

**KADAR METALLOTHIONEIN PADA *Sulcospira testudinaria* DARI ALIRAN
SUNGAI BRANTAS WILAYAH BLITAR DAN TULUNGAGUNG, JAWA TIMUR**

SKRIPSI

Oleh :

**AJENG DIANA PRATIWI
NIM. 155080100111013**



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

**KADAR METALLOTHIONEIN PADA *Sulcospira testudinaria* DARI ALIRAN
SUNGAI BRANTAS WILAYAH BLITAR DAN TULUNGAGUNG, JAWA TIMUR**

SKRIPSI

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

Oleh :

**AJENG DIANA PRATIWI
NIM. 155080100111013**



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

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

KADAR METALLOTHIONEIN PADA *Sulcospira testudinaria* DARI ALIRAN SUNGAI BRANTAS WILAYAH BLITAR DAN TULUNGAGUNG, JAWA TIMUR

Oleh :
AJENG DIANA PRATIWI
NIM. 155080100111013

telah dipertahankan di depan penguji
pada tanggal 10 Mei 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat



Mengetahui,
Ketua Jurusan MSP

Dr. Ir. M. Firdaus, MP
NIP. 19680919 200501 1 001

Tanggal : 21 MAY 2019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Dr. Asus Maizar S.H., S.Pi, MP
NIP. 19720529 200312 1 001

Tanggal : 21 MAY 2019



LEMBAR IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul : **KADAR METALLOTHIONEIN PADA *Sulcospira testudinaria* DARI ALIRAN SUNGAI BRANTAS WILAYAH BLITAR DAN TULUNGAGUNG, JAWA TIMUR**

Nama : Ajeng Diana Pratiwi

NIM : 155080100111013

Program Studi : Manajemen Sumberdaya Perairan

PENGUJI PEMBIMBING

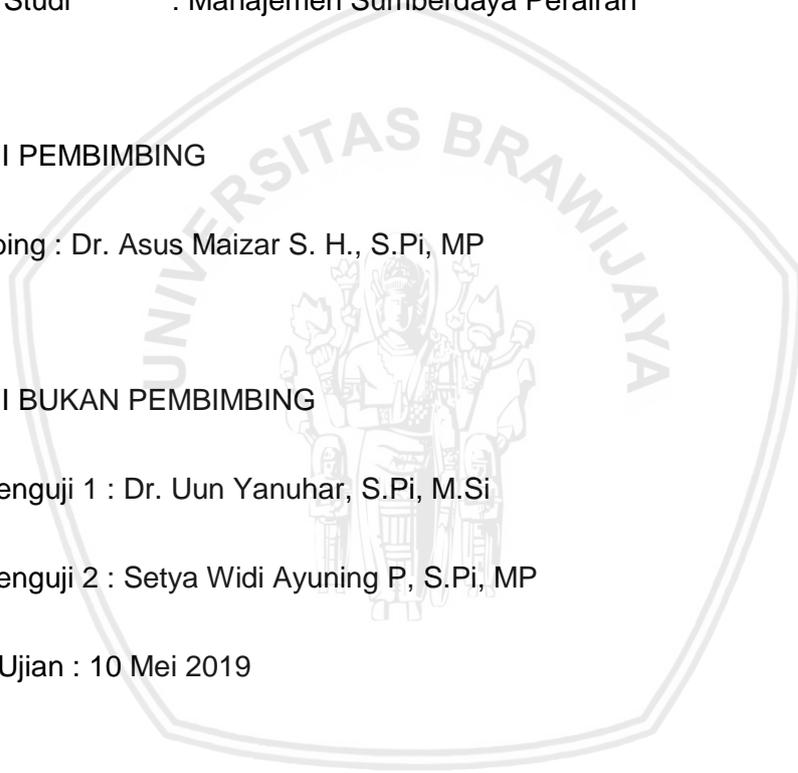
Pembimbing : Dr. Asus Maizar S. H., S.Pi, MP

PENGUJI BUKAN PEMBIMBING

Dosen Penguji 1 : Dr. Uun Yanuhar, S.Pi, M.Si

Dosen Penguji 2 : Setya Widi Ayuning P, S.Pi, MP

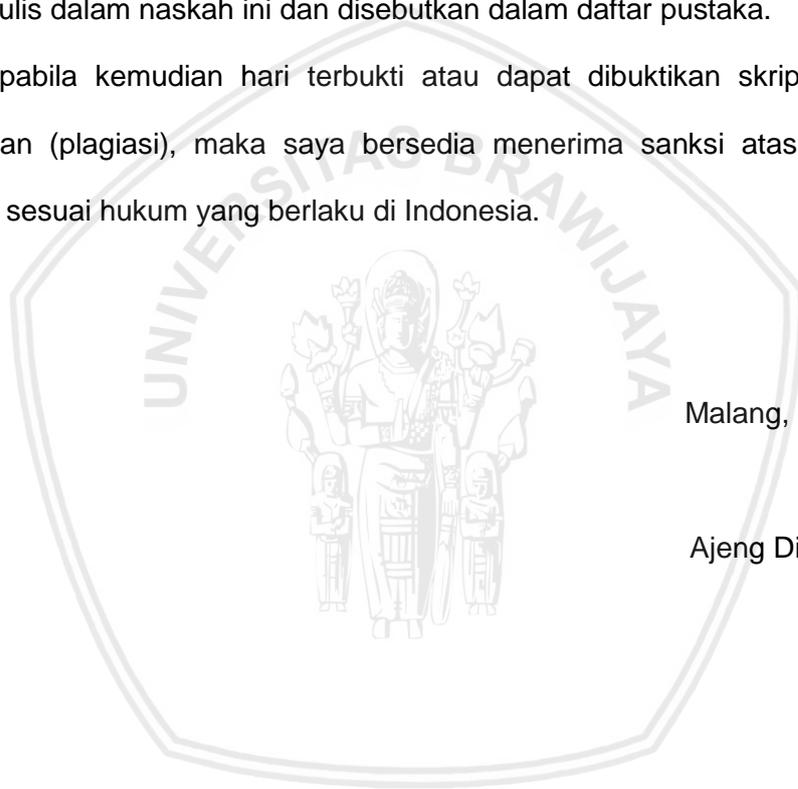
Tanggal Ujian : 10 Mei 2019



PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi dengan judul “Kadar Metallothionein pada *Sulcospira testudinaria* dari Aliran Sungai Brantas Wilayah Blitar dan Tulungagung, Jawa Timur” yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil penjiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.



Malang, April 2019

Ajeng Diana Pratiwi

UCAPAN TERIMA KASIH

Tidak lupa saya sebagai penulis menyampaikan banyak terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan Rahmat, Karunia, kesehatan serta kelancaran dalam proses penelitian skripsi ini.
2. Bapak Eko Suparman, Ibu Lilik Suhartini, Adik Rizki Bayu Patriatama serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan doa.
3. Bapak Dr. Asus Maizar S.H., S.Pi, MP selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan masukan dalam seluruh proses pelaksanaan penelitian skripsi.
4. Bapak Budi selaku laboran Lab FAAL Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya yang telah membantu pada proses penelitian skripsi.
5. Teman-teman MSP angkatan 2015, Tim Pak Asus dan Tim Keong (Triyas, Rafiq dan Fauzul) yang selalu bekerja sama dan saling memberikan dukungan serta motivasi satu sama lain.
6. Teman-teman Tim Blitar dan Tulungagung (Aang, Arief dan Bertha) yang selalu bekerja sama dan saling memberikan dukungan satu sama lain serta Dinna Luthfiya yang telah bersedia meluangkan tenaganya untuk kelancaran penelitian Tim Blitar dan Tulungagung.
7. Sahabat sekaligus penyemangat, khususnya Adzra, Ayu dan Esa yang selalu setia menemani, mendengarkan setiap keluh kesah dan selalu memberikan dukungannya.

Malang, April 2019

Ajeng Diana Pratiwi

RINGKASAN

AJENG DIANA PRATIWI. Kadar Metallothionein pada *Sulcospira testudinaria* dari Aliran Sungai Brantas Wilayah Blitar dan Tulungagung, Jawa Timur (Dibawah bimbingan **Dr. Asus Maizar S.H., S.Pi, MP**).

Sungai Brantas merupakan sungai terpanjang di Provinsi Jawa Timur yang alirannya memiliki peranan penting bagi kehidupan masyarakat. Kualitas air di Sungai Brantas mengalami penurunan yang disebabkan oleh meningkatnya beban pencemaran di setiap aliran sungainya. Salah satu jenis bahan pencemar yang terdapat di aliran Sungai Brantas adalah logam berat yang berasal dari limbah industri, rumah tangga maupun pertanian yang masuk ke dalam aliran sungai. Gastropoda, salah satunya yaitu spesies *Sulcospira testudinaria* memiliki kemampuan dalam mengakumulasi logam berat melalui saluran pernapasan, saluran pencernaan serta organ kulit. *Sulcospira testudinaria* memiliki protein yang berperan untuk mengikat logam berat di jaringan tubuhnya, yang disebut dengan metallothionein. Metallothionein yang merupakan biomarker pada lingkungan perairan dapat digunakan sebagai penanda biologis adanya pencemaran logam berat.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari-Maret 2019 di aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung. Kabupaten Blitar dan Kabupaten Tulungagung dipilih sebagai tempat penelitian dikarenakan wilayah ini didominasi oleh lahan pertanian dan pemukiman warga. Selain itu, kedua wilayah ini juga sedang berkembang berbagai sektor industri, baik skala kecil maupun besar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kadar logam berat Pb, Hg, Cd dan kadar Metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* serta menganalisis hubungan kadar logam berat Pb, Hg dan Cd terhadap kadar Metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria*. Metode yang digunakan adalah metode deskriptif dengan teknik survei dengan melalui penentuan tiga stasiun penelitian. Pada setiap stasiun ditentukan tiga sub stasiun dan pada masing-masing sub stasiun diambil sampel *Sulcospira testudinaria* serta diukur kualitas air pendukungnya, yaitu suhu, pH dan oksigen terlarut dengan dilakukan tiga kali pengulangan. *Sulcospira testudinaria* dianalisis kadar logam berat (Pb, Hg dan Cd) keseluruhan organ menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) serta dilakukan analisis metallothionein menggunakan prosedur ELISA (*Enzym-Linked Immunosorbent Assay*).

Kadar logam berat (Pb, Hg dan Cd) pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* di aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung diperoleh rata-rata pada stasiun 1 Pb berkisar 0,0287-0,0523 mg/kg, Hg berkisar 0,0294-0,0366 mg/kg dan Cd berkisar 0,0201-0,0267 mg/kg. Rata-rata di stasiun 2 Pb berkisar 0,0456-0,0578 mg/kg, Hg berkisar 0,0250-0,0319 mg/kg dan Cd berkisar 0,0148-0,0208 mg/kg. Rata-rata di stasiun 3 Pb berkisar 0,0322-0,0581 mg/kg, Hg berkisar 0,0293-0,0396 mg/kg dan Cd berkisar 0,0156-0,0238 mg/kg. Secara keseluruhan, kadar logam berat Pb, Hg dan Cd masih dalam kategori aman. Kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* di aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung diperoleh rata-rata pada stasiun 1 berkisar 0,4716-0,6443 ng/mL, stasiun 2 berkisar 0,5953-0,6621 ng/mL dan stasiun 3 berkisar 0,3612-0,5711 ng/mL. Hasil pengukuran kualitas air untuk parameter suhu di stasiun 1 berkisar 27-28,1°C, stasiun 2 berkisar 28-31,5°C dan stasiun 3 berkisar 28,3-29°C. Oksigen terlarut di stasiun 1 berkisar 5,4-8,1 mg/L,

stasiun 2 berkisar 3,2-8 mg/L dan stasiun 3 berkisar 2,9-9 mg/L. pH di stasiun 1 berkisar 6,3-7,2, stasiun 2 berkisar 6,4-8,3 dan stasiun 3 berkisar 7,3-7,69. Hasil analisis regresi linier menunjukkan bahwa kadar logam berat (Pb, Hg dan Cd) pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* dengan kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* terdapat hubungan yang sangat kuat, sehingga metallothionein dapat dijadikan sebagai biomarker dalam pemantauan kualitas perairan.



KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat serta karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Penelitian Skripsi dengan judul "**Kadar Metallothionein pada *Sulcospira testudinaria* dari Aliran Sungai Brantas Wilayah Blitar dan Tulungagung, Jawa Timur**". Laporan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar sarjana di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya, Malang.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian skripsi ini tidak lepas dari kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sehingga tujuan dalam penyusunan laporan selanjutnya dapat tercapai.

