

**FRAKSINASI DAN BIOAVAILABILITAS LOGAM BERAT NIKEL (Ni) DAN  
TEMBAGA (Cu) PADA SEDIMEN DI TELUK JAKARTA**

**SKRIPSI  
PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN  
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN**

**Oleh:**

**SILVY AMALIN ARIANI  
NIM. 155080607111039**



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN  
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA KELAUTAN DAN PERIKANAN  
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2019**

**FRAKSINASI DAN BIOAVAILABILITAS LOGAM BERAT NIKEL (Ni) DAN  
TEMBAGA (Cu) PADA SEDIMEN DI TELUK JAKARTA**

**SKRIPSI  
PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN  
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan di Fakultas  
Perikanan dan Ilmu Kelautan  
Universitas Brawijaya

Oleh:

**SILVY AMALIN ARIANI  
NIM. 155080607111039**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2019**

SKRIPSI

FRAKSINASI DAN BIOAVAILABILITAS LOGAM BERAT NIKEL (Ni) DAN  
TEMBAGA (Cu) PADA SEDIMEN DI TELUK JAKARTA

Oleh :

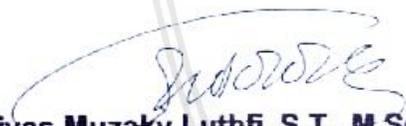
SILVY AMALIN ARIANI

NIM : 155080607111039

Telah dipertahankan di depan penguji  
pada tanggal 3 Juli 2019  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

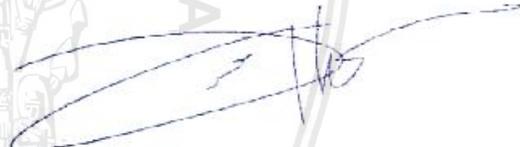
Menyetujui,  
Dosen Pembimbing I

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing II

  
Oktiyas Muzaky Luthfi, S.T., M.Sc

NIP. 19791031 200801 1 007

Tanggal: 17 JUL 2019

  
Fitri Budiyanto, M.Sc

NIP. 19870527 201012 1 002

Tanggal: 17 JUL 2019

Mengetahui  
Ketua Jurusan PSPK



Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.Pi., M.T.

NIP. 19780717 200502 1 004

Tanggal:

17 JUL 2019

## UCAPAN TERIMAKASIH

Selama proses penyusunan, penelitian hingga pembuatan laporan skripsi, penulis banyak dibantu oleh berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ucapkan rasa terimakasih kepada:

1. Allah SWT dengan segala rahmat serta izin-Nya yang telah memberikan kekuatan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua tercinta, kakak, adik, nenek, serta keluarga yang selalu mencurahkan kasih sayang, perhatian, semangat serta doa untuk penulis.
3. Bapak Oktiyas Muzaky Luthfi, S.T., M.Sc selaku pembimbing 1 yang selalu memberi bimbingan serta arahan bagi penulis.
4. Bapak Fitri Budiyanto, M.Sc., selaku pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta kesempatan untuk mengikuti *project* penelitian skripsi ini di Laboratorium Kimia Laut dan Ekotoksikologi, P2O-LIPI.
5. Bapak Taufik, Bapak Rozak, dan Ibu Lestari, terimakasih atas bantuan, bimbingan, dukungan dan pembelajaran yang telah diberikan selama penulis melakukan penelitian di P2O-LIPI.
6. DIPA P2O-LIPI yang telah mendanai penelitian ini.
7. Keluarga penulis di Malang, Dynda, Vina, Mayang, Ega dan Helmi terimakasih atas segala tangis, tawa, canda yang telah terjadi selama  $\pm 4$  tahun ini.
8. Wisnu Prawira Triatmaja yang sedang bekerja keras untuk membeli rumah, terimakasih untuk selalu ada dan mendukung penulis dalam keadaan apapun.
9. Keluarga besar Polaris Ilmu Kelautan 2015, serta pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, terimakasih atas semua kenangan dan dukungannya.

## RINGKASAN

**Silvy Amalin Ariani.** Fraksinasi dan Bioavailabilitas Logam Berat Nikel (Ni) dan Tembaga (Cu) pada Sedimen di Teluk Jakarta (dibawah bimbingan **Oktyas Muzaky Luthfi** dan **Fitri Budiyanto**).

---

Teluk Jakarta merupakan salah satu perairan di Indonesia dengan aktivitas manusia yang sangat padat dan menghasilkan limbah berbahaya seperti logam berat Cu dan Ni yang banyak digunakan dalam kegiatan industri. Logam yang masuk ke perairan akan terakumulasi dan mengendap pada sedimen. Peningkatan konsentrasi ketersediaan logam berat dalam sedimen dapat memberikan pengaruh negatif bagi rantai makanan. Ketersediaan logam berat di lingkungan dipengaruhi oleh bentuk serta tipe ikatan dari logam tersebut. Fraksinasi bertingkat dapat digunakan untuk mengetahui ketersediaan logam berat di lingkungan perairan bagi biota serta mengetahui apakah keberadaan logam tersebut berasal dari aktivitas antropogenik atau berasal dari alam.

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode fraksinasi bertingkat dari *Community Bureau of Reference, Sequential Extraction Percentages (BCR SEP)* yang mengacu pada *European Commission* dan pengukuran bahan organik total menggunakan metode *Loss On Ignition*. Analisis data konsentrasi fraksi logam berat dan kandungan bahan organik total dilakukan secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik menggunakan *Microsoft Excel*. Hasil analisis fraksi logam berat diuji korelasinya dengan kandungan bahan organik menggunakan *software Minitab 17*.

Hasil yang didapatkan yaitu, pada fraksi 1 dengan nilai rata-rata logam Ni adalah sebesar 5.66 mg/kg dan Cu sebesar 1.56 mg/kg. Pada fraksi 2 (tereduksi), nilai rata-rata logam Ni adalah 7.19 mg/kg dan untuk Cu sebesar 1.79 mg/kg. Kemudian, pada fraksi 3 (teroksidasi), nilai rata-rata untuk konsentrasi fraksi logam berat Ni adalah sebesar 4.17 mg/kg, dan Cu sebesar 8.61 mg/kg. Untuk nilai rata-rata konsentrasi fraksi 4 (residual) logam Ni adalah sebesar 10.61 mg/kg dan untuk Cu sebesar 15.22 mg/kg. Lalu, untuk bioavailabilitas logam Ni di perairan Teluk Jakarta sangat tinggi sedangkan bioavailabilitas logam Cu lebih bervariasi, dan dapat membahayakan biota perairan walaupun logam Cu bersifat esensial pada tingkat tertentu. Selain itu, kondisi perairan Teluk Jakarta berada pada kategori *medium risk* karena berada pada rentang nilai 11-30%. Untuk hubungan atau keterkaitan antara bahan organik total dengan konsentrasi fraksi logam Ni cenderung lemah dan untuk logam Cu cenderung kuat.

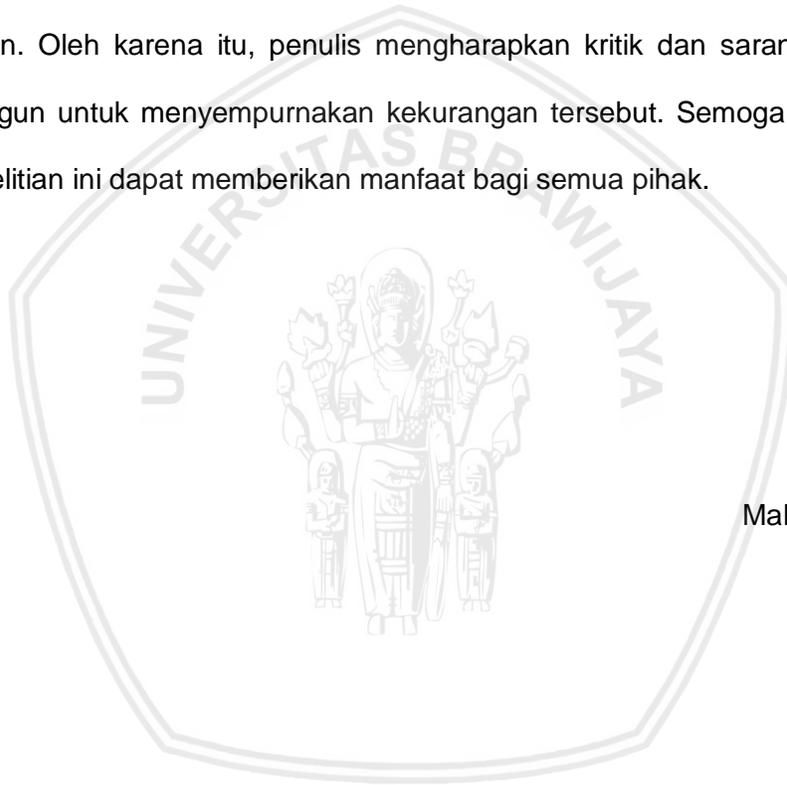
---

Kata kunci: fraksinasi, logam berat, nikel, tembaga, bioavailabilitas.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul 'Fraksinasi Dan Bioavailabilitas Logam Berat Nikel (Ni) Dan Tembaga (Cu) Pada Sedimen Di Teluk Jakarta'. Skripsi ini berisi uraian mengenai latar belakang, penjelasan mengenai metode yang akan digunakan dan hasil yang didapatkan dalam penelitian ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk menyempurnakan kekurangan tersebut. Semoga nantinya hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.



Malang, Juni 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
UCAPAN TERIMAKASIH.....	ii
RINGKASAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Kegunaan .....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Kondisi Perairan Teluk Jakarta .....	4
2.2 Logam Berat.....	4
2.2.1 Nikel (Ni).....	6
2.2.2 Tembaga (Cu) .....	7
2.3 Sedimen.....	7
2.4 Fraksinasi Logam Berat dalam Sedimen.....	8
2.5 Metode Fraksinasi Bertingkat (BCR <i>Sequential Extraction</i> ).....	9
2.6 Bahan Organik.....	10
3. METODOLOGI.....	11
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	11
3.2 Alur Penelitian .....	12
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	13
3.4 Teknik Pengambilan Sampel .....	15
3.4.1 Penentuan Stasiun Pengamatan .....	15
3.4.2 Pengambilan Sampel Sedimen.....	16
3.5 Metode Preparasi .....	16
3.5.1 Sterilisasi Alat.....	16

3.5.2 Pengeringan Sampel.....	17
3.5.3 Pembuatan Larutan Pereaksi .....	17
3.6 Pengukuran Bahan Organik Total.....	18
3.7 Fraksinasi Logam Berat Ni dan Cu dalam Sedimen.....	19
3.8 Analisis Data.....	21
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian .....	23
4.2 Hasil.....	23
4.2.1 Fraksi Logam Berat Ni dan Cu.....	23
4.2.2 Bioavailabilitas Logam Berat.....	26
4.2.3 Uji Korelasi .....	28
4.2.4 Penilaian Kondisi Perairan .....	29
4.3 Pembahasan .....	30
4.3.1 Fraksi Logam Berat Ni dan Cu.....	30
4.3.2 Bioavailabilitas Logam Berat.....	31
4.3.3 Uji Korelasi .....	33
4.3.4 Penilaian Kondisi Perairan .....	34
5. PENUTUP .....	36
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran .....	37
DAFTAR PUSTAKA.....	38

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi pengambilan sampel di Teluk Jakarta .....	11
2. Alur penelitian .....	12
3. Grafik konsentrasi fraksi logam berat Ni (mg/kg) .....	24
4. Grafik konsentrasi fraksi logam berat Cu (mg/kg) .....	25
5. Grafik persentase fase non-resisten dan fase resisten logam Ni .....	26
6. Grafik persentase fase non-resisten dan fase resisten logam Cu .....	27
7. Korelasi bahan organik dengan fraksi 3 logam Ni (a) Cu (b) .....	29
8. Grafik persentase fraksi 1 logam Ni dan Cu .....	29



**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran	Halaman
1. Dokumentasi Penelitian .....	41
2. Kondisi Lingkungan Pengambilan Sampel.....	44
3. Data Fraksi Logam Berat Ni dan Cu.....	45
4. Persentase fraksi non-resisten dan resisten logam Ni dan Cu.....	46
5. Data persentase fraksi 1 logam Ni dan Cu.....	47
6. Metode Pembuatan Larutan Pereaksi Fraksinasi .....	48
7. Metode Fraksinasi Bertingkat (BCR SEP-European Comission) .....	49



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Daftar Alat yang Digunakan Saat Penelitian .....	13
2. Daftar Bahan yang Digunakan Saat Penelitian .....	14
3. Koordinat stasiun pengambilan sampel sedimen.....	15
4. Nilai rata-rata konsentrasi fraksi logam Ni dan Cu.....	25
5. Kriteria Nilai RAC .....	35



## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perairan Teluk Jakarta merupakan sebuah teluk yang membentang sepanjang kurang lebih 33 km dan berlokasi di Provinsi DKI Jakarta bagian utara, Indonesia (Bangun, 2005). Teluk Jakarta merupakan salah satu perairan di Indonesia dengan aktivitas manusia yang sangat padat seperti adanya empat buah pelabuhan besar, taman rekreasi, kegiatan industri, tempat penangkapan ikan, pemukiman, serta jalur transportasi. Padatnya aktivitas disekitar perairan Teluk Jakarta menghasilkan limbah-limbah yang berbahaya bagi lingkungan karena Teluk Jakarta menjadi badan air yang menampung limbah dari kegiatan disekitarnya baik secara langsung maupun tidak langsung (Rochyatun, 2007).

Kegiatan di sekitar perairan Teluk Jakarta salah satunya yakni adanya PLTU yang menjadikan Teluk Jakarta sebagai tempat pembuangan limbah Cu serta kegiatan bongkar muat kapal barang di bagian barat Teluk Jakarta. Kemudian adanya pelabuhan terbesar, Tanjung Priok di bagian tengah yang biasanya dimanfaatkan sebagai tempat *docking* kapal yang bergerak dalam industri galangan kapal dan memanfaatkan logam berat Cu sebagai campuran bahan pengawet (Febrita et al., 2013). Aktivitas lainnya seperti pencucian dinding kapal dan buangan industri akan menghasilkan buangan berupa logam berat Ni. Selain itu, pada bagian timur perairan Teluk Jakarta yang menjadi pintu keluar masuknya kapal dari dan menuju Tanjung Priok serta adanya tempat pembudidayaan kerang hijau yang dikonsumsi oleh manusia menjadikan perairan Teluk Jakarta penting untuk diketahui kadar logam berat serta bioavailabilitasnya. Walaupun, logam berat Ni dan Cu merupakan logam berat esensial, apabila keberadaannya di alam sangat melimpah dapat

menyebabkan logam berat Ni dan Cu dapat menjadi berbahaya (Kobielska *et.al.*, 2018).

