : 9-16
- Bernard, T., and Neff, J. (2001). Metals Bioavailability in the Navy's Tiered Ecological Risk Assessment Process. *Issue Paper*, 1-15.
- Darmono. (1995). Logam Berat dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Darmono. (2001). Lingkungan Hidup dan

- Pencemaran: Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. Jakarta: Universitas Indonesia Press
- Davison, W., and Zhang, H. (1994). In situ speciation measurements of trace components in natural waters using thin-film gels. *Nature*, 367, 546–548.
- Gasparatos, D., Haidouti, C., Andrinopoulos dan Areta, O. (2005). Chemical Speciation and Bioavailability of Cu, Zn and Pb in Soil from The National Garden of Athens, Greece, *Proceedings: International Conference on Environmental Science and Technology*, Rhodes Island.
- IADC/CEDA Staff. (1997). Environmental Aspects of Dredging: 2a. Convention Codes and Conditions: Marine Disposal. Netherlands: International Association of Dredging Companies.
- Khairuddin dan Ruslan. (2018). Aplikasi teknik diffusive gradient in thin film pada penentuan konsentrasi logam berat merkuri (Hg). *Kovalen*, 4(1), 98-105.
- Kiss, T., Enyedy, E. A., and Jakusch, T. (2017). Development of The Application of Speciation in Chemistry. *Compuscript* : University of Szeged. Doi:10.1016/j.ccr.2016.12.016
- Kristianingrum, Susila. (2007). Modifikasi Metode Analisis Spesiasi Merkuri dalam Lingkungan Perairan. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA* (hal 72-75). Yogyakarta: Jurusan Kimia FMIPA UNY.
- Mirdat, Y. S. Patadungan, Isrun. (2013). Status Logam Berat Merkuri (Hg) dalam Tanah pada Kawasan Pengolahan Tambang Emas di Kelurahan Poboya, Kota Palu. *E-Jurnal Agrotekbis*, 1(2), 127-134.
- Paundanan, Matius., Ety. R., dan Syaiful, A. (2015). Kontaminasi Logam Berat Merkuri (Hg) dan Timbal (Pb) pada Air, Sedimen dan Ikan Selar Tetengkek (*Megalaspis cordyla* L) di Teluk Palu, Sulawesi Tengah. *Jurnal Pengolahan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 5(2), 161-168
- Purnawan, S., R. Sikanna, Prismawiryanti. (2013). Distribusi Logam Merkuri pada Sedimen Laut di Sekitar Muara Sungai Poboya. *Jurnal Natural Science* 2(1), 18-24
- Richard, Jan-Helge. (2016). Mercury contaminated groundwater: Speciation Analysis, Modeling, and Remediation. TU Braunschweig. Institut für Geoökologie, Umweltgeochemie: Jerman
- Ruslan dan Khairuddin. (2010). Studi Potensi Pencemaran Lingkungan dari Kegiatan Pertambangan Emas Rakyat Poboya Kota Palu. *Indonesia Chimica Acta*, 3 (1), 27-31.
- Shade, C. W., and Hudson, R. J. M. (2005). Determination of MeHg in Environmental Sample Matrices Using Hg-Thiourea Complex Ion Chromatography with On-line Cold Vapor Generation and Atomic Fluorescence Spectrometric Detection. *Environ. Sci. Technol*, 39(13), 4974–4982. Doi:10.1021/es0483645.
- Siaka, I.M., Rozin, W.A., dan Putra, K.G.D. (2020). Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Berat dalam Sedimen Sungai Roomo Gresik. *Jurnal Kimia*, 14 (2), 153-160.
- Unsworth, E. R., Warnken, K. W., and Zhang, H. (2006) Model predictions of metal Speciation in freshwaters compared to measurements by in situ techniques. *Environ Sci Technol*, 40, 1942–1949
- Yusuf, M., Hamzah, B., and Rahman, N. (2017) Kandungan Merkuri (Hg) Dalam Air Laut, Sedimen, Dan Jaringan Ikan Belanak (*Liza Melinoptera*) Di Perairan Teluk Palu, *Jurnal Akademika Kimia*, 2 (3), 140–145.
- Zhang, H., and Davison, W. (1995). Performance-characteristics of diffusion gradients in thin-films for the in-situ measurement of trace-metals in aqueous-solution. *Anal. Chem.* 67, 3391–3400.