Malang, April 2019

Ajeng Diana Pratiwi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR IDENTITAS TIM PENGUJI	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
RINGKASAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Kegunaan Penelitian	5
1.5 Waktu dan Tempat Penelitian	6
2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sungai	7
2.2 Biomarker Lingkungan Perairan	8
2.3 Gastropoda	9
2.3.1 Klasifikasi <i>Sulcospira testudinaria</i>	10
2.3.2 Morfologi Gastropoda	11
2.3.3 Fisiologi Gastropoda	12
2.3.4 Habitat dan Kebiasaan Makan Gastropoda	15
2.4 Metallothionein	15
2.4.1 Mekanisme Pengikatan Logam Berat oleh Metallothionein	18
2.4.2 Pengamatan Metallothionein dengan Metode ELISA	21
2.5 Logam Berat	22
2.5.1 Timbal (Pb)	23
2.5.2 Merkuri (Hg)	23
2.5.3 Kadmium (Cd)	24
2.5.4 Penyerapan Logam Berat oleh Gastropoda	25
2.6 Parameter Kualitas Air	26
2.6.1 Suhu	26
2.6.2 <i>power of Hydrogen</i>	27
2.6.3 Oksigen Terlarut	28
3. METODE PENELITIAN	29
3.1 Materi Penelitian	29
3.2 Alat dan Bahan	29
3.3 Metode Penelitian	29
3.3.1 Data Primer	30
3.3.2 Data Sekunder	30
3.4 Prosedur Penelitian	30
3.4.1 Penentuan Stasiun Penelitian	31
3.4.2 Pengambilan Sampel Gastropoda	33

3.4.3 Pengujian Sampel <i>Sulcospira testudinaria</i> di Laboratorium.....	33
3.4.4 Pengukuran Parameter Kualitas Air Sungai	37
3.5 Analisa Data.....	38
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Kondisi Umum Stasiun 1	39
4.1.1 Sub Stasiun 1	39
4.1.2 Sub Stasiun 2	40
4.1.3 Sub Stasiun 3	41
4.2 Kondisi Umum Stasiun 2	41
4.2.1 Sub Stasiun 1	42
4.2.2 Sub Stasiun 2	42
4.2.3 Sub Stasiun 3	43
4.3 Kondisi Umum Stasiun 3	44
4.3.1 Sub Stasiun 1	44
4.3.2 Sub Stasiun 2	45
4.3.3 Sub Stasiun 3	46
4.4 Panjang Cangkang Sampel <i>Sulcospira testudinaria</i> di Setiap Stasiun.....	46
4.5 Kadar Logam Berat pada Keseluruhan Organ <i>Sulcospira testudinaria</i>	48
4.6 Kadar Metallothionein pada Keseluruhan Organ <i>Sulcospira testudinaria</i> ..	52
4.7 Hubungan Kadar Logam Berat dengan Kadar Metallothionein pada Keseluruhan Organ <i>Sulcospira testudinaria</i>	54
4.7.1 Stasiun 1.....	55
4.7.2 Stasiun 2.....	56
4.7.3 Stasiun 3.....	58
4.8 Pengaruh Kadar Logam Berat Terhadap Kadar Metallothionein pada Keseluruhan Organ <i>Sulcospira testudinaria</i>	59
4.9 Hasil Pengukuran Kualitas Air	60
4.9.1 Suhu	60
4.9.2 Oksigen Terlarut	62
4.9.3 <i>power of Hydrogen</i> (pH).....	64
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN.....	79

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Referensi kadar metallothionein pada Molluska	17
2. Panjang Cangkang <i>Sulcospira testudinaria</i>	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Alur Rumusan Masalah.....	4
2. Paradigma Biomarker untuk Kesehatan Lingkungan	8
3. <i>Sulcospira testudinaria</i>	10
4. Bagian Cangkang Gastropoda.....	11
5. Anatomi Internal Gastropoda	13
6. Struktur Metallothionein	19
7. Peta Lokasi Pengambilan Sampel (A) Stasiun 1 (B) Stasiun 2 (C) Stasiun 3	32
8. Sub Stasiun 1	40
9. Sub Stasiun 2	40
10. Sub Stasiun 3	41
11. Sub Stasiun 1	42
12. Sub Stasiun 2	43
13. Sub Stasiun 3	44
14. Sub Stasiun 1	45
15. Sub Stasiun 2	46
16. Sub Stasiun 3	46
17. <i>Sulcospira testudinaria</i> di (A) Pematang Sungai (B) Batuan (C) Sedimen....	47
18. Kadar Logam Berat (Pb, Hg dan Cd) di Keseluruhan Organ <i>Sulcospira testudinaria</i>	48
19. Kadar Metallothionein pada <i>Sulcospira testudinaria</i>	52
20. Grafik hubungan kadar logam berat (a) Pb (b) Hg dan (c) Cd dengan kadar Metallothionein di Stasiun 1	55
21. Grafik hubungan kadar logam berat (a) Pb (b) Hg dan (c) Cd dengan kadar Metallothionein di Stasiun 2	56
22. Grafik hubungan kadar logam berat (a) Pb (b) Hg dan (c) Cd dengan kadar Metallothionein di Stasiun 3	58
23. Hasil Pengukuran Suhu	61
24. Hasil Pengukuran Oksigen Terlarut	62
25. Hasil Pengukuran pH	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Alat dan Bahan Penelitian.....	79
2. Data Hasil Pengukuran Logam Berat keseluruhan Organ <i>Sulcospira testudinaria</i>	80
3. Data Hasil Pengukuran Metallothionein pada Keseluruhan Organ <i>Sulcospira testudinaria</i>	84
4. Data Hasil Pengukuran Kualitas Air	86
5. Output Analisis Regresi Korelasi Model Linier Sederhana	87
6. Standarisasi Data dengan Nilai Z.....	96
7. Dokumentasi Penelitian	99



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai Brantas merupakan sungai terpanjang di Provinsi Jawa Timur yang alirannya memiliki peranan penting bagi kehidupan masyarakat, seperti aktivitas pertanian, industri, rumah tangga, pariwisata maupun pembangkit listrik. Berdasarkan Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 268/KPTS/M/2010 tentang Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Brantas, Sungai Brantas memiliki panjang kurang lebih 320 km serta luasnya kurang lebih 14.103 km² yang melingkupi 25% luas Provinsi Jawa Timur atau sekitar 9% luas Pulau Jawa. Aliran Sungai Brantas melewati 9 kabupaten, yaitu Kabupaten Sidoarjo, Mojokerto, Malang, Blitar, Kediri, Nganjuk, Jombang, Tulungagung dan Trenggalek serta melewati 6 kota, yaitu Kota Surabaya, Mojokerto, Malang, Kediri, Blitar dan Batu. Kabupaten Blitar dan Kabupaten Tulungagung dipilih sebagai tempat penelitian dikarenakan wilayah ini didominasi oleh lahan pertanian dan pemukiman warga. Selain itu, kedua wilayah ini juga sedang berkembang berbagai sektor industri, baik skala kecil maupun besar, seperti industri minyak kelapa sawit, industri perlengkapan militer, industri pengolahan makanan maupun industri perkakas rumah tangga. Tata guna lahan tersebut menjadikan kedua wilayah ini dipilih untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas air di aliran Sungai Brantas.

Sungai merupakan suatu ekosistem yang bersifat dinamis, yang artinya setiap waktu dapat mengalami perubahan kualitas. Peningkatan jumlah penduduk dapat mengakibatkan semakin meningkatnya jumlah polutan atau bahan pencemar yang terdapat di aliran sungai. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Putra, *et al.* (2014) yang menyatakan bahwa aktivitas masyarakat yang memanfaatkan air sungai dapat berdampak pada kualitas air sungai tersebut.

Dampak tersebut meliputi perubahan faktor fisika dan kimia perairan serta struktur komunitas di suatu sungai. Menurut Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Jawa Timur tahun 2017, kualitas air di Sungai Brantas mengalami penurunan yang disebabkan oleh meningkatnya beban pencemaran di setiap aliran sungainya.

Salah satu jenis bahan pencemar yang terdapat di aliran Sungai Brantas adalah logam berat, seperti Pb, Hg dan Cd yang berasal dari limbah industri, rumah tangga maupun pertanian yang masuk ke dalam aliran sungai. Limbah tersebut apabila tidak dikelola dengan tepat maka akan menimbulkan dampak buruk terhadap kualitas air sungai serta organisme yang hidup di dalamnya. Logam berat merupakan logam yang bersifat toksik dalam lingkungan perairan, sulit untuk didegradasi serta dapat terakumulasi dalam air, sedimen dan tubuh organisme perairan (Sabbir, *et al.*, 2018). Selain bersifat toksik bagi lingkungan perairan, logam berat juga dapat membahayakan makhluk hidup yang terpapar, terutama pada manusia. Dampak logam berat bagi manusia salah satunya adalah gangguan kesehatan, seperti terganggunya organ pernapasan, sistem saraf serta dapat menyebabkan kelumpuhan apabila terpapar dalam jumlah yang tinggi.

Organisme perairan yang dipilih untuk menjadi objek pemantauan kondisi kualitas air di sungai adalah Gastropoda. Hal ini dikarenakan sebagian besar siklus hidupnya berada di dalam perairan, mobilitasnya rendah, jumlahnya banyak serta dapat ditemukan di setiap sungai. Gastropoda juga memiliki kemampuan dalam mengakumulasi logam berat melalui saluran pernapasan, saluran pencernaan serta organ kulit. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Setiawan (2013) yang menyatakan bahwa biota yang hidup serta mencari makan pada sedimen perairan berpeluang lebih besar untuk terkontaminasi logam berat, salah satunya adalah gastropoda. Menurut Budiastuti, *et al.* (2016), *Sulcospira*

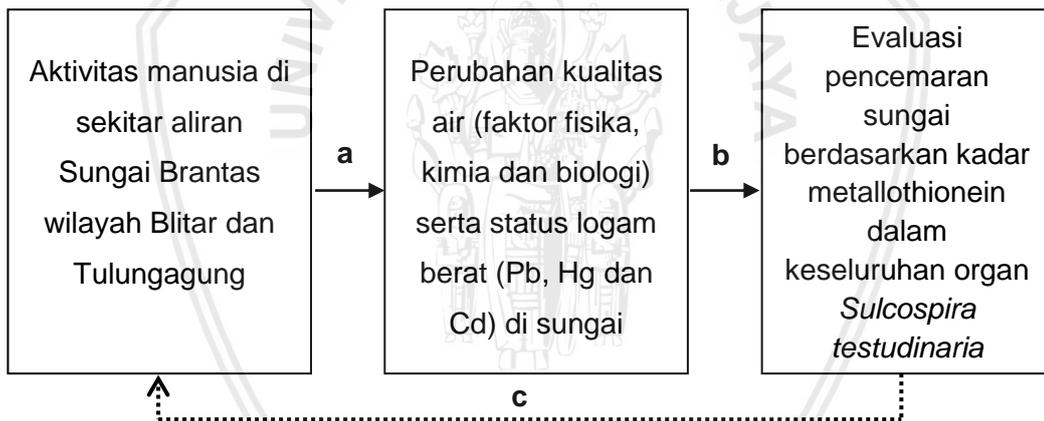
testudinaria merupakan organisme yang habitatnya di dasar perairan yang mampu mengakumulasi logam berat, seperti logam timbal (Pb) di dalam jaringan tubuhnya.

Sulcospira testudinaria memiliki protein yang berperan untuk mengikat logam berat di jaringan tubuhnya, yang disebut dengan metallothionein. Menurut Calatayud, *et al.* (2018), setiap organisme memiliki mekanisme fisiologis yang berbeda untuk mengontrol zat toksik yang masuk ke dalam tubuhnya. Salah satu mekanisme tersebut adalah adanya metallothionein yang merupakan protein pengikat logam yang berperan untuk mengikat logam di dalam jaringan tubuh. Menurut Dewi, *et al.* (2014), adanya metallothionein pada jaringan tubuh suatu organisme mengindikasikan bahwa terdapat pencemaran logam berat di perairan atau habitat organisme tersebut, atau dengan kata lain metallothionein merupakan penanda biologis adanya pencemaran logam berat.