Logam berat yang masuk ke dalam perairan dapat menyebabkan pencemaran, karena daya racun logam berat itu sendiri dan sifatnya yang tidak bisa terurai. Logam berat baik yang bersifat esensial (Cr, Ni, Cu, dan Zn) maupun non-esensial (As, Cd, Pb, dan Hg) akan berubah menjadi racun apabila hadir dengan konsentrasi yang tinggi di lingkungan (Afifah, 2018). Selain itu, logam berat ini akan terakumulasi dan akan berakhir dengan mengendap di dasar perairan atau sedimen. Sedimen adalah komponen penting bagi ekosistem yang mengakumulasi racun melalui mekanisme fisika kompleks dan adsorpsi kimia karena perannya sebagai '*sink*' bagi bahan-bahan pencemar (Wang *et al.*, 2002). Peningkatan konsentrasi logam berat dalam sedimen yang sewaktu-waktu termobilisasi akibat pergerakan arus dapat memberikan pengaruh negatif bagi rantai makanan (Arifin, 2009).

Ketersediaan logam berat di lingkungan dipengaruhi oleh bentuk serta tipe ikatan dari logam tersebut. Fraksinasi atau partisi logam berat dapat digunakan untuk mengetahui ketersediaan logam berat apakah dipengaruhi aktivitas antropogenik atau berasal dari alam. Fraksinasi logam berat akan membagi logam berat kedalam dua fase, yakni fase resisten yang berasal dari ikatan kuat antara logam dengan mineral sedimen sehingga tidak dapat diserap oleh biota (*non-bioavailable*) dan fase non-resisten yang berasosiasi dengan golongan mangan oksida, besi oksida, serta bahan organik dalam sedimen. Logam berat dalam fase non-resisten ini terikat secara lemah, sehingga bersifat labil dan dapat diserap oleh biota (*bioavailable*). Ketersediaan logam berat yang dipengaruhi oleh asosiasinya menjadikan fraksinasi logam berat dapat digunakan untuk memberikan informasi yang lebih akurat mengenai bioavailabilitas serta kondisi dari suatu perairan (Sahara, 2015).

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah ketersediaan biologis (bioavailabilitas) logam berat Ni dan Cu pada sedimen di Perairan Teluk Jakarta?
2. Bagaimanakah hubungan antara konsentrasi bahan organik total dengan dengan konsentrasi fraksi 3 logam berat Ni dan Cu pada sedimen di Teluk Jakarta?

## 1.3 Tujuan

1. Mengetahui dan menganalisa bioavailabilitas logam berat Ni dan Cu pada sedimen di Teluk Jakarta.
2. Mengetahui dan menganalisa keterkaitan antara konsentrasi bahan organik total dengan konsentrasi fraksi 3 logam berat Ni dan Cu pada sedimen di Teluk Jakarta.

## 1.4 Kegunaan

Penelitian mengenai fraksinasi dan bioavailabilitas logam berat Ni dan Cu pada sedimen ini dapat memberikan informasi mengenai keadaan Perairan Teluk Jakarta. Penelitian ini juga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan, perbandingan maupun rujukan untuk penelitian selanjutnya.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kondisi Perairan Teluk Jakarta

Perairan Teluk Jakarta secara geografis terletak antara 5°56'15" LS hingga 6°55'30" LS dan 106°43'00" BT hingga 106°59'30" BT dan terletak di sebelah utara ibukota Jakarta. Teluk Jakarta berbatasan dengan Tanjung Pasir di sebelah barat dan Tanjung Karawang di sebelah timur yang membentang dari timur ke barat sepanjang ± 40 km dan luas 490 km<sup>2</sup> (Rahman, 2012). Perairan Teluk Jakarta ini terbagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian barat, tengah dan timur. Teluk Jakarta bagian barat dipengaruhi oleh sungai-sungai yang mengalir membelah kota Jakarta sebelum bermuara di teluk. Bagian tengah dipengaruhi oleh Pelabuhan Tanjung Priok dan Pelabuhan minyak Jakarta, sedangkan bagian timur perairan Teluk Jakarta dipengaruhi oleh sungai besar dan sungai-sungai kecil yang tidak melalui kota Jakarta (Bangun, 2005). Perairan Teluk Jakarta mempunyai berbagai macam fungsi, antara lain sebagai mata pencaharian nelayan, tempat lalu lintas kapal laut, sebagai tempat rekreasi dan pariwisata serta tempat pembuangan limbah rumah tangga dan industri (baterai, cat, pelapisan logam) yang biasanya mengandung logam berat. Sebagian logam berat tersebut akan tersedimentasi. Oleh karena itu konsentrasi logam berat di sedimen menjadi lebih tinggi bila dibandingkan dengan konsentrasi yang ada di kolom air laut.

### 2.2 Logam Berat

Logam berat merupakan elemen yang digolongkan kedalam unsur metaloid dan memiliki densitas lebih dari 5 g/cm<sup>3</sup>. Logam berat memiliki nomor atom 22-29 dan periode 3-7 dalam unsur periodik. Pada umumnya, logam berat dapat ditemukan di seluruh permukaan bumi baik di tanah, air dan udara (Bangun, 2005). Logam berat

dalam jumlah kecil diperlukan oleh makhluk hidup untuk proses pertumbuhan dan metabolisme, yang disebut sebagai logam berat esensial. Logam berat yang belum diketahui peranannya dalam tubuh makhluk hidup digolongkan kedalam logam berat non esensial (Puspasari, 2017).

Logam berat jarang ditemukan dalam bentuk elemen tunggal, tetapi dalam bentuk persenyawaan dengan unsur lain. Selain itu, logam berat bersifat tidak dapat terdegradasi secara alami dan bersifat akumulatif dalam rantai makanan melalui proses biomagnifikasi (Wisudyawati, 2014). Logam berat apabila terakumulasi dalam jumlah yang berlebihan dalam tubuh organisme akan menimbulkan pengaruh-pengaruh buruk terhadap fungsi fisiologis tubuh. Sumber logam berat di perairan berasal dari berbagai sumber seperti proses tektonik, vulkanik, *upwelling*, masukan dari atmosfer dan dari daratan (Puspasari, 2017). Masukan dari daratan memiliki pengaruh paling besar terhadap peningkatan konsentrasi logam berat di perairan sebagai akibat dari buangan limbah cair industri. Hal ini dikarenakan logam berat banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku kegiatan industri seperti pengecoran, pembuatan baterai dan kabel (Supriadi, 2016).

Berdasarkan Afriansyah (2009), logam berat yang masuk ke perairan laut secara alami, berasal dari tiga sumber yaitu:

- a) Masukan dari daerah pantai (*coastal supply*) yang berasal dari sungai-sungai dan hasil abrasi pantai oleh aktivitas gelombang.
- b) Masukan dari laut dalam (*deep sea supply*) meliputi logam-logam yang dibebaskan oleh aktivitas gunung berapi di laut dan logam-logam yang dibebaskan dari partikel/sedimen-sedimen dari proses kimiawi.
- c) Masukan dari lingkungan dekat daerah pantai, termasuk logam-logam dari atmosfer sebagai partikel-partikel debu.

Sedangkan sumber logam berat yang masuk ke lingkungan perairan akibat kegiatan manusia ada tujuh, yaitu :

- a) Limbah dan buangan industri
- b) Limbah cair perkotaan
- c) Aktivitas perkapalan dan pelayaran
- d) Aktivitas pertanian
- e) Cairan limbah rumah tangga
- f) Aktivitas pertambangan
- g) Perikanan budidaya

### 2.2.1 Nikel (Ni)

Nikel memiliki nomor atom 28 dengan massa atom 58,71 di dalam tabel periodik unsur. Nikel merupakan logam berwarna putih perak yang mengkilap, lentur dan tahan karat. Nikel termasuk kedalam logam peralihan, sifatnya tidak akan berubah jika terkena udara, tahan terhadap oksidasi dan suhu yang ekstrim. Nikel berbentuk sebagai unsur bebas atau sebagai senyawa ion dengan valensi 2 dan 3 (Agusnar, 2008). Pada perairan, logam berat nikel ditemukan dalam bentuk koloid. Nikel biasa digunakan dalam kegiatan seperti industri baterai, elektronik, persenjataan, pembuatan pesawat terbang, pelapis baja, turbin pembangkit listrik, magnet kuat, dan pembuatan alat-alat laboratorium (Gerberding, 2005). Transpor nikel di perairan terutama terjadi melalui adsorpsi logam berat tersebut oleh partikel-partikel padatan tersuspensi (Lestari, 2008). Transpor nikel juga terjadi melalui ikatan besi oksida, mangan oksida dan  $H_2O_2$ . Selain itu, nikel juga dapat berikatan dengan bahan organik dan membentuk komponen yang kompleks (Fernanda, 2012).

### 2.2.2 Tembaga (Cu)

Tembaga di dalam tabel periodik unsur memiliki nomor atom 29 dan massa atom 65,37. Tembaga umumnya berbentuk kristal dan berwarna kemerahan. Di perairan alami, tembaga ditemukan dalam bentuk partikulat, koloid, dan terlarut (Lestari, 2008). Fase terlarutnya merupakan  $\text{Cu}^{2+}$  bebas dan ikatan kompleks, baik dengan komponen inorganik, maupun organik. Ikatan Cu kompleks dengan ligan organik, terutama adalah oleh material humus. Ikatan kompleks Cu yang terjadi dalam sedimen laut adalah yang paling stabil. Secara alami, Cu dapat masuk ke dalam suatu lingkungan melalui berbagai peristiwa alam, seperti erosi dari batuan mineral. Sumber lainnya adalah debu-debu atau partikulat Cu yang ada dalam lapisan udara, yang dibawa turun oleh air hujan (Rahman, 2012). Masukan Cu ke dalam lingkungan melalui aktivitas manusia dapat melalui hasil buangan kegiatan industri yang banyak menggunakan Cu sebagai bahan produksinya seperti pertambangan dan peleburan, pembuatan kuningan, lempeng listrik, penyulingan minyak bumi, pertambangan kimia berbasis tembaga, dan industri pelapisan (Kabwadza et al., 2014). Tembaga merupakan mikromineral yang dibutuhkan dalam jumlah sangat sedikit tetapi memiliki peran penting dalam sistem enzimatik di dalam tubuh organisme (Sihono, 2014). Konsentrasi tembaga yang berlebihan di dalam tubuh manusia dapat menyebabkan kerusakan hati, menghambat sistem ekskresi dan merusak sistem kardiovaskular (Bottex, et al., 2008).

### 2.3 Sedimen

Sedimen merupakan suatu bahan yang tersusun dari campuran kompleks hasil dari pelapukan dan erosi, serta substansi yang dihasilkan oleh aktivitas biologi organik (mikroorganisme, detritus, dan substansi humus) maupun inorganik (karbonat, fosfat,

dan silikat) (Afriansyah, 2009). Sedimen berperan dalam pengangkutan dan penghilangan bahan pencemar di lingkungan dengan cara menyediakan permukaannya sebagai tempat penyerapan, bertindak sebagai sistem penyangga, dan sebagai pencuci bahan pencemar (Lestari, 2008). Sedimen perairan disusun oleh beberapa fase geokimia yang berbeda dan menjadi sumber potensial logam berat pada sistem estuari. Fase ini meliputi tanah liat, lumpur, pasir, bahan organik, oksida besi, mangan, aluminium dan silikat, karbonat dan sulfida kompleks. Dari komponen tersebut, oksida besi dan mangan serta bahan organik merupakan komponen yang paling penting dalam mengontrol pengikatan logam-logam berat pada sedimen estuari (Rahman, 2012).

#### **2.4 Fraksinasi Logam Berat dalam Sedimen**

Fraksinasi logam berat dalam sedimen akan membagi sedimen menjadi kedalam dua fase, yakni fase non-resisten dan fase resisten berdasarkan jenis ikatannya. Kedua fase ini dapat digunakan untuk mengetahui bioavailabilitas atau ketersediaan logam berat yang dapat diserap oleh biota yang apabila persentase bioavailabilitas tinggi, maka dapat berbahaya dikarenakan logam berat bersifat terakumulasi dan beracun terhadap makhluk hidup. Fase non-resisten merupakan fase dimana logam berat berikatan dengan golongan karbonat (fraksi 1) mangan oksida dan besi oksida (fraksi 2), serta bahan organik dalam sedimen (fraksi 3). Logam berat dalam fase non-resisten ini terikat secara lemah, sehingga bersifat labil dan dapat tersedia atau dapat diserap oleh biota (*bioavailable*). Kemudian logam dalam fase resisten yang berasal dari ikatan kuat antara logam dengan mineral sedimen (fraksi 4) sehingga tidak dapat diserap oleh biota (*non-bioavailable*) (Lestari, 2008). Logam berat di sedimen dalam bentuk ion bebas dan berikatan dengan karbonat merupakan bentuk logam yang

sangat labil, dan mudah terlepas ke perairan serta terserap oleh organisme. Logam yang berikatan dengan karbonat dalam tahapan fraksinasi biasa disebut dengan fraksi terlarutkan asam (fraksi 1). Logam berat di sedimen saat berikatan dengan besi mangan oksida (Fe/Mn oksida) disebut dengan fraksi tereduksi (fraksi 2). Logam berat dalam bentuk yang mudah teroksidasi (*oxidizable*) dihasilkan dari ikatan dengan bahan organik dan sulfida (fraksi 3). Sedangkan bentuk residual dihasilkan dari ikatan logam yang sangat kuat dengan kristal mineral di sedimen atau disebut fraksi 4 (Yu et al., 2010). Logam berat yang berikatan dengan karbonat atau berada dalam fraksi 1 biasanya bersifat *easily, freely, leachable, exchangeable* (EFLE) atau mudah terlepas dan tertukarkan di dalam perairan sehingga bersifat sangat labil atau non-resisten dibandingkan dengan logam berat dalam fraksi 2 dan fraksi 3. Sehingga, logam berat dalam fraksi 1 dapat digunakan untuk menilai kondisi suatu perairan melalui penilaian resiko (*Risk Assessment Code*).

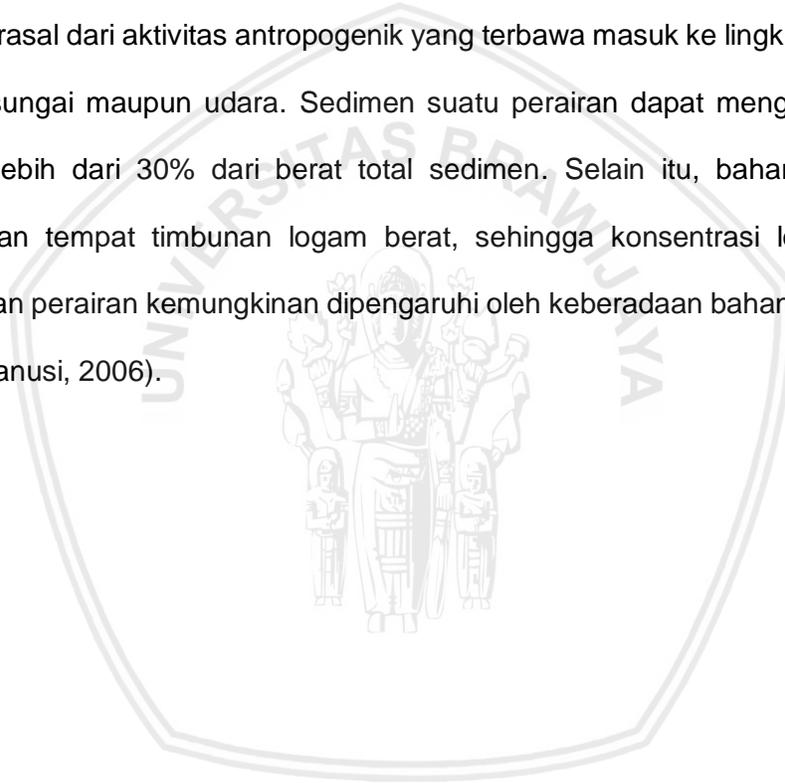
## 2.5 Metode Fraksinasi Bertingkat (BCR Sequential Extraction)

Metode BCR SEP memiliki beberapa proses tahapan yang dikembangkan untuk proses fraksinasi pada unsur logam berat. Prosedur BCR mengkombinasikan proses *exchangeable* dan proses karbon secara bersama-sama dalam proses fraksinasi yang pertama yang disebut *exchangeable fraction*. Untuk meningkatkan reprodutivitas pada proses BCR sebagai standar baku, komunitas Eropa mengadaptasi proses yang kedua sebagai proses baku pada BCR SEP yakni digunakan larutan dari 0,1 mol sampai 0,5 mol dan menambahkannya sehingga memenuhi jumlah yang ideal pada konsentrasi  $\text{HNO}_3$  dengan menyesuaikan pH dalam kisaran 1,5 selama proses tersebut. Analisis BCR digolongkan dalam karakteristik geokimiawi, yakni fraksi terlarut dalam asam (*acid-soluble*), fraksi

tereduksi (*reducible*), fraksi teroksidasi (*oxidizable*) dan fraksi residu (Werolangi *et al.*, 2016).

## 2.6 Bahan Organik

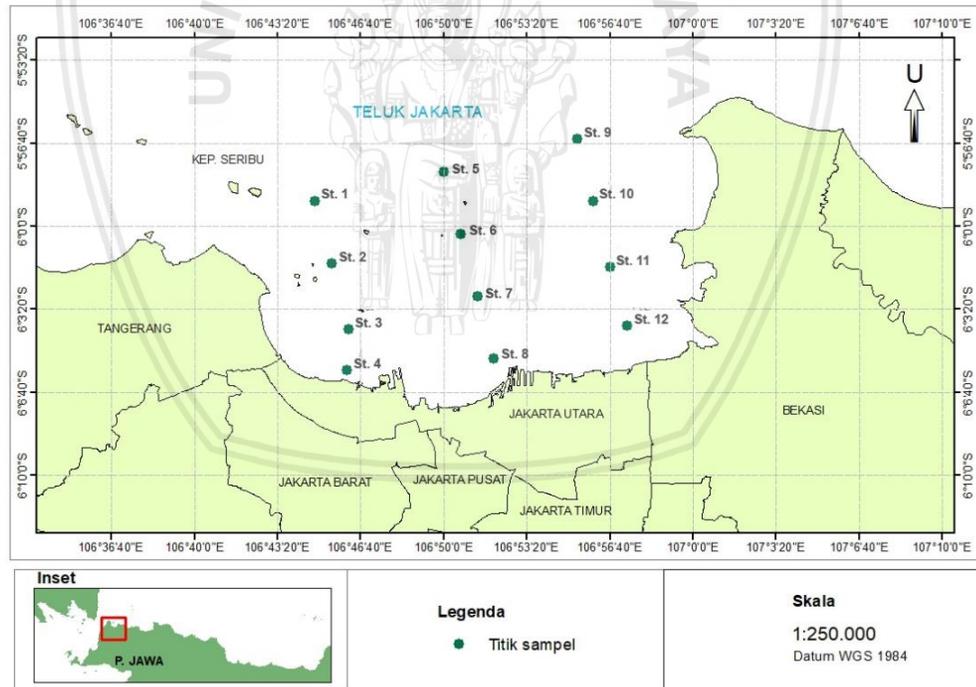
Sedimen perairan mengandung berbagai macam bahan organik seperti asam karbon, hidrokarbon, asam lemak, steroid, di-terpenoid, tri-terpenoid, tetra-terpenoid, asam amino, peptida, purin, pirimidin, karbohidrat, aromatik hidrokarbon, polimer (kitin, selulosa, lignin), serta materi humus (Lestari, 2008). Sumber bahan organik ini dapat berasal dari aktivitas antropogenik yang terbawa masuk ke lingkungan perairan melalui sungai maupun udara. Sedimen suatu perairan dapat mengandung bahan organik lebih dari 30% dari berat total sedimen. Selain itu, bahan organik juga merupakan tempat timbunan logam berat, sehingga konsentrasi logam berat di lingkungan perairan kemungkinan dipengaruhi oleh keberadaan bahan organik cukup besar (Sanusi, 2006).



### 3. METODOLOGI

#### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

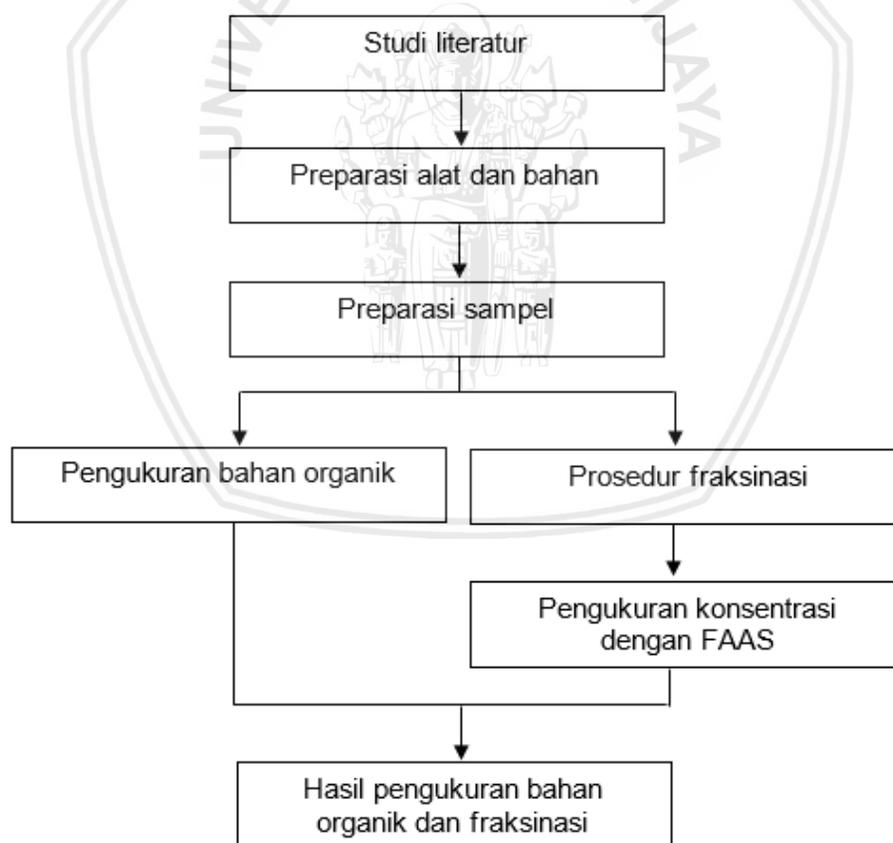
Penelitian ini merupakan program penelitian yang dilakukan oleh bagian Kimia Laut dan Ekotoksikologi, Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2O LIPI). Penelitian ini meliputi pengambilan sampel sedimen di lapangan dan analisis di laboratorium. Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada bulan Juli 2015 di Perairan Teluk Jakarta. Pengambilan sampel terdiri dari 12 titik sampel yang tersebar dari bagian tepi hingga bagian tengah dengan mewakili bagian barat, tengah, dan timur dari Perairan Teluk Jakarta (Gambar 1). Analisis laboratorium dilakukan pada bulan Januari sampai Maret 2019 di laboratorium Kimia Laut dan Ekotoksikologi, P2O LIPI Jakarta Utara.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel di Teluk Jakarta

### 3.2 Alur Penelitian

Alur penelitian fraksinasi dan bioavailabilitas logam berat Ni dan Cu ini dimulai dengan studi literatur untuk mempersiapkan metode yang akan digunakan. Tahapan penelitian pertama ialah preparasi alat, lalu mempersiapkan sampel sedimen dan larutan pereaksi yang akan digunakan sebelum siap untuk dianalisis menggunakan metode fraksinasi. Setelah preparasi selesai, dilakukan prosedur fraksinasi bertingkat dan pengukuran bahan organik total. Ketika prosedur fraksinasi selesai, dilakukan pengukuran konsentrasi setiap tahapan fraksi menggunakan instrumen FAAS (*Flame Atomic Absorption Spectrophotometry*). Hasil pengukuran bahan organik dan fraksinasi menggunakan instrumen FAAS selanjutnya dianalisis dan dirangkum dalam laporan skripsi. Alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur penelitian

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan digunakan untuk mempermudah proses penelitian. Adapun alat-alat yang digunakan selama penelitian ini disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Alat yang Digunakan Saat Penelitian

No.	Alat	Spesifikasi	Fungsi
1	Spatula	-	Untuk mengaduk sampel
2	Erlenmeyer	Pyrex	Sebagai wadah sampel
3	Corong	-	Membantu menyaring sampel
4	Labu ukur 100 ml	Pyrex	Sebagai wadah penepatan volume sampel
5	Labu ukur 500 ml	Pyrex	Sebagai wadah larutan
6	Labu ukur 1000 ml	Pyrex	Sebagai wadah larutan
7	Botol PE	Eppendorf	Sebagai wadah hasil fraksinasi
8	Rak tabung	-	Tempat meletakkan tabung reaksi
9	Crucible tong	-	Untuk mengambil cawan
10	Pipet tetes	-	Untuk mengambil solvent dalam skala kecil
11	Penjepit	-	Menjepit tabung reaksi pada saat penguapan dengan <i>waterbath</i>
12	Gelas Ukur	Pyrex	Mengukur volume larutan
13	Cawan petri	-	Sebagai wadah sampel
14	Cawan porselen	-	Sebagai wadah sampel
15	Timbangan analitik	Sartorius	Untuk menimbang sampel
16	Nampan	-	Untuk meletakkan alat yang telah dicuci
17	Waterbath	B-One	Untuk menguapkan sampel

No.	Alat	Spesifikasi	Fungsi
18	Oven	Memmert 100-800	Instrumen untuk mengeringkan sampel
19	Furnace	Heraeus	Instrumen untuk memanaskan cawan
20	Pipet tetes	-	Untuk mengambil <i>solvent</i> dalam skala kecil
21	Wadah plastik	-	Sebagai wadah sampel
22	Sendok plastik	-	Untuk mengambil sampel
23	Mortal alu	-	Untuk menghaluskan sampel
24	pH meter	Cyberscan 300	Untuk mengatur pH
25	Desikator	Normax	Untuk menghilangkan kadar air
26	Microwave	Mars	Untuk memanaskan sampel
27	Shaker	HS-501	Untuk menghomogenkan sampel
28	<i>Centrifuge</i>	Tomy MX 301	Untuk sentrifugasi sampel
29	<i>F-Atomic Absorbtion Spectrophotometry</i>	SpectrAA-20 Plus Varian	Instrument untuk menganalisa kadar logam berat.
30	Ponar Grab	1728-G30	Alat untuk mengambil sampel sedimen
31	Cool box	-	Wadah untuk menyimpan sampel

Bahan-bahan dibutuhkan untuk menunjang penelitian yang dilakukan. Adapun bahan-bahan yang digunakan selama penelitian ini disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Daftar Bahan yang Digunakan Saat Penelitian

No	Bahan	Fungsi
1	Sampel sedimen	Sebagai bahan yang akan dianalisis
2	Kertas label	Untuk memberi label pada alat/bahan
3	Aquades	Sebagai pembilas
4	Aquabides	Sebagai bahan pengencer larutan

No	Bahan	Fungsi
5	Larutan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Untuk menghilangkan ikatan organik
6	Larutan CH <sub>3</sub> COOH	Untuk melepaskan logam yang berikatan dengan fraksi karbonat
7	Larutan NH <sub>2</sub> OH.HCl	Untuk mereduksi logam
8	Larutan ammonium asetat	Asam lemah untuk melarutkan logam pada kondisi <i>buffer</i>
9	<i>Aqua regia</i>	Untuk mempercepat proses pelarutan logam
10	Tipol	Untuk mencuci alat yang telah digunakan

### 3.4 Teknik Pengambilan Sampel

#### 3.4.1 Penentuan Stasiun Pengamatan

Penentuan stasiun pengamatan dilakukan dengan perencanaan titik stasiun untuk *sampling*. Pada pengambilan sampel di lapangan, target perencanaan stasiun dilakukan dengan penentuan titik koordinat (Tabel 3) menggunakan GPS (*Global Positioning System*) yang kemudian diplotkan ke dalam peta sebanyak 12 stasiun yang mewakili tiga bagian perairan Teluk Jakarta. Pada bagian barat, diwakili oleh stasiun 1, 2, 3, dan 4. Bagian tengah diwakili oleh stasiun 5, 6, 7, dan 8; bagian timur diwakili oleh stasiun 9, 10, 11, dan 12.

Tabel 3. Koordinat stasiun pengambilan sampel sedimen

No.	Stasiun	X	Y
1	1	106.74722	-5.98333
2	2	106.75833	-6.02500
3	3	106.76944	-6.06944
4	4	106.76826	-6.09679
5	5	106.83333	-5.96389
6	6	106.84444	-6.00556

No.	Stasiun	X	Y
7	7	106.85556	-6.04722
8	8	106.86667	-6.08889
9	9	106.92222	-5.94167
10	10	106.93333	-5.98333
11	11	106.94444	-6.02778
12	12	106.95556	-6.06667

### 3.4.2 Pengambilan Sampel Sedimen

Sampel sedimen diambil menggunakan *Ponar Grab* yang terbuat dari *stainless steel* pada lapisan permukaan sedimen dengan kedalaman 5-10 cm dengan pengulangan sebanyak 3 kali pada setiap stasiun. Sampel sedimen kemudian dikomposit sesuai dengan stasiun masing-masing. Setelah itu, sampel sedimen dimasukkan ke dalam wadah polietilen yang dibungkus menggunakan kantong plastik dan disimpan ke dalam *cool box*. Sampel sedimen yang disimpan di dalam *cool box* kemudian dipindahkan ke dalam *freezer* ketika sampai di laboratorium untuk penyimpanan jangka panjang.