Biomarker pada lingkungan perairan berfungsi untuk memonitoring kesehatan lingkungan dengan menganalisis respon fisiologis tubuh suatu individu melalui senyawa kimia yang digunakan pada membran protein. Menurut Dewi, *et al.* (2014), biomarker dapat digunakan untuk mengevaluasi beban pencemaran di lingkungan perairan, sehingga dapat dijadikan sebagai tanda awal adanya ancaman bagi lingkungan tersebut. Berdasarkan penjelasan diatas, maka diperlukan penelitian tentang biomarker, yakni kadar metallothionein pada *Sulcospira testudinaria* guna membantu untuk mengontrol kualitas perairan di aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung, serta dari hasil kontroling tersebut dapat ditentukan tindakan berikutnya untuk menjaga kondisi perairan di sungai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan survei lokasi yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa pada ketiga stasiun aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung terdapat aktivitas masyarakat di sekitar sungai, yang meliputi kegiatan industri, pemukiman, pertanian serta penyebrangan menggunakan kapal. Aktivitas-aktivitas tersebut dapat menurunkan kualitas air serta menambah beban masukan logam berat di aliran Sungai Brantas. Kandungan logam berat dalam air dapat mempengaruhi kadar metallothionein sebagai protein pengikat logam berat pada tubuh organisme perairan, salah satunya yaitu gastropoda spesies *Sulcospira testudinaria*. Alur rumusan masalah pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Alur Rumusan Masalah

Keterangan :

- a. Aktivitas manusia yang berada di sekitar aliran Sungai Brantas dapat mempengaruhi kualitas air, yang meliputi faktor fisika, kimia serta biologi. Selain itu, aktivitas masyarakat setempat, seperti aktivitas rumah tangga, pertanian dan peternakan dapat menjadi sumber masuknya logam berat ke dalam sungai.

- b. Kandungan logam berat seperti Pb, Hg dan Cd dalam air dapat mempengaruhi kadar metallothionein sebagai protein pengikat logam berat pada tubuh organisme, salah satunya yaitu *Sulcospira testudinaria*.
- c. Analisis kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* dapat digunakan sebagai evaluasi kondisi perairan serta pendugaan status logam berat di aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis kadar logam berat (Pb, Hg dan Cd) pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* dari aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung.
2. Menganalisis kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* dari aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung.
3. Menganalisis hubungan kadar logam berat (Pb, Hg dan Cd) dengan kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* dari aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung.

1.4 Kegunaan Penelitian

Kegunaan penelitian ini adalah sebagai bahan evaluasi biomarker metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* untuk mengetahui kondisi perairan serta pendugaan status logam berat di aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung, sehingga dapat menentukan langkah dasar dalam pengelolaan secara lestari dan berkelanjutan.

1.5 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari-Maret 2019. Pengambilan sampel gastropoda *Sulcospira testudinaria* dan sampel air dilakukan di aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung. Analisis kadar metallothionein dengan prosedur ELISA dilakukan di Laboratorium Fisiologi dan Ilmu FAAL Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya, sedangkan analisis kadar logam berat Pb, Hg dan Cd dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, Malang.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai

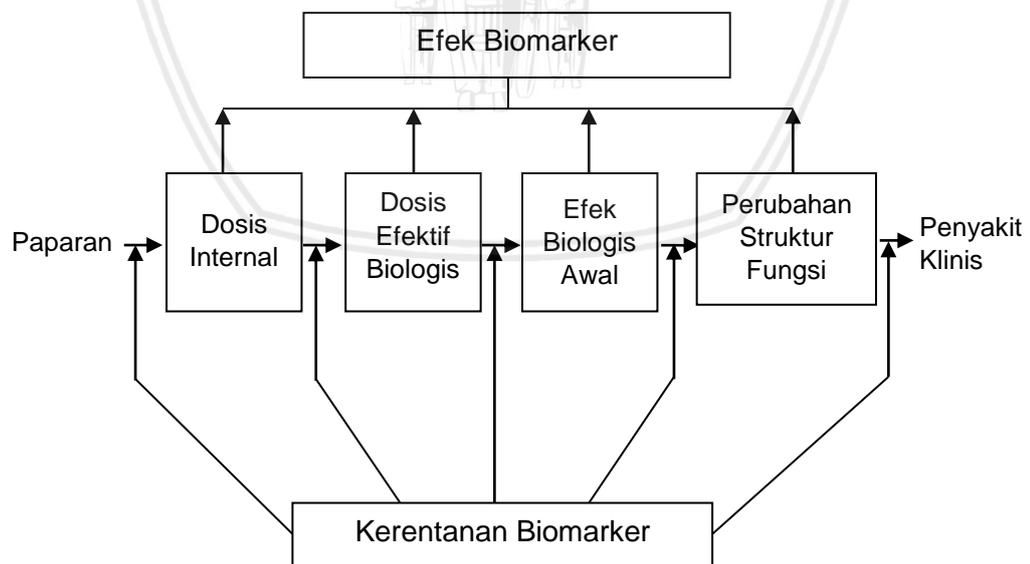
Sungai merupakan ekosistem air tawar yang bersifat dinamis, yang artinya kualitas airnya dapat mengalami perubahan setiap waktu. Menurut Suryanti, *et al.* (2013), sungai merupakan ekosistem lotik yang memiliki arus serta terdiri dari komponen biotik dan abiotik yang berhubungan dan saling berinteraksi. Sungai Brantas merupakan sungai terpanjang di Provinsi Jawa Timur. Berdasarkan Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 268/KPTS/M/2010 tentang Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Brantas, Sungai Brantas terdiri dari empat Daerah Aliran Sungai (DAS), yaitu DAS Brantas, DAS Tengah, DAS Ringin Bandulan dan DAS Kondang Merak. Menurut Ekawanty, *et al.* (2013), daerah aliran sungai merupakan keseluruhan daerah sungai yang topografinya dibatasi oleh punggung-punggung bukit yang berfungsi untuk menampung, menyimpan dan mengalirkan air hujan melalui anak-anak sungai.

Aliran sungai Brantas melewati beberapa kabupaten dan kota di Jawa Timur, termasuk diantaranya Kabupaten Blitar dan Tulungagung. Menurut Putra (2016), salah satu anak Sungai Brantas yang mengalir di Kabupaten Blitar adalah Kali Bogel yang bermuara di hulu bendungan Lodoyo. Menurut Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Tulungagung (2013), DAS Brantas di Kabupaten Tulungagung terdiri dari dua Sub DAS, yaitu Sub DAS Ngrowo-Ngasinan dan Sub DAS Lahar. Sub DAS Ngrowo-Ngasinan terdiri dari anak-anak sungai, seperti Sungai Kalidawir, Sungai Ngasinan, Sungai Song, Sungai Klantur, Sungai Babaan, Sungai Wudu, Sungai Gondang, Sungai Bajalpicisan, Sungai Keboireng, dan sebagainya. Sub DAS Lahar terdiri dari anak-anak sungai, diantaranya Sungai Catut dan Sungai Boto.

2.2 Biomarker Lingkungan Perairan

Menurut Seitz dan Schumacher (2015), biomarker merupakan suatu istilah yang digunakan untuk menunjukkan karakteristik yang dapat diukur serta diamati secara objektif. Biomarker berfungsi sebagai indikator proses biologis dalam tingkat kesehatan atau respon tubuh terhadap adanya ancaman lingkungan. Menurut Dewi, *et al.* (2014), biomarker dapat digunakan sebagai penanda awal adanya pencemaran yang menggunakan analisis kimia untuk mengetahui respon-respon individu, terutama respon setiap organ terhadap kondisi lingkungan perairan. Menurut Peters, *et al.* (2005), analisis biomarker dapat digunakan untuk memberikan informasi yang rinci untuk menjawab permasalahan tingkat kesehatan lingkungan. Kondisi suatu lingkungan dapat ditandai oleh struktur komunitas serta biomarker yang berbeda.

Menurut DeCaprio (2006), paradigma biomarker (**Gambar 2**) yang ditulis dalam laporan U.S. National Research Council (NRC) telah diterapkan pada bidang epidemiologi lingkungan.



Gambar 2. Paradigma Biomarker untuk Kesehatan Lingkungan (DeCaprio, 2006)

Paradigma biomarker tersebut menjelaskan bahwa adanya penyakit klinis pada suatu individu dapat disebabkan karena paparan xenobiotik. Paparan

tersebut dapat memberikan efek biomarker yang spesifik pada tubuh organisme. Efek biomarker adalah setiap perubahan kualitatif atau kuantitatif guna memprediksi gangguan kesehatan lingkungan atau potensi penurunan akibat adanya suatu paparan. Kerentanan biomarker merupakan kemampuan suatu organisme untuk merespon paparan dari xenobiotik secara spesifik. Menurut Hertika, *et al.* (2016), dalam menanggapi stress akibat paparan logam berat, organisme dapat menggunakan sistem pertahanan seperti pengucilan, kompartementalisasi serta pembentukan kompleks dan sintesis protein pengikat seperti metallothionein dan *phytochelatins*.

2.3 Gastropoda

Menurut Felder dan Camp (2009), gastropoda merupakan kelas dari filum Moluska yang memiliki beragam spesies dan habitat, baik di laut maupun daratan. Jenis gastropoda yang sering ditemukan adalah siput dan keong. Gastropoda termasuk jenis herbivora, detritivora dan karnivora. Sebagian besar spesiesnya adalah organisme benthik, tetapi ada beberapa yang merupakan organisme pelagis. Menurut Kuncoro (2004), gastropoda adalah organisme yang memiliki cangkang berbentuk tabung yang melingkar ke arah kanan atau searah dengan jarum jam, tetapi beberapa spesies memiliki cangkang yang melingkar ke arah kiri. Gastropoda memiliki kepala dan kaki yang akan menjulur keluar apabila sedang berjalan, dan akan memasukkannya kembali ke dalam cangkang apabila terdapat ancaman bahaya. Di Indonesia, diperkirakan terdapat 1.500 jenis Gastropoda.

Menurut Thorp dan Covich (2001), gastropoda adalah hewan bertubuh lunak, tidak bersegmen dengan tubuh tersusun dari otot kaki, kepala serta sistem organ, dan memiliki mantel pembungkus yang menghasilkan zat kapur untuk mengeluarkan cangkang. Gastropoda dibagi menjadi 3 subkelas, yaitu

Prosobranchia (53%), Opisthobranchia (4%) dan Pulmonata (43%). Prosobranchia memiliki insang dan operkulum yang berkapur (*Calcareous operculum*). Habitat pulmonata berada di air tawar atau daratan serta menggunakan modifikasi dari rongga mantel sebagai paru-paru dan tidak memiliki operkulum. Menurut Reise (2001), gastropoda merupakan *suspension feeder* yang menggunakan jaringan mukus untuk menjerat partikel. Organisme ini bukan *filter feeder* karena jaringan tersebut tidak selektif dan tidak mampu mengontrol aliran air. Menurut Wicaksono, *et al.* (2016), gastropoda merupakan organisme fakultatif yang artinya dapat bertahan pada kondisi lingkungan yang cukup luas.

2.3.1 Klasifikasi *Sulcospira testudinaria*

Menurut Purwanti (2017), klasifikasi *Sulcospira testudinaria* (**Gambar 3**) adalah sebagai berikut :

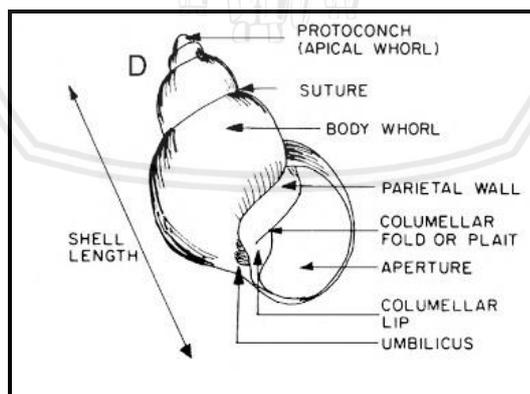
Kingdom	: Animalia
Filum	: Mollusca
Kelas	: Gastropoda
Ordo	: Caenogastropoda
Famili	: Pachychilidae
Genus	: <i>Sulcospira</i>
Spesies	: <i>Sulcospira testudinaria</i>



Gambar 3. (a) *Sulcospira testudinaria* (Marwoto dan Isnaningsih, 2012)
(b) *Sulcospira testudinaria* (Data Primer, 2019)

2.3.2 Morfologi Gastropoda

Menurut Moore (2006), gastropoda memiliki cangkang yang melindungi tubuhnya serta memiliki organ internal (*viscera*) yang berada di dalam cangkang dan ditutupi oleh mantel. Rongga mulut terdapat kantung kecil yang mengandung radula, yaitu lidah yang tertutupi oleh gigi yang terbuat dari kitin. Rongga mantel berisi *ctenidium* atau insang serta usus yang mengandung kelenjar pencernaan dan sebagai tempat sekresi enzim dan penyerapan makanan. Saraf sensorik biasanya terdapat pada mata yang terletak di ujung tentakel. Menurut Thorp dan Covich (2001), gastropoda memiliki kaki berotot yang dilengkapi dengan silia dan jaringan sekretori untuk mengeluarkan lendir, sehingga hewan ini dapat bergerak. Gastropoda yang pertama kali ditemukan di alam diduga memiliki cangkang yang melingkar serta anus dan rongga mantel berada di anterior. Jenis cangkang pada gastropoda berbeda-beda, ada yang berbentuk kerucut, datar, *globose* maupun *circular*. Cangkang spiral memiliki bagian pusat putaran yang disebut dengan *Columella*. Bagian-bagian dari cangkang gastropoda ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Bagian Cangkang Gastropoda (Thorp dan Covich, 2001)