## 3.5 Metode Preparasi

### 3.5.1 Sterilisasi Alat

Sebelum melakukan penelitian, hal yang harus dilakukan adalah sterilisasi alat, dan bahan. Hal ini perlu dilakukan dengan baik dan benar agar tidak ada kontaminan yang dapat mempengaruhi hasil akhir. Alat-alat baik dari bahan plastik maupun kaca dicuci menggunakan air ledeng. Kemudian, alat-alat tersebut dicuci dan direndam menggunakan tipol selama 24 jam dan dibilas menggunakan air ledeng. Setelah dibilas menggunakan air ledeng, peralatan tersebut dibilas menggunakan aquades sebanyak 1 kali dan direndam dalam larutan asam  $\text{HNO}_3$  1:1 selama 24 jam. Peralatan yang telah direndam dalam larutan asam kemudian dibilas menggunakan aquades

sebanyak 2 kali untuk kemudian dikeringkan dan digunakan, atau disimpan terlebih dahulu di lemari penyimpanan apabila tidak langsung digunakan.

### 3.5.2 Pengeringan Sampel

Sebelum melakukan analisis, maka sampel sedimen harus dikeringkan terlebih dahulu. Pengeringan dilakukan dengan mengambil sampel sedimen basah yang diletakkan dalam cawan dan dikeringkan menggunakan oven tipe *Memmert 100-800* selama 24 jam dengan suhu 105°C. Kemudian, sampel sedimen yang telah kering dihaluskan secara perlahan dengan menggunakan mortal alu dan disimpan ke dalam wadah plastik. Pengeringan sampel dilakukan untuk menghilangkan kadar air dalam sampel sedimen yang akan digunakan dan untuk memudahkan proses penghalusan. Sampel sedimen basah dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 105°C (Lestari, 2008).

### 3.5.3 Pembuatan Larutan Pereaksi

Larutan pereaksi untuk metode fraksinasi bertingkat menggunakan empat jenis larutan (larutan A, B, C, dan D) yang terdapat pada Lampiran 6. Pembuatan reagen disiapkan sesuai dengan kebutuhan untuk analisis menggunakan metode fraksinasi bertingkat (BCR-SEP) dan berdasarkan Quevauviller (1993), dideskripsikan sebagai berikut, larutan A merupakan larutan asam asetat 0,11 mol/L yang dibuat dengan mencampurkan 25 ml CH<sub>3</sub>COOH dengan aquabides dalam labu ukur sehingga volumenya mencapai 1 liter (didapatkan konsentrasi larutan 0,43 mol/L). Selanjutnya 250 ml larutan dengan konsentrasi 0,43 mol/L tersebut diencerkan dan ditepatkan menjadi 1 liter dengan aquabides (didapatkan konsentrasi larutan 0,11 mol/L). Larutan B merupakan larutan *hydroxylamine hydrochloride* 0,1 mol yang didapatkan dengan melarutkan 34,75 gram NH<sub>2</sub>OH.HCl dengan 900 ml aquabides. Selanjutnya pH larutan

diatur menjadi 2 dengan menambahkan  $\text{HNO}_3$  2 mol/L lalu ditepatkan menjadi 1 liter dengan penambahan aquabides. Larutan C merupakan larutan *hydrogen peroxide* 8,8 mol/L yang sudah sesuai dengan larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% yakni 8,8 mol/L. Larutan D merupakan larutan *ammonium acetat* 1,0 mol/L yang didapatkan dengan melarutkan 77,08 gram *ammonium acetat* dengan 900 ml aquabides. Kemudian pH larutan diatur menjadi 2 dengan menggunakan  $\text{HNO}_3$  2 mol/L dan ditepatkan menjadi 1 liter dengan menambahkan aquabides.

### 3.6 Pengukuran Bahan Organik Total

LOI atau *Loss on Ignition* adalah metode yang digunakan untuk mengukur persentase kadar Karbon Organik Total yang hilang saat proses pembakaran di tanur (Lestari, 2008). Langkah pertama, cawan porselen kosong diletakkan di atas nampan yang beralaskan aluminium foil dan dimasukkan ke dalam oven pada suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 24 jam dan setelah itu cawan porselen diletakkan dalam tanur *Heraeus* selama 1 jam pada suhu  $550^\circ\text{C}$  dengan bantuan *crucible tong*. Cawan porselen kosong selanjutnya dimasukkan ke dalam desikator *Normax* selama 30 menit dan ditimbang sebanyak 3 kali untuk dicatat sebagai berat cawan porselen kosong (A). Untuk pengujian LOI, cawan porselen yang telah ditimbang berat kosongnya ditambahkan sampel sedimen basah ke dalamnya sebanyak 1 gram dan dicatat sebagai berat cawan + sampel basah (B) dan dimasukkan ke dalam oven *Memmert 100-800* pada suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Setelah dipanaskan dalam oven, cawan porselen berisi sampel dimasukkan ke dalam desikator *Normax* selama 30 menit dan ditimbang cawan berisi sampel tersebut sebanyak 3 kali dan dicatat sebagai berat cawan + sampel kering  $105^\circ\text{C}$  (C). Setelah itu, cawan porselen berisi sampel yang telah ditimbang dipanaskan dalam tanur *Heraeus* selama 1 jam dengan suhu  $550^\circ\text{C}$  dan

dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit untuk kemudian ditimbang kembali beratnya menggunakan timbangan analitik *Sartorius CPA 2245* dan dicatat sebagai berat cawan + sampel kering 550°C (D). Setiap penimbangan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali untuk mencari nilai rata-rata (APHA, 2005). Nilai berat yang telah didapatkan tersebut kemudian dihitung menggunakan rumus:

$$\% \text{ LOI} = \frac{C - D}{B - A} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- A : Berat cawan kosong
- B : Berat cawan berisi sedimen basah
- C : Berat cawan berisi sedimen kering pada suhu 105°C
- D : Berat cawan berisi sedimen kering pada suhu 550°C

### 3.7 Fraksinasi Logam Berat Ni dan Cu dalam Sedimen

Analisis fraksi geokimiawi logam berat menggunakan metode *Community Bureau of Reference, Sequential Extraction Percentages* (BCR SEP) yang terlampir pada Lampiran 7. Metode ini berasal dari komunitas Eropa (*European Commission*) dan telah divalidasi menggunakan referensi bersertifikat untuk material sedimen dengan indikator konsentrasi pada Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, dan Zn (Cuong, 2006).

Fraksi tahap 1 merupakan fraksi terlarutkan asam yang diawali dengan memasukkan 1 gram sedimen kering ke dalam tabung sentrifus polietilen *ependorf*, kemudian ditambahkan 40 ml larutan A (asam asetat 0,11 mol/L). Selanjutnya sampel sedimen dikocok pada kecepatan  $30 \pm 10$  rpm selama 16 jam dengan suhu ruangan  $22 \pm 5$  °C. Setelah itu, sampel sedimen disentrifus pada kecepatan 3000 rpm selama 20 menit dan didekantasi, yakni mengambil bagian supernatan (bagian yang tidak mengendap) pada tabung tersebut. Kemudian bagian supernatan yang dihasilkan

disimpan pada tabung polietilen (fraksi 1). Selanjutnya, residu yang didapat dicuci dengan menggunakan 20 ml aquabides, dikocok selama 15 menit pada kecepatan  $30 \pm 10$  rpm dan disentrifus dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 menit untuk memastikan residu benar-benar bersih. Bagian supernatan yang dihasilkan dibuang dengan hati-hati agar residu tidak hilang. Fase terlarut asam kemudian diukur konsentrasi logam beratnya dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) SpectrAA-20 Plus Varian*.

Fraksi tereduksi atau fraksi tahap 2 merupakan fraksi yang dianalisis menggunakan residu yang berasal dari fraksi terlarutkan asam yang ditambahkan dengan larutan B (*hydroxylamine hydrochloride* 0,1 mol/L) sebanyak 40 ml. Selanjutnya, sampel sedimen dikocok pada kecepatan  $30 \pm 10$  rpm selama 16 jam dengan suhu ruang  $22 \pm 5$  °C dan disentrifus pada kecepatan 3000 rpm selama 20 menit, lalu didekantasi. Kemudian, supernatan yang dihasilkan disimpan pada tabung polietilen (fraksi 2). Residu atau bagian yang mengendap dicuci dengan menggunakan 20 ml aquabides, dikocok selama 15 menit pada kecepatan  $30 \pm 10$  rpm dan disentrifus dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 menit untuk memastikan residu benar-benar bersih. Kemudian bagian supernatan dibuang untuk membersihkan bekas pereaksi dengan hati-hati agar residu tidak hilang. Fase tereduksi kemudian diukur konsentrasi logam beratnya dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) SpectrAA-20 Plus Varian*.

Fraksi 3 atau fraksi teroksidasi dimulai dengan menggunakan residu yang berasal dari fraksi tereduksi yang ditambahkan dengan larutan C (*hydrogen peroxide*) sebanyak 10 ml. Setelah itu, sampel didiamkan pada suhu ruang untuk selanjutnya dipanaskan dengan suhu  $85 \pm 2$  °C menggunakan *water bath B-One*. Sembari dipanaskan, volume sampel tersebut ditunggu hingga berkurang menjadi sekitar 2-3

ml. Setelah itu, ditambahkan larutan C sebanyak 10 ml dan dipanaskan dengan suhu  $85 \pm 2$  °C selama 1 jam menggunakan *water bath*, lalu didinginkan pada suhu ruang. Selanjutnya, 50 ml larutan D (*ammonium acetate*) ditambahkan dan sampel sedimen tersebut dikocok pada kecepatan  $30 \pm 10$  rpm selama 16 jam dengan suhu ruang  $22 \pm 2$  °C. Selanjutnya, sampel sedimen disentrifus dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 menit dan diikuti dengan dekantasi. Kemudian, bagian supernatan yang dihasilkan disimpan dalam tabung polietilen (fraksi 3). Selanjutnya residu yang didapat, dicuci dengan menggunakan 20 ml aquabides dan dikocok pada kecepatan  $30 \pm 10$  rpm selama 15 menit. Setelah itu, sampel kembali disentrifus dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 menit untuk memastikan residu benar-benar bersih. Kemudian, bagian supernatan yang dihasilkan dibuang dengan hati-hati agar residu tidak hilang. Fase teroksidasikan kemudian diukur konsentrasi logam beratnya dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) SpectrAA-20 Plus Varian*.

Fraksi residu merupakan fraksi yang dianalisis menggunakan residu fraksi teroksidasikan, yakni dengan melakukan destruksi residu sedimen dengan *aqua regia* (1:3 HNO<sub>3</sub> pekat : HCl pekat dan ditepatkan hingga volumenya mencapai 50 ml menggunakan aquabides). Metode yang digunakan pada fraksi residu adalah menggunakan pencernaan microwave (*microwave digest*) (Quevauviller, 1993). Hasil dari fraksi residu diukur konsentrasi logam beratnya menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) SpectrAA-20 Plus Varian*.

### 3.8 Analisis Data

Analisis data konsentrasi logam berat dan kandungan organik sedimen di masing-masing stasiun dilakukan secara deskriptif. Selanjutnya data disajikan dalam bentuk tabel dan diagram batang dengan menggunakan menggunakan *software Microsoft*

*Excel*. Adapun hasil analisis fraksi logam berat selanjutnya diuji korelasi untuk mengetahui hubungannya dengan kandungan bahan organik total menggunakan *software Minitab 17*.



## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

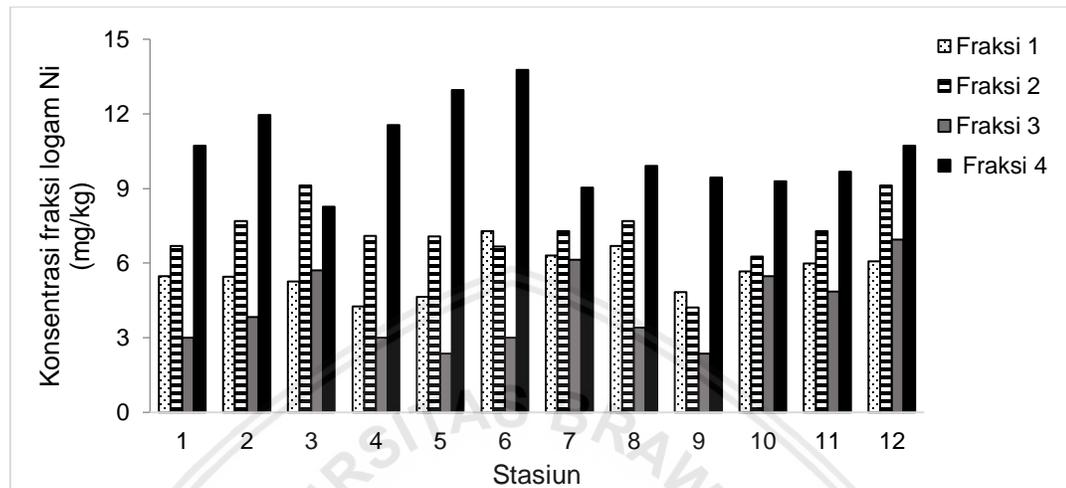
Secara umum, kedalaman perairan Teluk Jakarta pada stasiun pengamatan berkisar antara 2-21 meter. Suhu perairan Teluk Jakarta pada stasiun pengamatan berkisar antara 28-29.8°C. Suhu memiliki pengaruh yang besar terhadap spesiasi logam karena perubahan suhu dapat mempengaruhi tingkat sensitifitas reaksi kimia. Semakin tinggi suhu, maka dapat menyebabkan peningkatan aktivitas mikroba dalam mengurai bahan organik. Suhu dapat mempengaruhi kuantitas logam berat yang dapat diserap oleh organisme karena proses biologi akan meningkat dua kali lipat setiap peningkatan suhu sebesar 10°C (Rahman, 2012). Salinitas di perairan Teluk Jakarta pada stasiun pengamatan berkisar antara 31-32 ppt. Tinggi dan rendahnya nilai salinitas dapat dipengaruhi oleh sirkulasi atau arus serta input atau masukan dari wilayah daratan. Kondisi lingkungan lokasi pengambilan sampel sedimen secara lengkap terdapat pada Lampiran 2.