Keterangan :

Suture : Garis yang terbentuk diantara *spire*

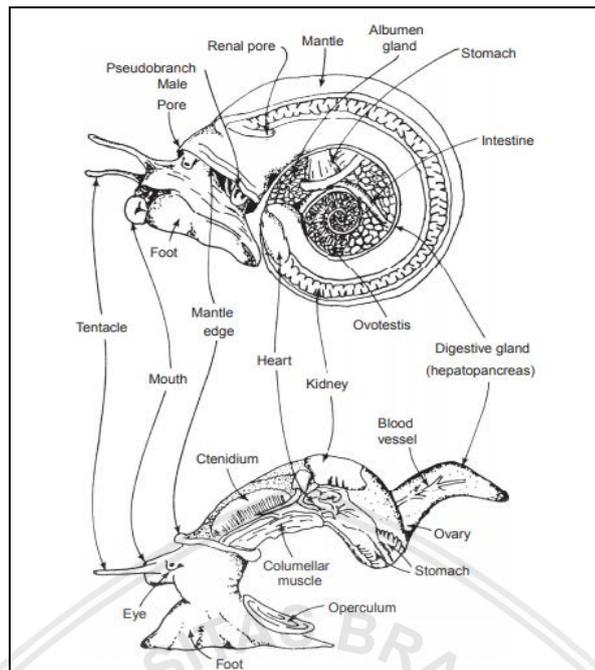
Whorl : Satu putaran cangkang

- Body Whorl* : Cangkang terakhir dan terbesar
Aperture : Lubang tempat keluar masuknya kepala dan kaki gastropoda
Umbilicus : Lubang yang terdapat di ujung *Columella*
Columella : Poros atau pusat putaran pada cangkang
Apex : Bagian ujung cangkang

Menurut Marwoto dan Isnaningsih (2012), *Sulcospira testudinaria* memiliki cangkang berbentuk kerucut dan memanjang ke atas, sekitar 22-40 mm. Cangkangnya berbentuk spiral (3-6 spiral) dan berwarna coklat, coklat ke hitam-hitaman maupun kuning kecoklatan. Bukaan cangkang berbentuk oval, *columella* tidak menebal, operkulum berbentuk oval dengan diameter 3-4 mm. Kepala dan kaki berwarna abu-abu gelap kehitaman, tepi mantel lurus dan berwarna abu-abu gelap serta berpigmen pucat. Tubunya melingkar dalam 2,5 whorl dan rongga mantel menempati sekitar 1,5 whorl. Bagian perut memiliki dua lipatan melintang dan penebalan berbentuk bulan sabit.

2.3.3 Fisiologi Gastropoda

Menurut Pyron dan Brown (2015), gastropoda memiliki bagian lunak yang terdiri dari kepala, kaki, massa visceral dan mantel. Epidermis bagian mantel mensekresikan garam kalsium serta lendir dan mengandung elemen sensorik. Kaki berotot memiliki silia dan epitel sekretori untuk mengeluarkan lendir sebagai penggerak tubuhnya. Gastropoda memiliki sistem organ yang berfungsi untuk melakukan fungsi tertentu pada tubuhnya. Anatomi internal gastropoda ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Anatomi Internal Gastropoda (Thorp dan Covich, 2001)

Menurut Thorp dan Covich (2001), makanan akan masuk ke dalam mulut gastropoda dengan gerakan radula yang diletakkan di atas tulang rawan (odontofor). Ketika radula memanjang, mulut akan menyentuh substrat dan partikel-partikel makanan akan masuk saat retraktor menarik radula kembali ke mulut. Radula dapat melumatkan partikel makanan dengan menggerakkannya ke atap mulut. Gastropoda memiliki kerongkongan panjang yang mengarah ke lambung yang terletak di massa visceral. Setelah dari lambung, makanan akan menuju ke usus yang dilapisi dengan silia. Menurut Marwoto dan Isnaningsih (2012), *Sulcospira testudinaria* memiliki gigi tengah dengan dentikel besar disertai dua dentikel kecil di setiap sisi. Gigi lateral dengan dentikel runcing yang besar dan dua dentikel yang lebih kecil di setiap sisi. Gigi marginal bagian dalam dan luar masing-masing memiliki satu dentikel besar dan dua dentikel yang lebih kecil di sisi dalam.

Menurut Pyron dan Brown (2015), gastropoda air tawar memiliki *ctenidium* atau insang tunggal. *Ctenidium* terletak di rongga mantel dan memiliki

lempengan segitiga seperti daun yang kaya pembuluh darah. Gastropoda memiliki jantung yang berfungsi memompa darah yang dialirkan dari insang ke aorta dan membawa darah ke cabang pembuluh darah yang lebih kecil dan akhirnya masuk ke ruang jaringan dan sinus di sekitar visera. Organ ekskretori gastropoda adalah ginjal. Bagian tubulus ginjal merupakan tempat sisa metabolisme dikeluarkan dari aliran darah dan kemudian dikeluarkan melalui dinding tubulus yang akan mengalir ke rongga mantel luar. Cairan *coelomic* sebagian besar merupakan filtrat darah yang mengandung sisa metabolisme seperti amonia yang disaring di dinding jantung. Sisa-sisa metabolisme akan disekresikan ke dalam *coelom* oleh dinding perikardium. Cairan *coelomic* kemudian memasuki tubulus *metanephridial (coelomoduct)*, dimana resorpsi selektif dari garam dan sekresi lebih lanjut dari sisa metabolisme terjadi. Urin kemudian akan dibuang ke rongga mantel. Gastropoda memiliki cincin saraf yang mengelilingi esofagus dan terhubung ke dua pasang *nerve cords* yang memanjang ke arah posterior.

Menurut Kohler dan Dames (2009), operkulum *Sulcospira testudinaria* berbentuk oval. Spesies ini merupakan gonokorisme. Betina memiliki kantong induk *subhaemocoelic* sebagai tempat berkembangnya embrio. Kantong induk ini dibentuk oleh jaringan halus dan tidak mengandung jaringan sekretori. Gonad terletak di atas kelenjar pencernaan. Gastropoda memiliki gonad berpasangan. Telur dan sperma akan dilepaskan ke dalam rongga selom. Pembuahan bersifat eksternal, zigot akan berkembang menjadi gastrula dan menjadi larva *trocophore* yang berenang bebas. Larva *trocophore* akan berkembang menjadi larva veliger yang memiliki kaki, cangkang dan struktur lainnya. Veliger akan mengendap di dasar perairan dan bermetamorfosis menjadi bentuk dewasa.

2.3.4 Habitat dan Kebiasaan Makan Gastropoda

Menurut Marwoto dan Isnaningsih (2012), siput air tawar genus *Sulcospira* ditemukan di Sundaland, Indocina dan Cina Selatan. Habitat *Sulcospira testudinaria* yaitu di perairan yang relatif mengalir cepat, seperti sungai, anak sungai dan irigasi persawahan. Menurut Yolanda (2014), gastropoda hidup dengan cara menempel maupun menguburkan diri pada substrat dan dasar perairan. Organisme ini hidupnya relatif menetap, berkelompok dan terdapat di suatu perairan dalam jumlah yang banyak, sehingga mudah ditemukan. Menurut Rumahlatu dan Leiwakabessy (2017), pada ekosistem laut, gastropoda dapat ditemukan di zona intertidal serta di laut dalam. Gastropoda tersebar pada sedimen lempung berpasir dengan kandungan bahan organik yang tinggi. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Ulmaula, *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa gastropoda dapat ditemukan di perairan dangkal dan hidup pada sedimen perairan yang mengandung bahan organik untuk kelangsungan hidupnya.

Menurut Ira, *et al.* (2015), gastropoda merupakan organisme herbivora, karnivora, *scavenger*, *detritivor*, *deposit feeder*, *suspension feeder* dan parasit. Menurut Saddozai, *et al.* (2013), makanan gastropoda di perairan berupa alga, zooplankton serta bahan organik yang terdapat pada sedimen. Menurut Moore (2001), partikel makanan yang berukuran sangat kecil akan diserap melalui jaringan mukus dengan menggunakan *ctenidia* yang memiliki banyak silia. Gastropoda juga memiliki radula untuk menangkap dan mengunyah makanan.

2.4 Metallothionein

Menurut Calatayud, *et al.* (2018), setiap organisme memiliki mekanisme fisiologis yang berbeda untuk mengendalikan ketahanan tubuh serta menghindari efek berbahaya logam berat. Salah satu mekanisme tersebut diatur oleh

metallothionein (MT) yang merupakan sekelompok protein pengikat logam yang ditemukan pertama kali pada tahun 1957 di bagian korteks ginjal seekor kuda. MT diaktifkan untuk mengendalikan fungsi ketahanan tubuh serta berperan dalam proses detoksifikasi logam. Hal tersebut sesuai dengan penelitian AbdAllah (2014) yang menyatakan bahwa spesies moluska mampu mendetoksifikasi logam berat dalam tubuhnya dengan mengikatnya lewat protein khusus yang disebut metallothionein. Menurut Astutik dan Zulaika (2015), MT mengandung gugus thiol (-SH) dengan kandungan sistein sekitar 30%. Metallothionein bersifat spesifik, artinya MT hanya mampu mengikat satu jenis logam, seperti MT pengikat Cd, MT pengikat Pb dan MT pengikat Hg. Bakiu, *et al.* (2013) menjelaskan bahwa metallothionein adalah protein non-enzimatik yang mempunyai kandungan sistein tinggi, tidak mempunyai asam amino aromatik dan tidak stabil oleh panas. Gugus thiol (-SH) yang terkandung pada MT merupakan residu sistein yang memungkinkan MT mengikat logam berat.

Menurut King (1995), karena kespesifikan dan kemampuan metallothionein untuk mengikat logam, maka MT merupakan biomarker yang ideal untuk memantau kontaminasi logam pada organisme perairan. Kespesifikan metallothionein ditunjukkan pada penelitian Dewi, *et al.* (2014), metallothionein-Cd (MT-Cd) akan aktif saat organisme yang terpapar tersebut hidup di perairan yang tercemar logam kadmium. Oleh sebab itu, metallothionein berfungsi sebagai biomarker pencemaran logam berat untuk memonitoring perairan yang tercemar serta sebagai peringatan awal adanya paparan logam berat sebelum terjadinya respon biologis yang lebih parah.

Menurut Vergani, *et al.* (2005), metallothionein pada moluska biasanya memiliki kandungan glisin yang cukup tinggi serta terdistribusi secara acak di seluruh rangkaiannya. Metallothionein pada moluska hampir sama dengan MT pada vertebrata, dibandingkan MT pada invertebrata. MT pada vertebrata

biasanya mengandung 61-62 residu asam amino, sedangkan rantai yang lebih panjang ditemukan dalam moluska dan nematoda, yaitu sebanyak 72-74 residu. Menurut Bakiu, *et al.* (2013), MT adalah peptida yang memiliki kandungan sistein tinggi yang terdapat pada sitosol, nukleus serta lisosom. Pada moluska dan krustasea, penyerapan logam oleh MT dapat ditemukan di insang, kelenjar pencernaan dan ginjal. Oleh sebab itu, jaringan tubuh ini penting dalam penyerapan, penyimpanan serta eliminasi logam berat. Referensi kadar metallothionein pada Moluska di ekosistem perairan tawar ditunjukkan pada

Tabel 1.

Tabel 1. Referensi kadar metallothionein pada Molluska

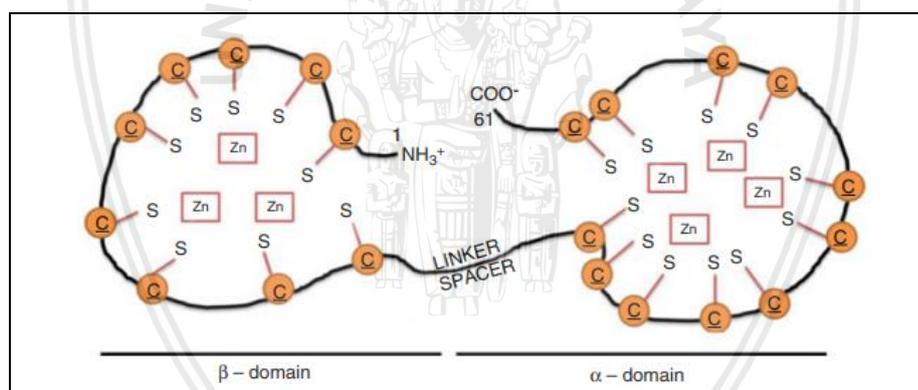
No.	Pustaka	Judul	Hasil MT	Logam Berat Jaringan
1.	Yongquan Li, Huizhen Yang, Na Liu, Jixian Luo, Qian Wang, Lan Wang (2015)	Cadmium Accumulation and Metallothionein Biosynthesis in Cadmium-Treated Freshwater Mussel <i>Anodonta woodiana</i>	Insang : 1,5-4,3 µg/g	Insang : 0,04-0,1 mg/g
			Mantel : 2,4-4,5 µg/g	Mantel : 0,03-0,085 mg/g
2.	Mahmoud M.A. Desouky (2012)	Metallothionein is up-regulated in molluscan responses to cadmium, but not aluminum, exposure	Al : 0,3-0,5 mg/g	Al : 50-600 µg/g
			Cd : 0,4-2 mg/g	Cd : 30-425 µg/g
3.	Halina I. Falfushynska, Lesya L. Gnatyshyna, János Gyori, Oksana B. Stoliar (2014)	Metallothioneins, Caspase-3 and Oxidative Stress Responses in the MultiMarker Study of Freshwater Mussel Inhabiting Sites of Various Human Impact	Cu : 0,4-2 µg/g	Cu : 3-20 µg/g
			Zn : 1,5-15,7 µg/g	Zn : 30-75 µg/g
			Cd : 0,25-3,1 µg/g	Cd : 0,74-3,4 µg/g
4.	Wenli Ma, Lan Wang, Yongji He, Yao Yan (2008)	Tissue-Specific Cadmium and Metallothionein Levels in Freshwater Crab <i>Sinopotamon henanense</i> during	Hepatopankreas: 21,43 ± 5,69 µg g ⁻¹ w wt	Logam berat Pb Hepatopankreas: 9,80 ± 0,35 µg g ⁻¹ w wt
			Insang: 16,7 ± 2,38 µg g ⁻¹	Insang: 20,81 ± 2,01 µg g ⁻¹ w wt

No.	Pustaka	Judul	Hasil MT	Logam Berat Jaringan
		Acute Exposure to Waterborne Cadmium	w wt	
			Daging: $10,81 \pm 4,58 \mu\text{g g}^{-1}$ w wt	Daging: $6,70 \pm 0,39 \mu\text{g g}^{-1}$ w wt
			Ovarium: $4,23 \pm 0,86 \mu\text{g g}^{-1}$ w wt	Ovarium: $4,11 \pm 0,27 \mu\text{g g}^{-1}$ w wt
5.	M.J. Bebianno, A. Cravo, C. Miguel, S. Morais (2003)	Metallothionein concentrations in a population of <i>Patella aspera</i> : variation with size	$4,9 \pm 1,3$ mg/g hingga $9,8 \pm 1,4$ mg/g	Logam berat Cd: $6,5 \pm 2,2 \mu\text{g/g}$ hingga $5,9 \pm 0,9 \mu\text{g/g}$
6.	Asus Maizar Suryanto H., Kusriani, Erlinda Indrayani, Rahmi Nurdiani, Renanda B. D. S. Putra	Relationship between levels of the heavy metals lead, cadmium and mercury, and metallothionein in the gills and stomach of <i>Crassostrea iredalei</i> and <i>Crassostrea glomerata</i>	<i>Crassostrea iredalei</i> : $111,500$ ng/g – $160,250$ ng/g <i>Crassostrea glomerata</i> : $108,900$ ng/g – $159,000$ ng/g	Logam berat Hg: <i>Crassostrea iredalei</i> : $0,171$ – $0,731$ mg/L <i>Crassostrea glomerata</i> : $0,077$ – $0,582$ mg/L
7.	H.V. den Broeck, H. de Wolf, T. Backeljau R. Blust (2010)	Effect of metal accumulation on metallothionein level and condition of the periwinkle <i>Littorina littorea</i> along the Scheldt Estuary (the Netherlands)	20 - 35 nmol/g dry weight	Cd : $0,1$ – $4 \mu\text{g/g}$ dry weight Pb : 1 – $5 \mu\text{g/g}$ dry weight
8.	S. Lecoeur, B. Videmann Ph. Berny (2004)	Evaluation of metallothionein as a biomarker of single and combined Cd/Cu exposure in <i>Dreissena polymorpha</i>	Cd : 50 – 350 nmol/g Cu : 65 – 80 nmol/g	Cd : $1,45 \pm 0,39$ nmol/g wet weight Cu : $32,1 \pm 4,6$ nmol/g wet weight

2.4.1 Mekanisme Pengikatan Logam Berat oleh Metallothionein

Menurut Dewi, *et al.* (2014), apabila logam berat masuk ke dalam tubuh organisme, maka logam tersebut akan terjerat di dalam jaringan tubuh. Hal

tersebut dikarenakan adanya protein yang mengikat, yang disebut sebagai metallothionein. Apabila terdapat paparan logam berat yang memiliki afinitas tinggi terhadap *thioenin*, maka logam tersebut memiliki kemampuan yang tinggi dalam menginduksi metallothioenin, sehingga akan segera membentuk metallothionein dan logam tersebut akan segera terdetoksifikasi. Hal tersebut mengakibatkan tidak adanya akumulasi logam pada tubuh yang berpotensi melebihi ambang batas dan membahayakan tubuh. Masduqi dan Ngabekti (2015) juga menjelaskan bahwa logam berat yang masuk ke tubuh akan diikat oleh *thioenin*, yaitu protein dengan berat molekul rendah yang selanjutnya akan membentuk gugus protein-logam yang disebut dengan metallothionein. Metallothionein disintesis dalam hati dan dapat masuk ke ginjal melalui peredaran darah. Struktur metallothionein ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Struktur Metallothionein (Dziegiel, *et al.*, 2016)

Menurut Fernanda (2012), logam berat yang diabsorpsi oleh tubuh selanjutnya akan melewati sejumlah membran sel yang terdiri dari lapisan biomolekuler yang dibentuk oleh molekul lipid dengan molekul protein yang tersebar di seluruh membran. Logam berat dapat masuk ke dalam membran melalui difusi pasif dan transport aktif, yang tergantung dari senyawa logamnya. Setelah berada di dalam sel, logam akan membentuk ikatan kompleks dengan ligan. Logam berat dapat berikatan dengan gugus sulfhidril, hidroksil, karboksil,

iidazol dan amino dari protein. Ion logam berat paling efektif berikatan dengan gugus sulfhidril (-SH), seperti sistein.

Struktur domain pada MT berupa α -domain dan β -domain. β -domain mengandung 1-30 residu asam amino, sedangkan α -domain mengandung 31-61 residu asam amino. Menurut Ruttkay-Nedecky, *et al.* (2013), ikatan kovalen atom logam melibatkan residu sulfhidril sistein. β -domain terletak di bagian N-terminal, sedangkan α -domain terletak di bagian C-terminal. Yoon dan Eun (2017) menjelaskan bahwa klasifikasi struktur domain pada setiap urutan metallothionein didasarkan pada jumlah dan susunan pola Cys. α -domain memiliki 11-12 residu Cys serta mengikat 4 ion logam divalen, sedangkan β -domain memiliki 9 residu Cys dan mengikat 3 kation logam divalen.

Menurut Yuniastuti (2014), Zn merupakan ion intraselular di dalam cairan sel yang memiliki kemampuan untuk membentuk kompleks yang stabil dengan rantai protein dan nukleotida, sehingga dapat menyusun metalloenzim. Zn berfungsi untuk mengatur ekspresi dalam limfosit metallothionein dan protein. Ekspresi gen metallothionein dipengaruhi oleh beberapa hormon dan akumulasi Zn dalam tubuh organisme. Kondisi tubuh defisiensi Zn membuat *Metal Responsive Transcription Factor-1* (MTF-1) terikat pada inhibitor yang sensitif terhadap Zn (MTI), sehingga akan mencegah proses transkripsi gen metallothionien. Adanya akumulasi Zn di tubuh akan menyebabkan MTI terlepas dari MTF-1, sehingga MTF-1 dapat berinteraksi dengan *Metal Response Element* (MRE) pada promotor gen metallothionein dan transkripsi metallothionien meningkat. Menurut Trisnaningrum (2009), logam yang masuk dalam tubuh organisme akan terikat pada residu Cys dalam formasi logam-Cys-thiol dengan cara pertukaran ion logam, yaitu ion Zn akan digantikan oleh logam lainnya, seperti Cu, Cd atau Hg yang memiliki afinitas lebih tinggi.

2.4.2 Pengamatan Metallothionein dengan Metode ELISA

Menurut Baid (2016), ELISA (*Enzyme Linked Immunosorbent Assay*) merupakan suatu alat uji yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur zat seperti peptida, protein, antibodi dan hormon. ELISA menggunakan berbagai enzim seperti *alkaline enzyme*, *horse radish oxidase* dan *beta galactosidase*. Menurut Gan dan Patel (2013), ELISA dapat digunakan sebagai kontrol kualitas di berbagai industri serta sebagai alat analitis dalam penelitian biomedis untuk mendeteksi dan menghitung antigen atau antibodi spesifik dalam sebuah sampel. ELISA atau EIA (*Enzyme Immunoassay*) memiliki prinsip dasar yang sama dan berasal dari RIA (*Radioimmunoassay*). RIA pertama kali dijelaskan oleh Berson dan Yalow pada tahun 1960 untuk mengukur insulin plasma endogen. RIA dikembangkan menjadi teknik baru untuk mendeteksi dan mengukur molekul biologis dalam jumlah yang sangat kecil serta menganalisis dan mendeteksi molekul biologis yang tidak terhitung jumlahnya, seperti hormon, peptida dan protein. Teknik baru tersebut dikembangkan dengan mengganti radioisotop dengan enzim, sehingga menciptakan EIA atau ELISA.

Menurut Mufidah, *et al.* (2015), ELISA merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mendeteksi antigen atau antibodi dengan menggunakan enzim yang diberi label, seperti enzim HRP (*horseradish peroxidase*). ELISA juga menggunakan *Tetramethylbenzidine* (TMB) yang berfungsi sebagai substrat bagi HRP. Reaksi hidrolisis substrat oleh enzim menghasilkan warna dengan intensitas tertentu yang tergantung pada banyaknya kompleks antigen-antibodi yang terbentuk. ELISA memiliki kelebihan yaitu lebih sensitif dan sederhana dibandingkan teknik RIA yang membutuhkan bahan radioaktif. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Rachmawati, *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa kelebihan ELISA yaitu lebih spesifik, murah, mudah dan bersifat sensitif.

2.5 Logam Berat

Menurut Sembel (2015), istilah logam berat (*heavy metals*) pertama kali digunakan oleh Gmelin pada tahun 1817 saat membagi elemen menjadi non logam, logam ringan serta logam berat. Kriteria untuk mendefinisikan logam berat meliputi densitas, berat atom, nomor atom dan posisinya dalam tabel periodik. Logam berat memiliki densitas 5.308-22.000 g/cm³ dan terletak dalam golongan 3-16 di periode 4 atau lebih, namun hal tersebut belum diterima secara umum. Menurut Handayanto, *et al.* (2017), logam berat non esensial bersifat racun bagi organisme, meskipun dalam konsentrasi yang rendah, contohnya adalah merkuri (Hg), timbal (Pb), cadmium (Cd), kromium (Cr), talium (Tl) serta arsen (As). Selain itu, tubuh suatu organisme juga membutuhkan logam berat dalam jumlah sedikit yang digunakan untuk proses fisiologis serta biokimia tubuh, yang disebut dengan logam berat esensial. Logam berat ini meliputi Fe, Cu, Mn, Ni dan Zn.

Menurut Fardiaz (1992), logam berat dapat mencemari lingkungan serta dapat terakumulasi dalam tubuh organisme dalam jangka waktu yang lama. Hal tersebut juga sesuai dengan pendapat Sumardjo (2006) yang menyatakan bahwa logam berat bersifat *non-biodegradable* serta dapat mengendap pada sedimen perairan. Logam berat terakumulasi dalam tubuh organisme melalui rantai makanan atau proses absorpsi secara langsung. Ishak (2017) menjelaskan bahwa logam berat mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan kemudian akan bersatu dengan sedimen, sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air. Menurut Fahrudin (2018), salah satu sumber logam berat di perairan berasal dari limbah industri. Ion logam bersifat toksik karena memiliki kemampuan untuk terikat pada molekul protein dan mencegah replikasi DNA sehingga dapat menghambat pembelahan sel.