### 4.2 Hasil

#### 4.2.1 Fraksi Logam Berat Ni dan Cu

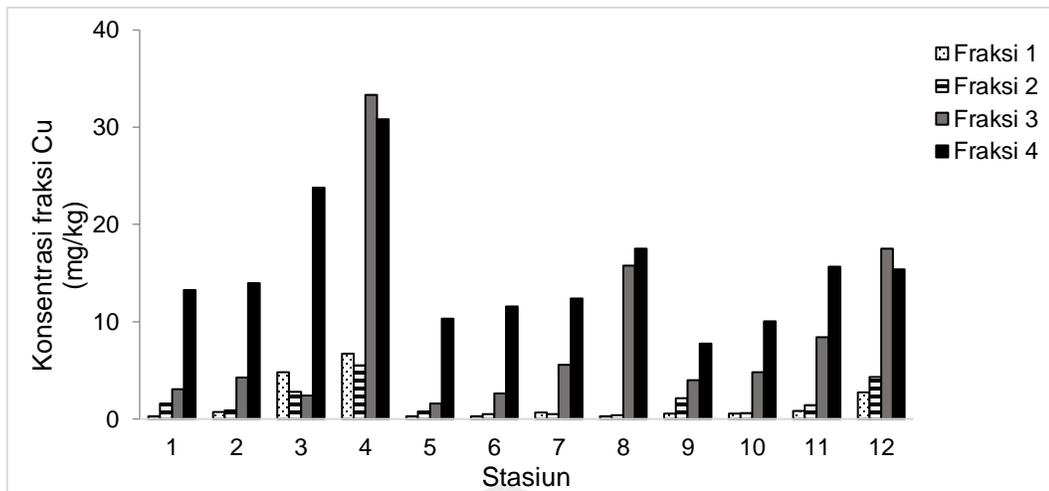
Grafik konsentrasi fraksi logam berat Ni dalam sedimen Teluk Jakarta menunjukkan adanya variasi antar stasiun (Gambar 3). Pada fraksi 1 (terlarutkan asam), konsentrasi fraksi Ni paling rendah sebesar 4.24 mg/kg terdapat pada stasiun 4, dan tertinggi sebesar 7.28 mg/kg pada stasiun 6. Konsentrasi fraksi tereduksi Ni paling rendah sebesar 4.22 mg/kg ditemukan pada stasiun 9. Kemudian, konsentrasi fraksi 2 (tereduksi) paling tinggi terdapat pada stasiun 3 dengan nilai sebesar 9.12 mg/kg. Konsentrasi fraksi 3 (teroksidasi) Ni paling rendah dengan nilai sebesar 2.35 mg/kg ditemukan pada stasiun 9. Kemudian, konsentrasi tertinggi untuk fraksi 3

(teroksidasi) Ni dengan nilai sebesar 6.94 mg/kg ditemukan pada stasiun 12. Pada fraksi residual, konsentrasi terendah dengan nilai 8.26 mg/kg ditemukan pada stasiun 3 dan tertinggi pada stasiun 6 dengan nilai sebesar 13.77 mg/kg.



Gambar 3. Grafik konsentrasi fraksi logam berat Ni (mg/kg) di Teluk Jakarta

Grafik konsentrasi fraksi logam berat Cu di perairan Teluk Jakarta menunjukkan adanya variasi antar stasiun (Gambar 4). Pada fraksi terlarutkan asam, konsentrasi Cu paling rendah sebesar 0.29 mg/kg terdapat pada stasiun 1, 5, 6, dan 8 serta yang tertinggi sebesar 6.72 mg/kg terdapat pada stasiun 4. Konsentrasi fraksi tereduksi paling rendah sebesar 0.37 mg/kg ditemukan pada stasiun 8. Kemudian, konsentrasi fraksi tereduksi paling tinggi terdapat pada stasiun 4 dengan nilai sebesar 5.53 mg/kg. Konsentrasi fraksi teroksidasi Cu paling rendah dengan nilai sebesar 1.58 mg/kg ditemukan pada stasiun 5. Kemudian, konsentrasi tertinggi untuk fraksi teroksidasi Cu dengan nilai sebesar 33.35 mg/kg ditemukan pada stasiun 4. Pada fraksi residual, konsentrasi Cu terendah dengan nilai 7.78 mg/kg ditemukan pada stasiun 9 dan konsentrasi tertinggi pada stasiun 4 dengan nilai sebesar 30.83 mg/kg. Secara detail, data hasil fraksinasi logam berat Ni dan Cu dapat dilihat pada Lampiran 3.



Gambar 4. Grafik konsentrasi fraksi logam berat Cu (mg/kg) di Teluk Jakarta

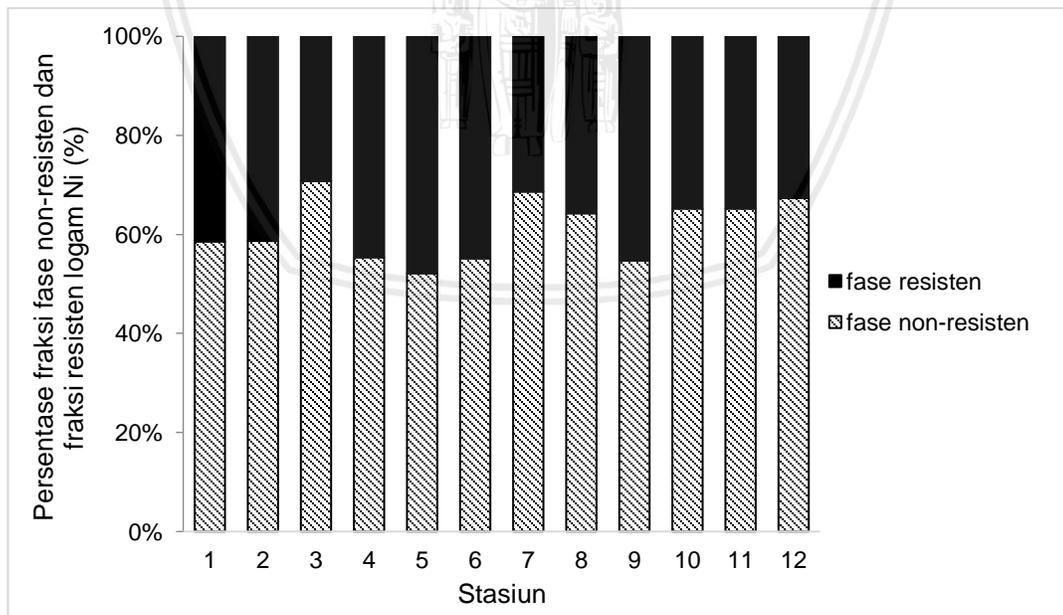
Pada Tabel 4, dapat dilihat nilai rata-rata konsentrasi fraksi 1 (terlarutkan asam) untuk logam Ni adalah sebesar 5.66 mg/kg dan Cu sebesar 1.56 mg/kg sehingga, konsentrasi logam berat Ni > Cu. Pada fraksi 2 (tereduksi), nilai rata-rata logam Ni adalah 7.19 mg/kg dan untuk Cu sebesar 1.79 mg/kg sehingga, konsentrasi logam berat Ni > Cu. Kemudian, pada fraksi 3 (teroksidasi), nilai rata-rata untuk konsentrasi fraksi logam berat Ni adalah sebesar 4.17 mg/kg, dan Cu sebesar 8.61 mg/kg sehingga, konsentrasi logam berat Cu > Ni. Untuk nilai rata-rata konsentrasi fraksi 4 (residual) logam Ni adalah sebesar 10.61 mg/kg dan untuk Cu sebesar 15.22 mg/kg sehingga, konsentrasi logam berat Cu > Ni.

Tabel 4. Nilai rata-rata konsentrasi fraksi logam Ni dan Cu

Fraksi	Ni	Cu	Kesimpulan
1	5.66	1.56	Ni > Cu
2	7.19	1.79	Ni > Cu
3	4.17	8.61	Cu > Ni
4	10.61	15.22	Cu > Ni

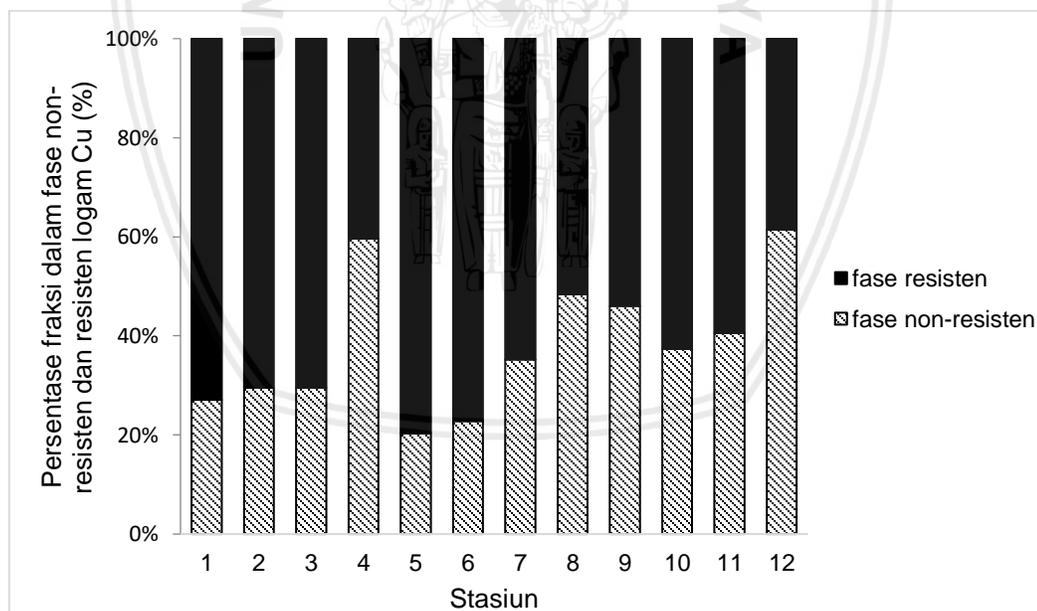
#### 4.2.2 Bioavailabilitas Logam Berat

Bioavailabilitas yang merupakan ketersediaan suatu logam berat yang dapat diserap oleh biota di perairan. Ketersediaan logam berat tersebut dapat dilihat berdasarkan data persentase fraksi dalam fase non-resisten dan fase resisten logam Ni pada Lampiran 4 dan grafik pada Gambar 5. Berdasarkan data tersebut, dapat dilihat bahwa konsentrasi logam Ni dalam fase non-resisten lebih besar dari konsentrasi dalam fase resisten di seluruh stasiun. Persentase fraksi dalam fase non-resisten berasal dari nilai fraksi 1, fraksi 2, dan fraksi 3. Persentase fraksi dalam fase non-resisten yang tertinggi terdapat pada stasiun 3, yakni sebesar 71% dan terendah pada stasiun 5 dengan nilai sebesar 53%. Untuk persentase fraksi dalam fase resisten didapatkan dari nilai fraksi residual atau fraksi 4. Berdasarkan grafik, persentase fraksi dalam fase resisten yang tertinggi terdapat pada stasiun 5, yakni sebesar 47%. Persentase terendah untuk fraksi dalam fase resisten terdapat pada stasiun 3 dengan nilai sebesar 29%.



Gambar 5. Grafik persentase fase non-resisten dan fase resisten logam Ni

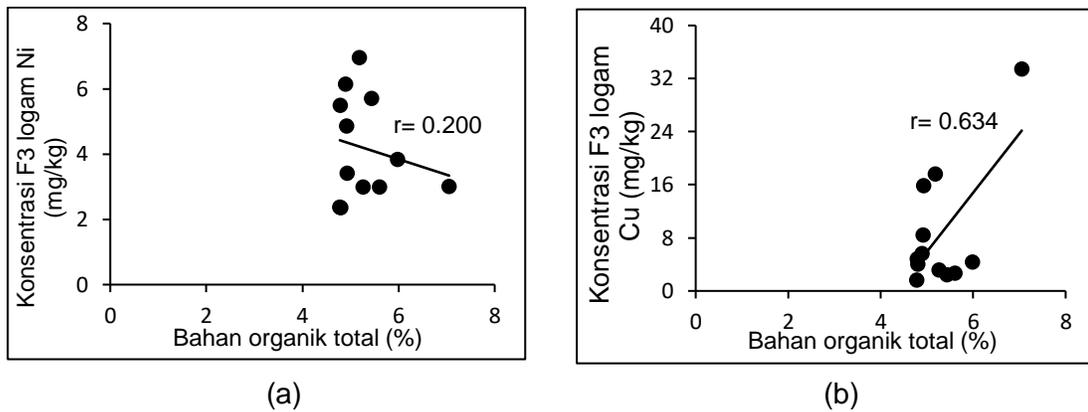
Pada Gambar 6 yang menampilkan grafik persentase fraksi non-resisten dan fraksi resisten logam Cu menunjukkan hasil yang bervariasi. Dapat dilihat bahwa konsentrasi logam Cu dalam fase non-resisten yang lebih besar dari konsentrasi dalam fase resisten ditemukan pada stasiun 4 (60%) dan stasiun 12 (62%). Persentase fraksi dalam fase non-resisten berasal dari nilai fraksi terlarutkan asam, fraksi tereduksi, dan fraksi teroksidasi. Persentase fraksi dalam fase non-resisten yang tertinggi terdapat pada stasiun 12 dengan nilai sebesar 62% dan terendah pada stasiun 5 dengan nilai sebesar 20%. Untuk persentase fraksi dalam fase resisten didapatkan dari nilai fraksi residual atau fraksi 4. Berdasarkan grafik, persentase fraksi dalam fase resisten yang tertinggi terdapat pada stasiun 5, yakni sebesar 80%. Persentase terendah untuk fraksi dalam fase resisten terdapat pada stasiun 12 dengan nilai sebesar 38%.