2.5.1 Timbal (Pb)

Menurut Winata, *et al.* (2016), timbal (Pb) merupakan unsur kedua berbahaya setelah arsen (Ar) yang dapat mengganggu kesehatan lingkungan serta organisme yang terpapar. Menurut Mulyadi, *et al.* (2015), Pb dapat masuk melalui saluran pernapasan dan saluran pencernaan yang nantinya mengalir dalam darah dan berikatan dengan eritrosit dan dimetabolisme oleh tubuh ke dalam tubulus proksimal, sehingga akan mengganggu fungsi ginjal dan berdampak pada gangguan kesehatan. Menurut Usman, *et al.* (2013), apabila dalam tubuh organisme perairan terdapat kandungan logam berat yang tinggi, maka hal tersebut dapat digunakan sebagai indikator adanya suatu pencemaran lingkungan.

Menurut Indirawati (2017), sumber utama pencemaran logam berat Pb di perairan berasal dari limbah industri. Pb banyak digunakan pada industri baterai, kabel, pipa serta pestisida. Selain itu, masuknya Pb ke perairan juga berasal dari transportasi atau pelayaran yaitu kapal yang menggunakan bahan bakar bensin. Menurut Arisandi, *et al.* (2013), logam berat Pb yang terakumulasi dalam tubuh organisme perairan dapat melukai insang dan jaringan tubuh lainnya, bahkan dapat menyebabkan kematian akibat terganggunya fungsi organ pernapasan.

2.5.2 Merkuri (Hg)

Menurut Yusuf, *et al.* (2013), merkuri (Hg) merupakan logam berat yang mampu mencemari lingkungan serta sifatnya berbahaya dan beracun. Ishak (2013) menyatakan bahwa merkuri yang terdapat dalam limbah yang dibuang ke perairan akan diubah oleh aktivitas mikroorganisme menjadi komponen metilmerkuri (Me-Hg) yang beracun dan memiliki daya ikat yang kuat. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Tilaar (2014) yang menyatakan bahwa merkuri yang terbawa oleh aliran sungai merupakan merkuri anorganik. Apabila telah terbentuk

metil merkuri CH_3Hg , dimetil merkuri $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ atau garam-garam kation organik CH_3Hg^+ , maka dapat membahayakan lingkungan serta organisme yang terpapar.

Menurut Yulis (2018), merkuri dapat masuk ke dalam perairan melalui limbah industri serta limbah rumah tangga yang dialirkan ke perairan. Menurut Ishak (2017), merkuri dapat terakumulasi dalam tubuh organisme melalui proses bioakumulasi maupun biomagnifikasi, yakni melalui rantai makanan. Apabila akumulasi merkuri di jaringan tubuh organisme dalam kadar yang tinggi, maka hal tersebut dapat mempengaruhi kesehatan bahkan dapat mengakibatkan kematian. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Mirdat, *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa merkuri dapat mengakibatkan hilangnya kemampuan enzim sebagai katalisator untuk proses fisiologis tubuh serta mengakibatkan kerusakan pada sistem syaraf.

2.5.3 Kadmium (Cd)

Menurut Istarani dan Pandebesie (2014), kadmium (Cd) merupakan logam berat yang berwarna putih keperakan seperti aluminium, tahan panas serta tahan terhadap korosi. Logam ini dapat terakumulasi dalam jangka waktu yang lama, khususnya pada jaringan ginjal dan hati. Menurut Nur (2013), bentuk kadmium yang terdapat dalam air biasanya berupa ion. Kadmium dalam air laut berbentuk senyawa klorida (CdCl_2), dalam air tawar berbentuk karbonat (CdCO_3), sedangkan dalam air payau, kedua senyawa tersebut jumlahnya seimbang. Kadmium masuk ke tubuh organisme air melalui insang dan saluran pencernaan.

Menurut Indirawati (2017), limbah industri merupakan sumber utama dalam terjadinya pencemaran logam kadmium di perairan. Industri yang menghasilkan limbah kadmium meliputi industri cat, plastik dan tekstil. Selain itu, sumber pencemaran logam kadmium menurut Nur (2013) berasal dari kegiatan pertambangan logam, limbah rumah tangga serta pembakaran sampah. Menurut Rumahlatu, *et al.* (2014), akumulasi Cd yang tinggi pada tubuh organisme

perairan dapat mengakibatkan sejumlah abnormalitas, perkembangan tubuh terganggu serta penurunan kelangsungan hidup.

2.5.4 Penyerapan Logam Berat oleh Gastropoda

Menurut Wicaksono, *et al.* (2016), gastropoda merupakan organisme yang memiliki kemampuan homeostasis logam esensial maupun non esensial melalui pembentukan metallothionein. Gastropoda dipilih sebagai bioindikator pencemaran logam berat karena sifatnya yang cenderung menetap atau tidak berpindah tempat secara luas serta mampu mengakumulasi logam berat dengan kadar yang tinggi dalam tubuhnya. Menurut Kinasih, *et al.* (2015), logam berat yang masuk ke dalam perairan akan mengalami proses pengendapan, pengenceran dan dispersi. Pengendapan logam berat dalam perairan terjadi karena adanya anion karbonat, hidroksil dan klorida. Logam berat dalam air akan berpindah ke dalam sedimen apabila berikatan dengan bahan organik bebas atau bahan organik yang terdapat pada permukaan sedimen. Gastropoda merupakan organisme yang salah satu makanannya berupa partikel-partikel yang tersuspensi di dalam air. Oleh karena itu, gastropoda beresiko tinggi terakumulasi logam berat. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Setiawan (2013) yang menyatakan bahwa logam berat masuk ke dalam jaringan tubuh organisme melalui beberapa jalan, yaitu saluran pencernaan, saluran pernafasan serta melalui kulit.

Sulcospira testudinaria mengabsorpsi logam berat ke dalam tubuhnya melalui makanannya yang berupa partikel tersuspensi serta melalui jaringan epitel yang kontak langsung dengan sedimen. Jaringan epitel mampu menyerap logam berat dikarenakan jaringan ini mengandung metallothionein. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Nica, *et al.* (2014) yang menyatakan bahwa rute utama penyerapan logam berat ke dalam tubuh gastropoda adalah melalui makanan yang berupa partikel tersuspensi maupun tumbuhan atau hewan yang

ada di sekitarnya, dimana makanan tersebut dapat terkontaminasi logam berat sebelumnya. Selanjutnya makanan tersebut akan bergerak ke saluran pencernaan dan terakumulasi di dalamnya. Selain itu, gastropoda juga menyerap logam berat melalui jaringan epitel yang kontak langsung dengan substrat yang tercemar. Logam berat yang terakumulasi dalam tubuh gastropoda akan dimetabolisme oleh metallothionein yang ada di jaringan tubuhnya. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Shuhaimi-Othman, *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa logam berat yang terakumulasi dalam tubuh gastropoda akan diikat oleh metallothionein yang bekerja dengan spesifik sesuai dengan jenis logam beratnya.

2.6 Parameter Kualitas Air

Parameter kualitas air yang mempengaruhi toksisitas logam berat meliputi suhu, pH dan oksigen terlarut. Menurut Sari, *et al.* (2017), fluktuasi kandungan logam berat di perairan diakibatkan karena fluktuasi nilai parameter kualitas air, seperti suhu, pH dan oksigen terlarut.

2.6.1 Suhu

Menurut Maniagasi, *et al.* (2013), kualitas air memiliki sifat yang dinamis, artinya dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan proses biologi, termasuk parameter suhu. Perbedaan suhu di perairan dipengaruhi oleh topografi, curah hujan serta intensitas cahaya matahari. Suhu dapat mempengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidup suatu organisme perairan. Menurut Wantasen (2013), suhu berperan dalam proses fotosintesis dan respirasi organisme perairan. Suhu perairan menurut Kantun (2017) juga berperan penting dalam proses metabolisme organisme perairan. Proses metabolisme akan meningkat dua kali lipat setiap kenaikan suhu sebesar 10°C, sehingga organisme perlu melakukan adaptasi untuk tetap bertahan hidup pada kondisi suhu tertentu.

Menurut Supriyantini dan Endrawati (2015), semakin tinggi suhu perairan, maka tingkat akumulasi logam berat dalam sedimen serta daya toksisitas logam berat akan semakin tinggi. Hal tersebut dikarenakan tingkat bioakumulasi yang semakin tinggi, sehingga kandungan logam berat dalam tubuhnya juga akan meningkat. Menurut Jumaidi, *et al.* (2016), suhu yang tinggi dapat meningkatkan aktivitas metabolisme tubuh, sehingga konsumsi oksigen akan bertambah, kelarutan oksigen dalam air akan berkurang serta meningkatkan toksisitas kontaminan yang terlarut.

2.6.2 power of Hydrogen

Menurut Ngafifuddin, *et al.* (2017), pH (*power of Hydrogen*) adalah jumlah konsentrasi ion hidrogen (H^+) pada perairan yang menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan. pH merupakan suatu besaran fisis yang memiliki skala 0-14. Apabila nilai $pH < 7$ maka perairan bersifat asam, sedangkan apabila $pH > 7$ maka perairan tersebut bersifat basa. Nilai $pH = 7$ menunjukkan bahwa perairan tersebut bersifat netral. Menurut Wulandari, *et al.* (2014), organisme perairan, terutama ikan tidak dapat hidup pada pH yang terlalu rendah. Insang merupakan organ sasaran utama terkena stres akibat pH yang terlalu rendah, sehingga dapat berdampak pada kematian. Ikan biasanya mengalami kematian saat nilai pH 4 dan pH 11, sehingga pH perairan optimum yang mampu menunjang pertumbuhan dan kelangsungan hidup organisme adalah 6,5-8,5.

Menurut Afdal (2016), nilai pH yang rendah akan menggeser keseimbangan karbonat yang menyebabkan HCO_3^- dan CO_2 bebas lebih banyak terbentuk, sedangkan nilai pH yang tinggi akan menyebabkan ion karbonat lebih banyak terbentuk. Sinaga, *et al.* (2016) juga menjelaskan bahwa meningkatnya CO_2 bebas dapat menurunkan nilai pH di perairan. pH pada dasar perairan cenderung lebih rendah karena disebabkan oleh adanya proses dekomposisi bahan organik, sehingga konsentrasi DO menurun dan CO_2 bebas meningkat.

Menurut Amalina, *et al.* (2015), meningkatnya nilai pH dapat menyebabkan rendahnya kelarutan logam berat dalam perairan. Hal tersebut dikarenakan logam berat akan bereaksi dengan ion hidroksida sehingga membentuk padatan logam hidroksida.

2.6.3 Oksigen Terlarut

Menurut Kuncoro (2008), oksigen terlarut adalah banyaknya oksigen yang terlarut dalam massa air. Oksigen dapat masuk ke dalam perairan jika kerapatan molekul-molekul air rendah dan suhu yang rendah. Menurut Hamzah dan Trenggono (2014), sumber oksigen terlarut dalam perairan berasal dari proses fotosintesis dan difusi. Konsentrasi oksigen terlarut akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal tersebut dikarenakan proses fotosintesis tidak lagi berjalan efektif. Konsentrasi oksigen dapat meningkat karena adanya proses fotosintesis serta dapat menurun karena adanya proses respirasi. Faktor yang mempengaruhi konsentrasi oksigen terlarut menurut Megawati, *et al.* (2014) adalah limbah organik. Semakin meningkatnya limbah organik yang terdapat di perairan, maka konsentrasi oksigen terlarut akan semakin menurun. Hal tersebut disebabkan karena oksigen terlarut dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan zat organik.

Menurut Supriyantini dan Endrawati (2015), konsentrasi oksigen terlarut yang rendah dapat menyebabkan kelarutan logam berat menjadi rendah pula, sehingga mudah mengendap di dasar sedimen. Menurut Syahza, *et al.* (2017), batas minimum untuk oksigen terlarut di perairan adalah 4 mg/L. Konsentrasi oksigen terlarut <4 mg/L dikategorikan sebagai kondisi kritis. Siagian dan Simamarta (2015) menjelaskan bahwa DO (*Dissolve Oxygen*) berperan penting dalam proses respirasi dan metabolisme yang mampu menghasilkan energi untuk kelangsungan hidup organisme perairan, sehingga pertumbuhan dan perkembangbiakannya dapat berjalan optimal.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Materi Penelitian

Materi pada penelitian ini meliputi analisis kadar logam berat Pb, Hg dan Cd pada keseluruhan organ gastropoda spesies *Sulcospira testudinaria* serta analisis kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria*. Pengukuran kualitas air yang meliputi suhu, pH dan oksigen terlarut juga dilakukan pada stasiun pengambilan lokasi sebagai tempat hidup dari *Sulcospira testudinaria*.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan dibutuhkan untuk menunjang pelaksanaan penelitian, yang meliputi proses pengambilan sampel gastropoda di sungai, pengukuran kualitas air, pengambilan daging siput serta pengujian kadar logam berat Pb, Hg, Cd dan kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* di laboratorium. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam **Lampiran 1**.

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode deskriptif dengan teknik survei. Menurut Hamdi dan Bahruddin (2014), metode penelitian deskriptif merupakan metode penelitian yang dilakukan dengan tujuan untuk menggambarkan kejadian-kejadian yang ada atau yang sedang berlangsung pada saat ini maupun saat lampau. Metode deskriptif menggambarkan keadaan yang sebenarnya, yaitu apa adanya tanpa terdapat manipulasi data. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan teknik survei melalui penentuan tiga stasiun penelitian untuk menggambarkan dan menganalisis kadar logam berat dan metallothionein yang terdapat pada keseluruhan organ *Sulcospira*

testudinaria. Selain itu, dalam penelitian ini juga menganalisis kualitas air Sungai Brantas di wilayah Blitar dan Tulungagung yang menjadi tempat pengambilan sampel serta tempat hidup *Sulcospira testudinaria*. Proses pengambilan data dalam penelitian ini meliputi :

3.3.1 Data Primer

Menurut Istijanto (2005), data primer adalah data asli yang dikumpulkan oleh peneliti untuk menjawab permasalahan risetnya secara khusus. Data ini tidak tersedia, karena sebelumnya belum pernah ada penelitian sejenis atau hasil penelitian sejenis tersebut tidak lagi akurat. Data primer memiliki keakuratan relatif tinggi, hal ini disebabkan karena peneliti mampu mengendalikan data yang akan digunakan dalam risetnya. Data primer yang diperoleh dalam penelitian ini meliputi hasil kualitas air di aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung serta kadar logam berat Pb, Hg, Cd dan kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria*. Data primer dalam penelitian ini didapatkan dari hasil observasi dan dokumentasi.

3.3.2 Data Sekunder

Menurut Istijanto (2005), data sekunder adalah data yang didapatkan dari pihak lain dan bukan dari peneliti sendiri, baik berupa catatan seperti buku, laporan maupun buletin yang sifatnya dokumentasi. Data sekunder dalam penelitian skripsi ini didapatkan dari buku, jurnal, laporan skripsi, instansi yang terkait serta kepustakaan dan peta yang dapat mendukung data primer.

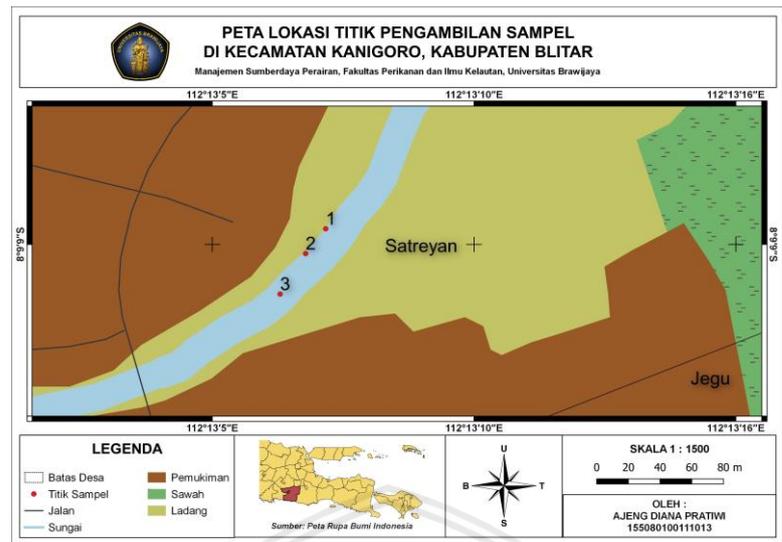
3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini meliputi penentuan stasiun penelitian, pengambilan sampel gastropoda spesies *Sulcospira testudinaria*, pengujian sampel *Sulcospira testudinaria* di laboratorium serta pengukuran kualitas air.

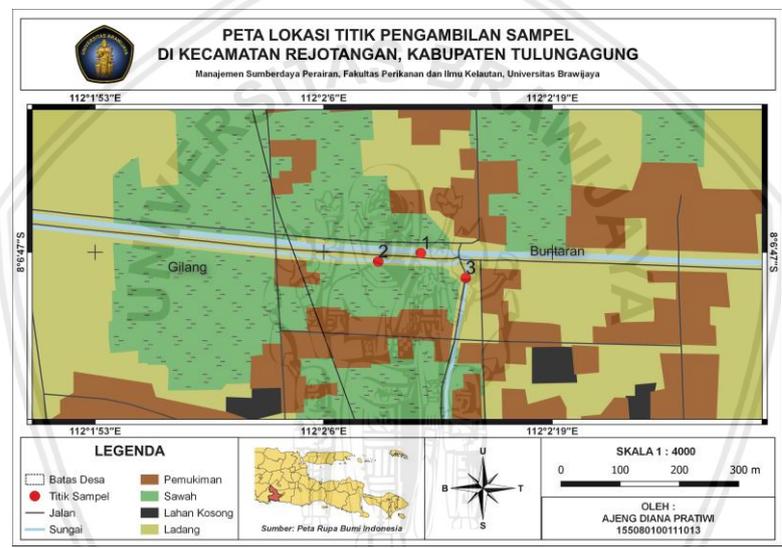
3.4.1 Penentuan Stasiun Penelitian

Kabupaten Blitar dan Kabupaten Tulungagung dipilih sebagai tempat penelitian dikarenakan wilayah ini didominasi oleh lahan pertanian dan pemukiman warga. Selain itu, kedua wilayah ini juga sedang berkembang berbagai sektor industri, baik skala kecil maupun besar, seperti industri minyak kelapa sawit, industri perlengkapan militer, industri pengolahan makanan maupun industri perkakas rumah tangga. Tata guna lahan tersebut menjadikan kedua wilayah ini dipilih untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas air di aliran Sungai Brantas. Penentuan stasiun penelitian dilakukan dengan survei lokasi terlebih dahulu yang didasarkan pada kondisi sungai dan adanya aktivitas manusia sebagai sumber limbah di aliran sungai, seperti aktivitas pertanian, peternakan, industri dan rumah tangga. Selain itu, medan menuju ke sungai dalam proses pengambilan sampel juga menjadi dasar penentuan titik stasiun, agar tidak menjadi faktor penghambat dalam pelaksanaan pengambilan sampel di lapang. Pengambilan sampel *Sulcospira testudinaria* dilakukan di tiga stasiun yang berbeda. Stasiun pertama berada di Kecamatan Kanigoro, Blitar. Stasiun kedua berada di Kecamatan Rejotangan, Tulungagung dan stasiun ketiga berada di Kecamatan Ngunut, Tulungagung. Pada setiap stasiun tersebut, ditentukan tiga sub stasiun dan pada masing-masing sub stasiun diambil sampel *Sulcospira testudinaria* serta diukur kualitas air pendukungnya, yaitu suhu, pH dan oksigen terlarut. Peta lokasi pengambilan sampel ditunjukkan pada **Gambar 7**.

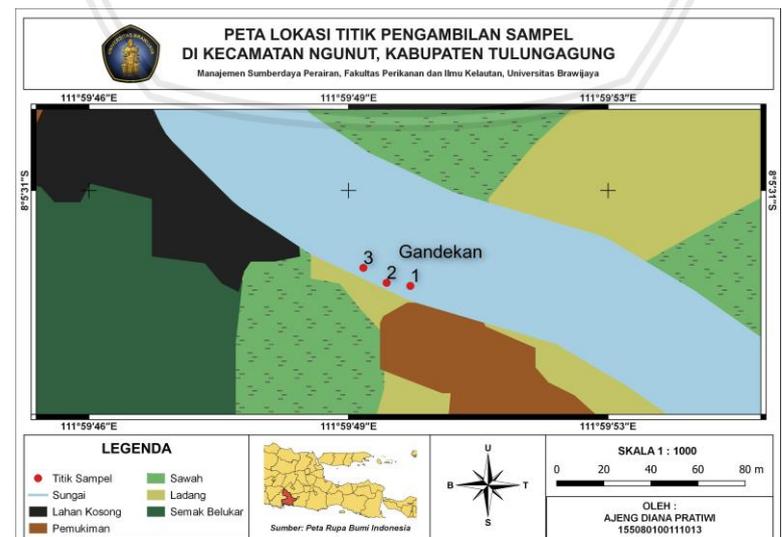
A



B



C



Gambar 7. Peta Lokasi Pengambilan Sampel (A) Stasiun 1 (B) Stasiun 2 (C) Stasiun 3 (Data Primer, 2019)

3.4.2 Pengambilan Sampel Gastropoda

Pengambilan sampel *Sulcospira testudinaria* dilakukan dengan menggunakan teknik *purposive sampling*. Menurut Hanifah (2016), teknik *purposive sampling* merupakan teknik pengambilan sampel secara sengaja yang didasarkan atas adanya tujuan tertentu, bukan berdasarkan random, tingkatan atau kelas yang sama. Gastropoda spesies *Sulcospira testudinaria* ditemukan menempel di batuan, pematang sungai serta terkubur dalam sedimen.

Sampel *Sulcospira testudinaria* diperoleh dari tiga stasiun berbeda, yaitu Kanigoro Blitar, Rejotangan Tulungagung dan Ngunut Tulungagung. Sampel *Sulcospira testudinaria* yang didapatkan di sungai diseleksi terlebih dahulu dengan melihat ada tidaknya daging di dalam cangkangnya serta ukuran gastropoda disesuaikan dengan kebutuhan pengujian di laboratorium. Sampel *Sulcospira testudinaria* yang telah didapatkan selanjutnya dimasukkan ke dalam plastik klip yang telah diberi label sebagai penanda. Pengukuran kualitas air seperti suhu, pH dan DO dilakukan langsung di lapang. Pengambilan sampel *Sulcospira testudinaria* dan pengukuran kualitas air dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan.

3.4.3 Pengujian Sampel *Sulcospira testudinaria* di Laboratorium

Pengujian *Sulcospira testudinaria* yang dilakukan di laboratorium meliputi prosedur pengukuran kadar logam berat dan pengukuran kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria*.

a. Pengukuran Kadar Logam Berat pada Keseluruhan Organ *Sulcospira testudinaria*

Pengukuran kadar logam berat Pb, Hg dan Cd pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* dilakukan dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) di Laboratorium Kimia Analitik, Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, Malang. *Atomic Absorption Spectrophotometry* merupakan

alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi berbagai unsur (Ikhsani, *et al.*, 2017). Prosedur metode AAS adalah sebagai berikut :

- Memisahkan bagian daging dan cangkang *Sulcospira testudinaria*.
- Menghaluskan daging lalu menyemprotkan Na-Fisiologis 0,9% sebagai antiseptik untuk memisahkan partikel lumpur yang menyatu dan terdapat pada daging siput
- Menimbang daging sebanyak 2 gram kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 25 ml.
- Menambahkan 10 ml larutan aquaregia (3 HCl pekat : 1 HNO₃ pekat) untuk mengekstrak logam, lalu dipanaskan di atas hotplate sampai kering, kemudian didinginkan.
- Menambahkan larutan HNO₃ encer (2,5 N) sebanyak 10 ml untuk mengekstrak logam, lalu dipanaskan di atas hotplate perlahan-lahan selama kurang lebih 5 menit sambil diaduk dengan spatula.
- Menyaring sampel dan menambahkan aquades sampai tanda batas untuk mengencerkan larutan, lalu dihomogenkan.
- Sampel dibaca dengan AAS (Shimadzu tipe AA-6200) dengan menggunakan lampu katoda yang sesuai dengan logam yang akan diuji dan dicatat absorbansinya. Panjang gelombang untuk logam Pb adalah 217 nm, logam Hg 253,7 nm dan logam Cd 228,8 nm.

b. Pengukuran Kadar Metallothionein pada Keseluruhan Organ *Sulcospira testudinaria*

Pengukuran kadar metallothionein secara kuantitatif dilakukan dengan metode ELISA (*Enzyme Linked Immunosorbent Assay*). Prosedur metode ELISA adalah sebagai berikut :

- Mengambil *Sulcospira testudinaria* untuk dipisahkan bagian daging dan cangkangnya.