Gambar 6. Grafik persentase fase non-resisten dan fase resisten logam Cu

### 4.2.3 Uji Korelasi

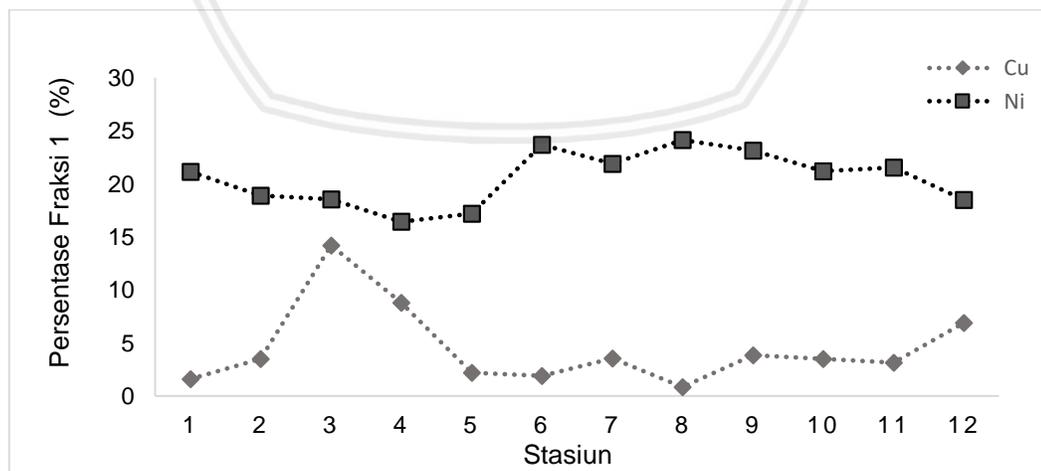
Uji korelasi digunakan untuk mengetahui hubungan antara bahan organik total dengan konsentrasi logam berat Ni dan Cu pada fraksi 3 yang berasosiasi dengan bahan organik dan sulfida. Sebelum dilakukan uji korelasi, dilakukan uji normalitas terlebih dahulu untuk mengetahui pola sebaran data apakah berdistribusi normal ataukah tidak. Berdasarkan uji normalitas yang telah dilakukan, didapatkan nilai P atau *P-value* > 0.15 dan lebih besar dari  $\alpha$  (0.05), sehingga dapat disimpulkan bahwa data logam Ni berdistribusi normal. Untuk logam berat Cu, besaran *P-value* yang diperoleh pada uji normalitas adalah > 0.13 dan lebih besar dari  $\alpha$  (0.05), sehingga dapat disimpulkan bahwa data logam Cu berdistribusi normal. Pada Gambar 7 (a) dibawah menunjukkan korelasi atau hubungan antara bahan organik total dengan konsentrasi fraksi 3 logam berat Ni yang berikatan dengan bahan organik di perairan Teluk Jakarta. Berdasarkan Gambar 7 (a), didapatkan nilai koefisien korelasi atau  $r = 0.200$ . Kemudian, pada Gambar 7 (b) menunjukkan nilai korelasi antara bahan organik total dengan konsentrasi fraksi 3 logam berat Cu yang berikatan dengan bahan organik. Berdasarkan Gambar 7 (b), didapatkan nilai untuk koefisien korelasi atau  $r$  sebesar 0.634. Setelah dilakukan uji normalitas dan dilanjutkan dengan uji korelasi, dilakukan uji signifikansi untuk mengetahui nilai kebenaran dari hipotesis yang diterima atau ditolak. Berdasarkan uji yang telah dilakukan, didapatkan nilai signifikansi antara logam Ni dengan bahan organik total sebesar 0.537 dan untuk nilai signifikansi antara logam Cu dengan bahan organik total adalah sebesar 0.027.



Gambar 7. Korelasi antara bahan organik total dengan konsentrasi fraksi 3 logam Ni (a) dan korelasi antara bahan organik total dengan konsentrasi fraksi 3 logam Cu (b)

#### 4.2.4 Penilaian Kondisi Perairan

Hasil fraksinasi logam berat menunjukkan bahwa logam di sedimen berikatan pada fraksi yang berbeda dengan kekuatan ikatan yang juga berbeda dan dapat digunakan untuk menilai kondisi perairan. Penilaian kondisi atau resiko di suatu perairan dapat dilakukan dengan menggunakan metode RAC (*Risk Assessment Code*). Berdasarkan Gambar 8, persentase tertinggi untuk logam Ni adalah sebesar 24%. Sedangkan untuk logam Cu, persentase yang tertinggi adalah sebesar 14%.



Gambar 8. Grafik persentase fraksi 1 (*exchangeable* dan karbonat) logam Ni dan Cu

### 4.3 Pembahasan

#### 4.3.1 Fraksi Logam Berat Ni dan Cu

Berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4 yang menunjukkan grafik konsentrasi fraksinasi, serta nilai rata-rata fraksi logam berat Ni dan Cu di perairan Teluk Jakarta pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa konsentrasi logam berat Ni yang berikatan dengan karbonat lebih besar dibandingkan dengan Cu untuk fraksi terlarutkan asam (fraksi 1). Hal ini dikarenakan ikatan dengan karbonat bukan merupakan ikatan yang kuat dengan sedimen sehingga bersifat labil dan sangat mudah terlepas ke perairan, sehingga logam berat Ni konsentrasinya lebih tinggi. Selain itu, perubahan pH akan mempengaruhi asosiasi logam yang menyebabkan lepasnya logam-logam yang berikatan dengan mineral karbonat jika pH rendah dan meningkatkan konsentrasinya apabila pH meningkat (Werolangi *et al.*, 2016).

Fraksi tereduksi (fraksi 2) adalah fraksi yang digunakan untuk mengetahui logam berat yang berasosiasi dengan besi (Fe) dan mangan (Mn) oksida. Oksida merupakan penyerap logam yang potensial pada perairan, sehingga konsentrasi fraksi tereduksi (fraksi 2) lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi fraksi terlarutkan asam (fraksi 1) (Lestari, 2008). Sebaran konsentrasi Ni dan Cu yang berasosiasi dengan besi dan mangan oksida bervariasi pada setiap titik pengamatan menggambarkan bahwa terdapat ikatan antara besi dan mangan oksida dengan logam berat Ni dan Cu dengan konsentrasi yang berbeda-beda. Hasil dari fraksi tereduksi menunjukkan bahwa besi dan mangan oksida lebih banyak mengadsorpsi logam Ni daripada Cu di perairan Teluk Jakarta sehingga konsentrasi fraksi tereduksikan logam Ni lebih besar di setiap titik pengamatan.

Fraksi teroksidasi (fraksi 3) merupakan fraksi yang berasosiasi dengan bahan organik dan sulfida yang menggunakan peroksida sebagai pengoksidasi.

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa bahan organik merupakan tempat timbunan 5-20% atau lebih kandungan total logam dalam sedimen (Khairunnisa, 2017). Logam-logam juga kemungkinan berikatan dengan organisme, detritus, dan lapisan pada partikel mineral (Lestari, 2008). Hasil dari fraksi teroksidasi menunjukkan bahwa konsentrasi  $Cu > Ni$ . Hal ini menunjukkan bahwa bahan organik dan sulfida lebih banyak mengadsorpsi logam Cu di perairan Teluk Jakarta.

Fraksi residual (fraksi 4) merupakan fraksi yang memiliki ikatan sangat kuat dengan struktur kristal mineral dan dapat didestruksi dengan menggunakan asam kuat (*aqua regia*) (Sahara et al., 2015). Fraksi residual digunakan untuk mengetahui kandungan logam berat dalam keadaan *resistant*. Hasil dari fraksi residual menunjukkan bahwa sebagian besar konsentrasi  $Cu > Ni$ . Hal ini menunjukkan bahwa keberadaannya dipengaruhi oleh faktor geologi, seperti pelapukan (Khairunnisa, 2017). Fraksi residual berasal dari logam yang terikat dengan mineral silikat atau berasal dari sumber alami logam seperti pelapukan batuan dan dekomposisi dari hewan detritus (Fadhlina, 2008).

#### **4.3.2 Bioavailabilitas Logam Berat**

Konsentrasi logam berat dalam fraksi sedimen dapat memberikan gambaran mengenai ketersediaan logam berat (bioavailabilitas) bagi makhluk hidup di lingkungan perairan. Bioavailabilitas merupakan persentase terekstraksi logam yang diketahui melalui perbandingan antara konsentrasi dari fraksi dalam fase non-resisten dengan fraksi dalam fase resisten. Fase resisten berasal dari sumber logam alami yang diindikasikan dengan fraksi residual, sedangkan fase non-resisten berasal dari sumber logam antropogenik yang diindikasikan dengan fraksi selain residual, yakni

fraksi terlarutkan asam, fraksi tereduksi, dan fraksi teroksidasi (Werolangi et al., 2016). Fraksi dalam fase non-resisten merupakan fraksi yang berikatan lemah dengan komponen besi oksida, mangan oksida, dan bahan organik di dalam sedimen, sehingga dapat diabsorpsi oleh biota (*bioavailable*) (Rahman, 2012). Fraksi residual berasal dari logam yang terikat kuat dengan mineral silikat atau berasal dari sumber alami logam seperti pelapukan batuan dan dekomposisi dari detritus (Khairunnisa, 2017). Logam yang terdapat dalam struktur kristal mineral ini tidak tersedia bagi biota, sehingga fraksi residual dapat menunjukkan sifat non-bioavailabilitas.

Berdasarkan grafik persentase fraksi non-resisten dan fraksi resisten logam Ni (Gambar 5), konsentrasi logam Ni dalam fase non-resisten lebih besar dari konsentrasi dalam fase resisten. Hal ini menunjukkan bahwa potensi bioavailabilitas logam Ni di perairan Teluk Jakarta dapat terserap oleh biota sangat tinggi. Selain itu, dominansi logam dalam fase non-resisten menunjukkan bahwa logam Ni di perairan Teluk Jakarta bersumber dari aktivitas antropogenik dan berbahaya bagi biota perairan. Hal ini bisa disebabkan karena padatnya kegiatan transportasi kapal dan debit buangan limbah dari industri disekitar Teluk Jakarta (Fernanda, 2012).

Berdasarkan Gambar 6 yang menampilkan grafik persentase fraksi non-resisten dengan fraksi resisten logam Cu, menunjukkan hasil yang bervariasi. Pada titik M3 yang merupakan muara Angke, persentase fraksi dalam fase non-resisten lebih besar dari fase resisten yakni 60%. Persentase fase non-resisten yang lebih besar ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam Cu di titik M3 banyak dipengaruhi oleh kegiatan antropogenik disekitarnya. Selain itu, pada titik D6 persentase fraksi dalam fase non-resisten juga lebih besar dari fase resisten, yaitu sebesar 62%. Titik D6 ini berada diantara muara Marunda dan muara Gembong yang mungkin masukan Cu tersebut berasal dari limpasan sungai Marunda dan sungai Gembong yang membawa

Cu dari aktivitas daratan dan pesisir seperti industri dan pelabuhan atau perkapalan (Arifin, 2009). Ketersediaan biologis logam Cu yang tinggi pada titik M3 dan D6 dan dapat membahayakan biota perairan walaupun logam Cu bersifat esensial pada tingkat tertentu. Pada titik lainnya, persentase fraksi dalam fase non-resisten lebih rendah dari fase resisten. Hal ini menunjukkan bahwa sebaran logam Cu di Teluk Jakarta tidak merata, dan dapat dipengaruhi oleh faktor seperti karakteristik dan ukuran sedimennya (Sahara, 2015).

#### 4.3.3 Uji Korelasi

Bahan organik merupakan komponen geokimia yang berperan penting dalam mengontrol ikatan logam berat dalam sedimen (Rahman, 2009). Pada Gambar 7 (a), menunjukkan korelasi atau hubungan antara bahan organik total dengan konsentrasi fraksi 3 logam berat Ni. Pada gambar 7 (a), dengan nilai  $r$  sebesar 0.200 menunjukkan keeratan hubungan yang sangat lemah. Keeratan hubungan yang sangat lemah ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat yang berikatan pada fraksi 3 yang berasosiasi dengan bahan organik tidak hanya dipengaruhi atau ditentukan oleh bahan organik dalam sedimen saja. Berdasarkan nilai signifikansi yang didapatkan, yaitu sebesar 0.537 dan lebih besar dari  $\alpha$  (0.05), dapat disimpulkan bahwa bahan organik tidak mempengaruhi konsentrasi logam berat Ni di Teluk Jakarta. Hal ini diduga disebabkan karena adanya faktor lain selain bahan organik yang kemungkinan dapat mempengaruhi ikatan logam seperti pH atau potensial redoks pada sedimen (Sanusi, 2006).

Pada Gambar 7 (b), menunjukkan keeratan hubungan yang kuat antara konsentrasi fraksi 3 logam berat Cu dengan bahan organik total dengan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0.634. Hal ini menunjukkan bahwa logam berat Cu sangat

memungkinkan dipengaruhi oleh kandungan bahan organik. Berdasarkan nilai signifikansi yang didapatkan, yaitu sebesar 0.027 dan lebih kecil dari  $\alpha$  (0.05), dapat disimpulkan bahwa bahan organik mempengaruhi konsentrasi logam berat Cu di Teluk Jakarta. Adanya perbedaan keeratan hubungan antara bahan organik total dengan Ni dan Cu ini kemungkinan terjadi karena konsentrasi fraksi yang ada tidak hanya dipengaruhi oleh bahan organik pada sedimen namun, ikatan dari logam berat juga dipengaruhi oleh unsur lainnya seperti, *mineral clay*, besi dan mangan oksida, serta kandungan  $\text{CaCO}_3$  (Afifah, 2018).

#### 4.3.4 Penilaian Kondisi Perairan

Hasil fraksinasi logam berat menunjukkan bahwa logam di sedimen berikatan pada fraksi yang berbeda dengan kekuatan ikatan yang juga berbeda. Perbedaan ikatan ini dapat digunakan untuk menilai risiko bahaya yang dapat ditimbulkan logam berat di dalam lingkungan perairan. Untuk menilai risiko bahaya tersebut digunakan suatu indeks penilaian risiko, atau *Risk Assessment Code* (RAC). Prinsip metode RAC ini yaitu menentukan jumlah konsentrasi logam berat yang terikat lemah pada sedimen, dimana logam berat jenis ini dapat dengan mudah diserap oleh biota perairan (Jones *et al.*, 2008). RAC digunakan dalam penilaian ketersediaan logam di sedimen dengan mengaplikasikan suatu skala pada persentase nilai logam berat di fraksi *exchangeable* dan karbonat atau fraksi tahap 1 (Sundaray *et al.*, 2011). Hal ini penting dikarenakan logam yang berasal dari aktivitas antropogenik umumnya dapat bertukar (*exchangeable*) dan berikatan dengan karbonat. Logam yang berikatan dengan karbonat ini mudah terurai karena ikatannya sangat lemah, sehingga dapat larut dalam kolom air dan terserap oleh biota (Singh *et al.*, 2005). Berbeda dengan logam berat pada fraksi 2 yang berikatan dengan besi dan mangan oksida ataupun fraksi 3 yang berikatan dengan bahan organik, pada fraksi ini dibutuhkan usaha atau energi

yang lebih besar untuk melepas logam. Penggunaan nama dari fraksi 1 hingga fraksi 4 secara terminologi berurutan untuk tingkat kesukarannya dalam melepas logam dari yang paling mudah hingga yang paling sukar, sehingga RAC hanya menggunakan nilai persentase dari fraksi 1 yang paling mudah terlepas ikatannya. Tabel 5 akan menjelaskan tentang kriteria RAC dalam menentukan bioavailabilitas logam berat di sedimen.

Tabel 5. Kriteria Nilai RAC

Kriteria: logam dalam fraksi 1 (%)	Nilai RAC
< 1	<i>No risk</i>
1-10	<i>Low risk</i>
11-30	<i>Medium risk</i>
31-50	<i>High risk</i>
> 50	<i>Very high risk</i>

Sumber : (Sundaray *et al.*, 2011)

Berdasarkan kriteria nilai RAC pada Tabel 5, logam Ni dengan persentase fraksi 1 tertinggi yakni sebesar 24% (Gambar 8) berada pada titik *medium risk* dan harus diwaspadai karena Ni pada titik ini bersifat mudah terlarut dan lebih bersifat *bioavailable* di perairan Teluk Jakarta. Sedangkan untuk logam Cu, dengan persentase fraksi 1 yang tertinggi sebesar 14% berada pada titik *medium risk* dan memiliki resiko lebih tinggi dikarenakan nilai RAC-nya lebih tinggi dibandingkan stasiun lainnya. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh perubahan debit air yang dapat menyebabkan pelepasan logam berat dari sedimen ke kolom perairan yang dapat menyebabkan peningkatan dan penurunan mobilitas logam berat Cu dan Ni.

## 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

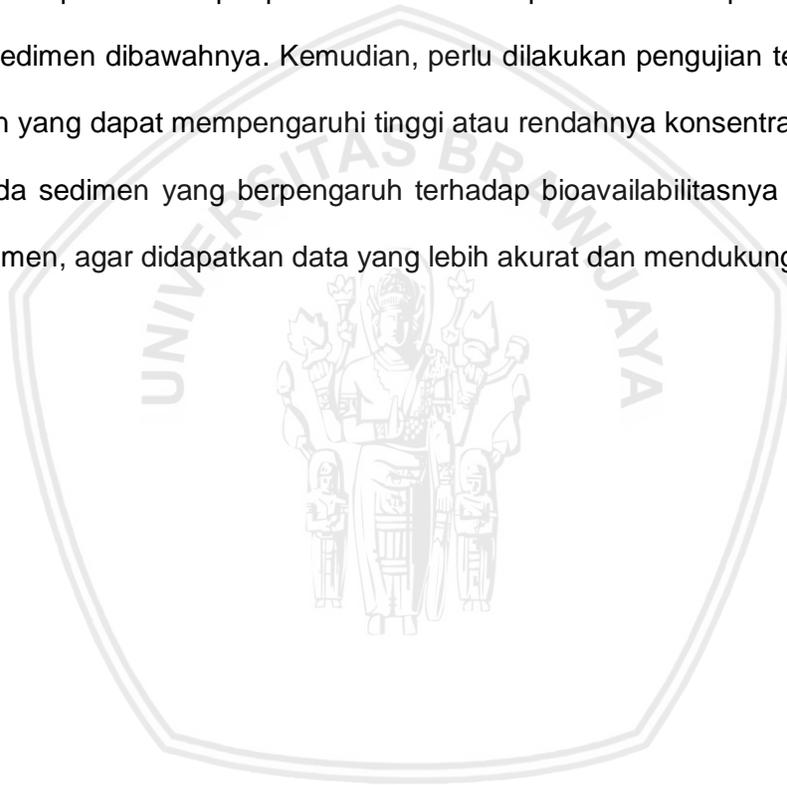
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Bioavailabilitas atau ketersediaan logam berat bagi biota di perairan dapat dilihat berdasarkan persentase fraksi pada fase resisten dan non-resisten. Bioavailabilitas logam Ni di perairan Teluk Jakarta sangat tinggi. Hal ini dapat disimpulkan berdasarkan persentase dalam fase non-resisten lebih besar dari konsentrasi dalam fase resisten di semua titik dan menunjukkan bahwa logam Ni di perairan Teluk Jakarta bersumber dari aktivitas antropogenik dan berbahaya bagi biota perairan. Sedangkan ketersediaan biologis logam Cu lebih bervariasi, dimana persentase tertinggi terdapat pada titik M3 dan D6 dan dapat membahayakan biota perairan walaupun logam Cu bersifat esensial pada tingkat tertentu. Pada titik lainnya, persentase fraksi dalam fase non-resisten lebih rendah dari fase resisten. Hal ini menunjukkan bahwa sebaran logam Cu di Teluk Jakarta tidak merata, dan dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti karakteristik dan ukuran sedimennya (Sahara, 2015).
2. Hubungan atau keterkaitan antara konsentrasi bahan organik total dengan konsentrasi fraksi 3 logam berat Ni dan Cu bervariasi. Konsentrasi fraksi 3 logam Ni dengan bahan organik total menunjukkan keeratan hubungan yang sangat lemah. Sedangkan konsentrasi fraksi 3 logam Cu dengan bahan organik total menunjukkan keeratan hubungan yang kuat. Perbedaan keeratan antara logam Ni dan Cu dengan bahan organik total ini menunjukkan bahwa kemungkinan logam yang berikatan pada fraksi terlarutkan asam, fraksi tereduksi, fraksi teroksidasi, dan fraksi residual tidak hanya dipengaruhi oleh

bahan organik. Namun, ikatan dari logam berat juga dipengaruhi oleh unsur lainnya seperti, *mineral clay*, besi dan mangan oksida, serta kandungan  $\text{CaCO}_3$ .

## 5.2 Saran

Penelitian ini dilakukan pada sedimen permukaan perairan, maka untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pada setiap lapisan sedimen yang berbeda-beda untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antara lapisan sedimen permukaan dengan lapisan sedimen dibawahnya. Kemudian, perlu dilakukan pengujian terhadap faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi tinggi atau rendahnya konsentrasi fraksi logam berat pada sedimen yang berpengaruh terhadap bioavailabilitasnya seperti ukuran butir sedimen, agar didapatkan data yang lebih akurat dan mendukung.



## DAFTAR PUSTAKA

- Affah, Rifdina. 2018. Partisi Geokimiawi Logam Berat Cu dan Zn dalam Sedimen di Teluk Palabuhan Ratu. Skripsi. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Afriansyah, A. 2009. Konsentrasi Cadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) Dalam Air, Seston, Kerang dan Fraksinasinya Dalam Sedimen Di Perairan Delta Berau, Kalimantan Timur. [Skripsi]. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Agusnar, H., 2008. Analisa Pencemaran dan Pengendalian Pencemaran. Medan: USU Press. Hal: 17-18.
- APHA. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 21<sup>st</sup> Ed. Washington DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.*
- Arifin, Z., Fadhlina, D. 2009. Fraksinasi logam berat Pb, Cd, Cu, dan Zn dalam sedimen dan bioavailabilitasnya bagi biota di Perairan Teluk Jakarta. J Ilmu Kelautan. 14(1):27-32
- Bangun, Julius Marinus. 2005. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Dalam Air, Sedimen dan Organ Tubuh Ikan Sokang (*Triacanthus nieuhofi*) Di Perairan Ancol, Teluk Jakarta. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Bottex, B., Dorne, J.L.C., Carlander, D., Benford, D., Przyrembel, H., Heppner, C., Kleiner, J., Cockburn, A., 2008. Risk–benefit health assessment of food– food fortification and nitrate in vegetables. Trends Food Sci. Technol. 19, S113–S119.
- Cuong, D. T., Obbard, J. P. 2006. Metal speciation in coastal marine sediments from Singapore using a modified BCR-sequential extraction procedure. Applied Geochemistry. 21(2006):1335-1346.
- Fadhlina. 2008 Analisis Pencemaran Logam Berat Cu, Cd, dan Pb Di Perairan Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu Provinsi DKI Jakarta (Studi Kasus P. Panggang dan P. Pramuka). Thesis. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

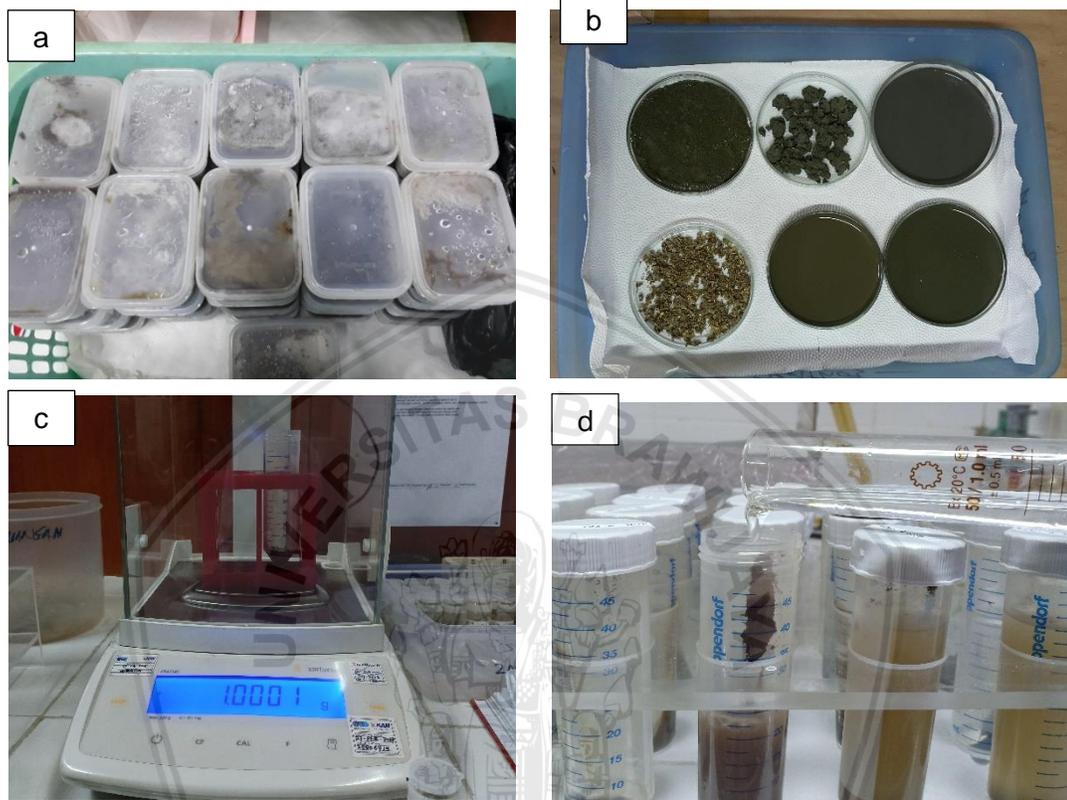
- Febrita. 2013. Studi dampak arsen (As) dan kadmium (Cd) terhadap penurunan kualitas lingkungan. *J. Tek. ITS* 3, D53–D58.
- Fernanda. 2012. Pengaruh Logam Berat Kadmium (Cd) Terhadap Metabolisme dan Fotosintesis di Laut. *Oseana XXXIII*, 25–31.
- Gerberding. 2005. Toxicological Profile For Nickel. U.S Department of health and human services. Atlanta: Georgia.
- John, D. A dan Leventhal, J.S.. 1995. Bioavaibility of Metals. In Edward A. du Bray (Ed.), Preliminary Compilation of Descriptive geoenvironmental Mineral Deposit models. U. S. Department of Interior, U. S. Geological Denver, Colorado.
- Jones R.P, Hassan S.M, Rodgers Jr J.H. (2008): Influence of contact duration on sediment-associated copper fractionation and bioavailability. *Ecotoxicology Environment Safety*. 71:104-16
- Kabwadza-Corner, P., Munthali, M.W., Johan, E., Matsue, N., 2014. Comparative Study of Copper Adsorptivity and Selectivity toward Zeolites. *Am. J. Anal. Chem.* 05, 395–405. <https://doi.org/10.4236/ajac.2014.57048>
- Khairunnisa. 2017. Partisi Geokimiawi Logam Berat Cu dan Zn Dalam Sedimen di Perairan Teluk Banten, Banten. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB, Bogor.
- Kobielska, P.A., Howarth, A.J., Farha, O.K., Nayak, S. 2018. Metal–organic Frameworks for Heavy Metal Removal from Water. *Coord. Chem. Rev.* 358, 92–107. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2017.12.010>.
- Lestari. 2008. Distribusi dan Partisi Geokimia Logam Berat Dalam Sedimen Di Teluk Jakarta. Thesis. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Studi Ilmu Kelautan. Universitas Indonesia.
- Puspasari, Reny. 2017. Logam Dalam Ekosistem Perairan. *Makara Sains*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta.
- Quevauviller, P. H., Ure A., Muntau H., Griepink B. 1993. Improvement of analytical measurements within the BCR-programme: single and sequential extraction procedures applied to soil and sediment analysis. *Intern J. Environ. Anal. Chem.* 51:129-134.
- Rahman, Rizqi. 2012. Konsentrasi Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) Pada Fraksi Total dan Fraksi Labil Dalam Sedimen Perairan Teluk Jakarta. Skripsi. Departemen

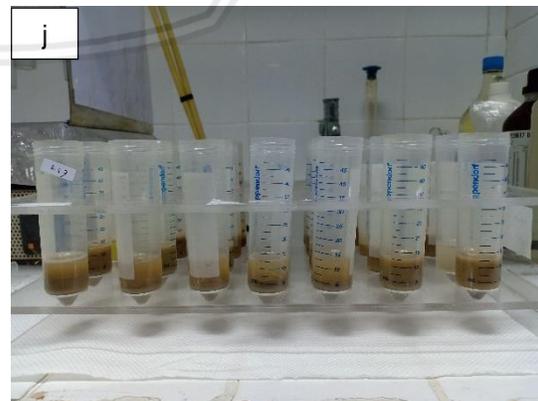
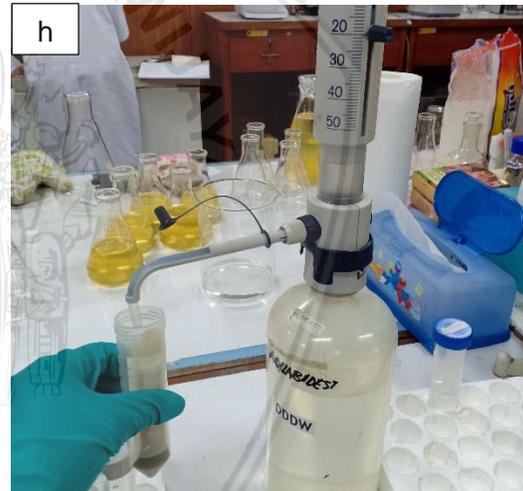
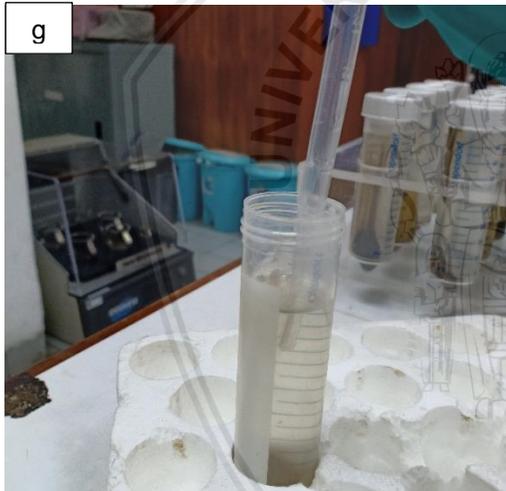
- Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB. Bogor.
- Rochyatun, E., Rozak A. 2007. Pemantauan kadar logam berat dalam sedimen di perairan Teluk Jakarta. *Makara Sains*. 11(1):28-36
- Sahara, E., Widihati, I. A. G., Putra, I. G. D. 2015. Fraksinasi dan bioavailabilitas logam berat Fe dan Mn pada sedimen di Pelabuhan Benoa. *J Kim*. 9(1):124131.
- Sanusi, H. S. 2006. Kimia Laut, Proses Fisik Kimia dan Interaksinya Dengan Lingkungan. Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. 188 hal.
- Sihono, D. 2014. Toksisitas Tembaga (Cu) terhadap Hematologi, Bioakumulasi, Sintasan dan Pertumbuhan Juvenil Ikan Patin (*Pangasius* sp.).
- Singh., M. Gosh. 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by products. *Environmental research*. ISSN 1589 1623.
- Sundaray, SK., J. Hazard Mater., Nayak BB., Lin S., Bhatta D. 2011. Geochemical speciation and risk assessment of heavy metals in the river estuarine sediments—a case study: Mahanadi basin, India. 186 (2-3):1837-46 doi 10.1016
- Supriadi. 2016. Analisis Kadar Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Merkuri (Hg) Pada Air Laut di Wisata Pantai Akkarena dan Tanjung Bayang Makassar. Skripsi. UIN Alauddin Makassar.
- Wang, W.X., Q.L. Yan, W. Fan, W., Y. Xu. 2002. Bioavailability of sedimentary metals from a contaminated bay. *Marine Ecology Progress Series* 240: 27-38.
- Werolangi, S., Samawi, M. F., Rastina., Tahir, A., Faizal, A., Massinai, A. 2016. Bioavailability of Pb and Cu in sediments of vegetated seagrass, *Enhalus acoroides*, from Spermonde Islands, Makassar, South Sulawesi, Indonesia. *Res. J. Environ. Toxicol*. 10(2):126-134
- Wisudyawati, Dita. 2014. Studi Perbandingan Kemampuan *Skeletonema* sp. Dan *Chaetoceros* sp. Sebagai Agen Bioremediasi (Fito-Akumulasi) Terhadap Logam Berat Timbal (Pb). Skripsi. Fakultas Perikanan Dan Kelautan, Universitas Airlangga. Surabaya.
- Yu, X., Y. Yana., W. Wang, 2010. *The Distribution and Speciation of Trace Metals in Surface Sediments from The Pearl River Estuary and The Daya Bay, Southern China*. *Marine Pollution Bulletin*, 60 : 1364-1371

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian

#### Dokumentasi prosedur fraksinasi







Keterangan gambar :

- a. Sampel sedimen basah
- b. Sampel sedimen yang akan dikeringkan
- c. Penimbangan 1 gram sampel sedimen kering
- d. Penambahan larutan pereaksi
- e. Pengocokan sampel dengan kecepatan  $30 \pm 10$  rpm
- f. Sampel disentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm
- g. Proses dekantasi
- h. Proses pembilasan residu fraksi
- i. Proses pemanasan sampel menggunakan *water bath*
- j. Sampel hasil dipanaskan dalam *water bath*
- k. Pemandahan sampel ke dalam *vessel tube*
- l. Proses fraksi residual menggunakan *microwave digest*

## Lampiran 2. Kondisi Lingkungan Pengambilan Sampel

Data kondisi lingkungan perairan pengambilan sampel

Stasiun	Suhu (C)	pH	Salinitas (ppt)	Kedalaman (m)
1	28.9	8.12	32.2	19
2	28.9	8.13	32.2	18
3	29.8	8.27	32.1	10
4	29.7	7.97	31.7	2
5	29.1	8.13	32.2	20
6	29.1	8.12	32.3	20
7	29.2	8.15	32.1	14
8	29	8.18	31.8	8
9	29	8.12	32.2	21
10	29.2	8.14	32.2	18
11	29.1	8.16	31.8	14
12	29.1	8.19	31.8	7

## Lampiran 3. Data Fraksi Logam Berat Ni dan Cu

Data fraksi logam berat Ni pada sedimen di Teluk Jakarta (mg/kg)

ID Sampel	Fraksi 1	Fraksi 2	Fraksi 3	Fraksi 4
1	5.46	6.68	2.99	10.72
2	5.46	7.69	3.82	11.95
3	5.26	9.12	5.70	8.27
4	4.25	7.09	3.00	11.54
5	4.65	7.08	2.37	12.96
6	7.28	6.68	2.99	13.78
7	6.30	7.28	6.14	9.03
8	6.69	7.70	3.41	9.91
9	4.83	4.22	2.36	9.44
10	5.66	6.27	5.48	9.28
11	6.00	7.28	4.86	9.68
12	6.08	9.12	6.95	10.73

Data fraksi logam berat Cu pada sedimen di Teluk Jakarta (mg/kg)

ID Sampel	Fraksi 1	Fraksi 2	Fraksi 3	Fraksi 4
1	0.29	1.59	3.05	13.29
2	0.70	0.91	4.26	13.99
3	4.80	2.81	2.38	23.81
4	6.72	5.53	33.35	30.83
5	0.29	0.77	1.58	10.34
6	0.29	0.50	2.65	11.60
7	0.68	0.49	5.57	12.37
8	0.29	0.37	15.79	17.50
9	0.56	2.12	3.97	7.78
10	0.56	0.64	4.79	10.06
11	0.83	1.45	8.40	15.65
12	2.75	4.30	17.53	15.40

## Lampiran 4. Persentase fraksi non-resisten dan resisten logam Ni dan Cu

Data persentase fraksi non-resisten dan fraksi resisten logam Ni

Stasiun	Fraksi non-resisten	Fraksi resisten
1	58.5%	41.5%
2	58.7%	41.3%
3	70.8%	29.2%
4	55.4%	44.6%
5	52.1%	47.9%
6	55.2%	44.8%
7	68.6%	31.4%
8	64.2%	35.8%
9	54.7%	45.3%
10	65.2%	34.8%
11	65.2%	34.8%
12	67.4%	32.6%

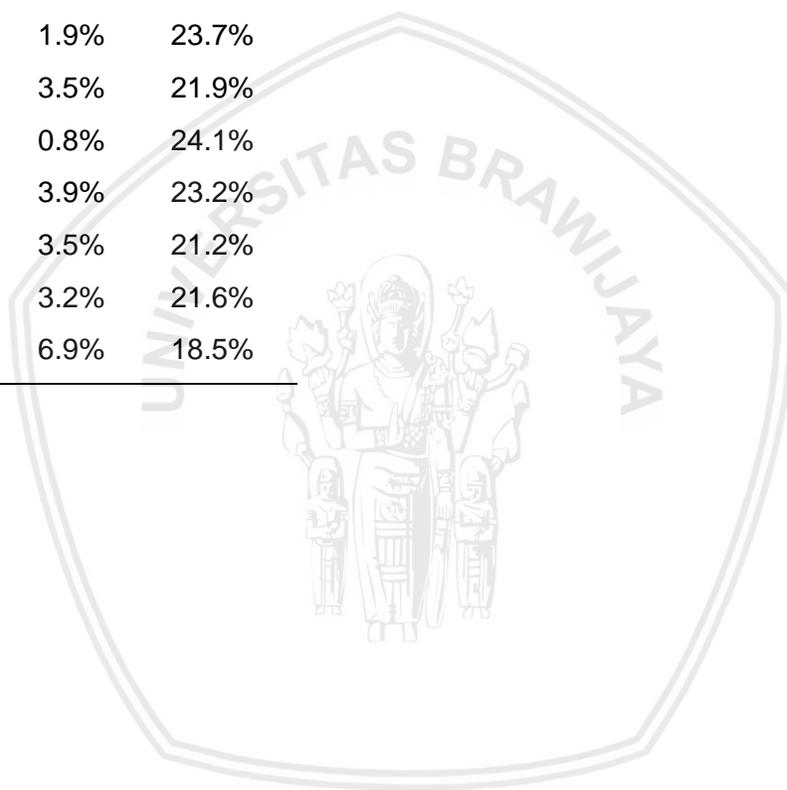
Data persentase fraksi non-resisten dan fraksi resisten logam Cu

Stasiun	Fraksi non-resisten	Fraksi resisten
1	27.1%	72.9%
2	29.5%	70.5%
3	29.6%	70.4%
4	59.7%	40.3%
5	20.3%	79.7%
6	22.9%	77.1%
7	35.3%	64.7%
8	48.4%	51.6%
9	46.1%	53.9%
10	37.3%	62.7%
11	40.6%	59.4%
12	61.5%	38.5%

Lampiran 5. Data persentase fraksi 1 (*exchangeable* dan karbonat) logam Ni dan Cu

Tabel data persentase fraksi 1 (*exchangeable* dan karbonat) logam Ni dan Cu untuk penilaian kondisi perairan

Stasiun	Cu	Ni
1	1.6%	21.1%
2	3.5%	18.9%
3	14.2%	18.6%
4	8.8%	16.4%
5	2.2%	17.2%
6	1.9%	23.7%
7	3.5%	21.9%
8	0.8%	24.1%
9	3.9%	23.2%
10	3.5%	21.2%
11	3.2%	21.6%
12	6.9%	18.5%



## Lampiran 6. Metode Pembuatan Larutan Pereaksi Fraksinasi

### Pembuatan Reagen dalam metode BCR SEP (*European Commission*)

1. Larutan A (Asam Asetat 0,11 mol/L)
  - a. Ambil 25 ml  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dan masukkan ke dalam labu ukur
  - b. Larutkan dengan 0,5 liter aquabides
  - c. Lalu buat hingga volume menjadi 1 liter
  - d. Akan didapatkan konsentrasi larutan 0,43 mol/L
  - e. Kemudian ambil 250 ml larutan pada poin d
  - f. Tepatkan hingga volume mencapai 1 liter dengan aquabides
  - g. Akan didapatkan konsentrasi larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,11 mol/L.
2. Larutan B (*Hydroxylamine Hydrochloride* 0,1 mol/L)
  - a. Ambil 6,95 gram  $\text{NH}_2\text{OH.HCL}$  dan masukkan ke dalam labu ukur
  - b. Larutkan dengan 900 ml aquabides
  - c. Atur pH tersebut hingga menjadi 2 dengan menambahkan  $\text{HNO}_3$  (2 mol/L)
  - d. Lalu, tepatkan hingga volume menjadi 1 liter
3. Larutan C (*Hydrogen Peroxide* 8,8 mol/L) sudah sesuai dengan larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% = 8,8 mol/L.
4. Larutan D (*Amonium Acetate* 1,0 mol/L)
  - a. Ambil 77,08 gram *amonium acetat*
  - b. Larutkan dengan 900 ml aquabides
  - c. Atur pH larutan hingga menjadi 2 dengan menambahkan  $\text{HNO}_3$  (2 mol/L)
  - d. Lalu, tepatkan hingga volume menjadi 1 liter dengan menambahkan aquabides.

## Lampiran 7. Metode Fraksinasi Bertingkat (BCR SEP-European Commission)

Berikut ini adalah metode fraksinasi bertingkat:

### 1. Acid Soluble (Fraksi 1)

- a. Ambil 1 gram sedimen kering dan masukkan ke dalam tabung sentrifus polietilen.
- b. Tambahkan 40 ml larutan A.
- c. *Shaker* sedimen pada kecepatan  $30 \pm 10$  rpm selama 16 jam dengan suhu ruangan  $22 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- d. Sentrifus sedimen pada kecepatan 3000 rpm selama 20 menit
- e. Simpan supernatan yang dihasilkan pada tabung polietilen (F1).
- f. Cuci residu yang didapat dengan menggunakan 20 ml aquabides.
- g. *Shaker* selama 15 menit dengan kecepatan  $30 \pm 10$  rpm.
- h. Sentrifus kembali dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 menit untuk memastikan residu benar – benar bersih.
- i. Buang supernatan yang dihasilkan dengan hati – hati agar residu tidak hilang.

### 2. Reducible (Fraksi 2)

- a. Residu yang berasal dari fraksi 1 ditambahkan larutan B sebanyak 40 ml.
- b. *Shaker* sedimen pada kecepatan  $30 \pm 10$  rpm selama 16 jam dengan suhu ruangan  $22 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- c. Sentrifus sedimen pada kecepatan 3000 rpm selama 20 menit
- d. Simpan supernatan yang dihasilkan pada tabung polietilen (F2)
- e. Cuci residu yang didapat dengan menggunakan 20 ml aquabides
- f. *Shaker* selama 15 menit dengan kecepatan  $30 \pm 10$  rpm
- g. Sentrifus kembali dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 menit untuk memastikan residu benar – benar bersih dan buang supernatan yang dihasilkan.

### 3. Oxidizable (Fraksi 3)

- a. Residu yang berasal dari fraksi 2 ditambahkan sebanyak 10 ml larutan C
- b. Diamkan selama 1 jam pada suhu ruang
- c. Panaskan selama 1 jam dengan suhu  $85 \pm 2^\circ\text{C}$  pada *water bath*
- d. Kurangi volume menjadi sekitar 2 – 3 ml dengan pemanasan lebih lanjut dari tabung tidak tertutup
- e. Tambahkan 10 ml larutan C
- f. Panaskan kembali selama 1 jam dengan suhu  $85 \pm 2^\circ\text{C}$  pada *water bath*
- g. Kemudian didinginkan untuk kemudian tambahkan 50 ml larutan D
- h. *Shaker* sampel pada kecepatan  $30 \pm 10$  rpm selama 16 jam dengan suhu ruangan  $22 \pm 5^\circ\text{C}$
- i. Sentrifus sampel pada kecepatan 3000 rpm selama 20 menit
- j. Simpan supernatan yang dihasilkan pada tabung polietilen (F3)
- k. Cuci residu yang didapat dengan menggunakan 20 ml aquabides
- l. *Shaker* selama 15 menit dengan kecepatan  $30 \pm 10$  rpm
- m. Sentrifus kembali dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 menit untuk memastikan residu benar – benar bersih
- n. Buang supernatan yang dihasilkan dengan hati – hati agar residu tidak hilang

### 4. Residual (Fraksi 4)

- a. Residu yang berasal dari fraksi 3 ditambahkan *Aqua Regia* yakni  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{HCL}$  (1:3) ditepatkan 50 ml dengan aquabides
- b. Panaskan dengan *microwave* unit dengan suhu  $180 \pm 5^\circ\text{C}$  selama 10 menit
- c. Diamkan selama 9,5 menit dengan suhu yang sama
- d. Simpan sebagai fraksi residual (F4).