- Menghaluskan daging lalu menyemprotkan Na-Fisiologis 0,9% sebagai antiseptik untuk memisahkan partikel lumpur yang menyatu dan terdapat pada daging siput
- Menimbang sampel daging *Sulcospira testudinaria* sebanyak masing-masing 0,2 gram.
- Memasukkan sampel ke dalam plastik klip yang telah diberi label untuk proses homogenasi.
- Apabila sampel akan dihomogenasikan lebih dari 4 jam maka sampel harus segera dibekukan pada suhu -20°C .
- Menghaluskan daging dalam mortar, lalu ditambahkan 1 ml PMSF Lysis Buffer sebagai pelarut dan untuk mengekstrak proteinnya.
- Melarutkan sampel dengan larutan PMSF sampai tercampur sempurna.
- Memasukkan homogenate ke dalam mikrotube dan diberi label.
- Menghomogenkan homogenate dengan *magnetic stirrer* pada 3000 rpm agar tercampur sempurna.
- Mensentrifuge homogenate (suhu $0-4^{\circ}\text{C}$) pada 6000 rpm selama 10 menit untuk mendapatkan supernatan yang mengandung metallothionein.
- Supernatan yang dihasilkan dimasukkan ke dalam mikrotube, lalu diberi label dan disimpan pada suhu -20°C .
- Membuat denah *plate* ELISA dan coating buffer. Denah dibuat berdasarkan kode sampel.
- Coating antigen dengan kadar antigen yang digunakan adalah (1 : 20), diencerkan dengan coating buffer dan diinkubasi dengan suhu 4°C semalam.
- Keesokan harinya *plate* dicuci menggunakan larutan PBS Tween 0,2% sebanyak 100 μl sebagai anti protease dan diulang sebanyak 3 kali.

- Menambahkan 100 μ l antibodi primer anti MT (1 : 500) (spesifikasi 1B/H/X (N-19) SC-12807 Lot #J04 goat polyclonal IgG) dalam assay buffer untuk mengikat antigen.
- Menginkubasi *plate* Elisa pada suhu ruang selama 2 jam sambil *dishake* dengan *shaker* Elisa *plate*.
- Mencuci *plate* dengan PBS Tween 0,2% sebagai anti protease sebanyak 100 μ l dan diulang sebanyak 3 kali.
- Menambahkan 100 μ l antibodi sekunder IgG biotin anti rabbit (1 : 500) (spesifikasi 910 Clopper Road Lot No.120035) dalam assay buffer lalu diinkubasi pada suhu ruang selama 1,5 jam sambil *dishake*.
- Mencuci *plate* dengan PBS Tween 0,2% sebanyak 100 μ l sebagai anti protease dan diulang sebanyak 3 kali.
- Menambahkan 100 μ l larutan SAHRP (1 : 500) (spesifikasi Rockland 800-656-7625 p/n S000-03 Lot : 34173) sebagai enzim yang digunakan dalam assay buffer lalu diinkubasi pada suhu ruang selama 1 jam sambil *dishake*.
- Mencuci *plate* dengan PBS Tween 0,2% sebanyak 100 μ l sebagai anti protease dan diulang sebanyak 3 kali.
- Menambahkan 50 μ l masing-masing lubang substrat *sure blue* TMB (spesifikasi Biolegend Cat:42151 Lot:B240623) lalu diinkubasi 15 menit pada ruang gelap. Jika terjadi reaksi antara antigen dengan antibodi maka akan berubah menjadi biru.
- Menambahkan 50 μ l HCl 1 N sebagai stop reaksi. Pada tahap ini larutan warna biru berubah menjadi kuning.
- Sampel dibaca dengan ELISA *reader* dengan panjang gelombang 450 nm.
- Hasil absorbansi dikonversi dengan kurva standart dan diketahui nilai metallothionein.

3.4.4 Pengukuran Parameter Kualitas Air Sungai

Pengukuran parameter kualitas air pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi perairan di aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung. Parameter kualitas air yang diukur meliputi parameter fisika (suhu) serta parameter kimia (pH dan oksigen terlarut). Hal tersebut sesuai dengan pendapat Sari, *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa fluktuasi kandungan logam berat di perairan diakibatkan karena fluktuasi nilai parameter kualitas air, seperti suhu, pH dan oksigen terlarut.

a. Suhu

Nilai suhu dapat ditentukan menggunakan *DO meter* yang di dalamnya terdapat *thermometer digital*. Menurut Purwanta (2010), penggunaan *DO meter* adalah sebagai berikut:

- Mengkalibrasi alat terlebih dahulu dengan cara membilas elektrode menggunakan aquades sebanyak 3 kali.
- Mengeringkan dengan tisu yang lembut.
- Memasukkan alat ke dalam perairan sampai menunjukkan angka yang stabil pada layar *display*.
- Mencatat hasilnya.

b. *power of Hydrogen*

Menurut Mainassy (2017), derajat keasaman perairan dapat diukur dengan menggunakan *pH meter*. Pengukuran pH dengan menggunakan *pH meter* dilakukan dengan cara:

- Mengkalibrasi *pH meter* menggunakan aquades.
- Mengeringkan menggunakan tisu.
- Memasukkan *pH meter* ke dalam perairan.
- Menunggu hingga nilai pH pada layar stabil.
- Mencatat nilai pH.

c. Oksigen Terlarut

Menurut Purwanta (2010), kadar oksigen terlarut di suatu perairan dapat diukur dengan menggunakan DO *meter*. Cara kerja dari alat ini yaitu sebagai berikut:

- Mengkalibrasi alat terlebih dahulu dengan cara membilas elektrode menggunakan aquades sebanyak 3 kali
- Mengeringkan dengan tisu yang lembut.
- Memasukkan alat ke dalam perairan sampai menunjukkan angka yang stabil pada layar *display*.
- Mencatat hasilnya.

3.5 Analisa Data

Analisa data dalam penelitian ini menggunakan analisis regresi dan koefisien korelasi dengan model regresi linier sederhana pada software SPSS versi 23.0. Menurut Ilyas dan Djufry (2013), analisis regresi digunakan untuk menentukan hubungan antara variabel dependen (Y) dan variabel independen (X), sedangkan koefisien korelasi digunakan untuk mengetahui keeratan hubungan antara dua variabel, terutama untuk data kuantitatif. Menurut Hijriani, *et al.* (2016), model regresi linear sederhana merupakan model regresi yang hanya memiliki satu variabel bebas (X) serta digunakan untuk memprediksi pengaruhnya terhadap variabel terikat (Y). Model regresi linier sederhana digunakan untuk mengetahui hubungan kadar logam berat Pb, Hg dan Cd pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* yang merupakan variabel bebas (X) terhadap kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* yang merupakan variabel terikat (Y).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Umum Stasiun 1

Stasiun 1 pada penelitian ini berada di Dusun Glondong, Kelurahan Satreyan, Kecamatan Kanigoro, Kabupaten Blitar, Jawa Timur. Luas wilayah Kecamatan Kanigoro adalah 55,55 km² yang dibagi dalam 10 desa dan 2 kelurahan serta termasuk dalam wilayah Blitar Utara. Batas-batas wilayah Kecamatan Kanigoro adalah sebagai berikut :

Sebelah Utara	: Kecamatan Garum
Sebelah Timur	: Kecamatan Talun
Sebelah Selatan	: Kecamatan Sutojayan
Sebelah Barat	: Kota Blitar

Stasiun 1 merupakan aliran Sungai Brantas yang letaknya berada di dekat Jembatan Glondong Brantas. Tata guna lahan di wilayah ini didominasi oleh pemukiman dan pertanian. Selain itu, di sekitar pemukiman warga terdapat tambak ikan yang berdekatan dengan sungai. Letak stasiun 1 berdekatan dengan pabrik minyak kelapa sawit.

4.1.1 Sub Stasiun 1

Pengambilan sampel *Sulcospira testudinaria* dan pengukuran kualitas air dilakukan pada sub stasiun 1 yang berada di area pemukiman warga serta terletak pada koordinat -8°9'8,6715" dan 112°13'7,14029". *Sulcospira testudinaria* ditemukan di atas sedimen maupun terkubur didalamnya. Titik ini dipilih karena diduga terdapat sumber cemaran yang berasal dari limbah pemukiman, seperti limbah deterjen maupun buangan sampah dari warga sekitar. Selain itu, di titik ini juga terdapat peternakan warga, seperti unggas dan sapi serta terdapat perahu milik DKP Pemkab yang dapat mempengaruhi kualitas air sungai di tempat tersebut. Kondisi di sub stasiun 1 ini yaitu substratnya lempung berpasir serta

sedikit curam sehingga harus berhati-hati saat menuju ke aliran sungainya. Selain itu, warna air sungai selama penelitian dilakukan yaitu berwarna coklat, arusnya deras serta membawa sampah dan partikel-partikel lain di aliran airnya. Sub stasiun 1 di Stasiun 1 ditunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Sub Stasiun 1 (Data Primer, 2019)

4.1.2 Sub Stasiun 2

Pengambilan sampel *Sulcospira testudinaria* dan pengukuran kualitas air dilakukan pada sub stasiun 2 yang berada di *outlet* tambak ikan milik warga serta terletak pada koordinat $-8^{\circ}9'9,19163''$ dan $112^{\circ}13'6,72496''$. *Sulcospira testudinaria* ditemukan di sekitar *outlet* tambak. Titik ini dipilih karena diduga terdapat sumber cemaran yang berasal dari limbah perikanan, yaitu feses dan sisa pakan yang tidak dikonsumsi yang telah terlarut di air dan selanjutnya mengalir ke badan sungai. Kondisi di sub stasiun 2 ini yaitu substratnya lempung berpasir, arusnya deras, ditutupi banyak semak belukar dan pepohonan serta jalan pematangnya sempit. Sub stasiun 2 di Stasiun 1 ditunjukkan pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Sub Stasiun 2 (Data Primer, 2019)

4.1.3 Sub Stasiun 3

Pengambilan sampel *Sulcospira testudinaria* dan pengukuran kualitas air dilakukan pada sub stasiun 3 yang berada di tempat kapal bersandar serta terletak pada koordinat $-8^{\circ}9'10,04159''$ dan $112^{\circ}13'6,19907''$. *Sulcospira testudinaria* ditemukan di atas sedimen atau terkubur di dalamnya. Titik ini dipilih karena merupakan tempat bersandarnya kapal sehingga terdapat aktivitas seperti pengisian bahan bakar dan kegiatan penangkapan ikan oleh warga setempat sehingga dapat mempengaruhi kondisi air sungai tersebut. Kondisi di sub stasiun 3 ini yaitu substratnya lempung berpasir serta jalan menuju area ini ditutupi banyak semak belukar. Selain itu, warna air di sub stasiun ini yaitu coklat keruh, arusnya deras dan di sekitarnya terdapat sampah seperti putung rokok dan plastik. Sub stasiun 3 di Stasiun 1 ditunjukkan pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Sub Stasiun 3 (Data Primer, 2019)

4.2 Kondisi Umum Stasiun 2

Stasiun 2 pada penelitian ini berada di Desa Buntaran, Kecamatan Rejotangan, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur. Luas wilayah Kecamatan Rejotangan adalah $66,52 \text{ km}^2$ yang dibagi dalam 16 desa. Batas-batas wilayah Kecamatan Rejotangan adalah sebagai berikut :

- Sebelah Utara : Kabupaten Blitar
- Sebelah Timur : Kabupaten Blitar
- Sebelah Selatan : Kabupaten Blitar dan Kecamatan Kalidawir

Sebelah Barat : Kecamatan Ngunut

Stasiun 2 merupakan aliran Sungai Brantas yang letaknya berada di dekat DAM Buntaran. Tata guna lahan di wilayah ini didominasi oleh pemukiman dan pertanian. Selain itu, di sekitar pemukiman warga terdapat peternakan ayam yang berdekatan dengan sungai. Stasiun ini terdapat aliran limbah yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan logam yang memproduksi peralatan rumah tangga, seperti penggorengan maupun alat penggiling dan parutan listrik.

4.2.1 Sub Stasiun 1

Pengambilan sampel *Sulcospira testudinaria* dan pengukuran kualitas air dilakukan pada sub stasiun 1 yang berada di dekat DAM Buntaran serta terletak pada koordinat $-8^{\circ}6'46,95448''$ dan $112^{\circ}2'11,35126''$. *Sulcospira testudinaria* ditemukan menempel di tanggul atau pematang sungai. Titik ini dipilih karena diduga aliran ini membawa limbah dari pemukiman warga di sekitar sungai. Kondisi sungai di sub stasiun 1 ini yaitu arusnya deras, tepi sungai bertanggul, jalan menuju sungai didominasi oleh rerumputan dan air sungai berwarna coklat selama penelitian berlangsung. Sub stasiun 1 di Stasiun 2 ditunjukkan pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Sub Stasiun 1 (Data Primer, 2019)

4.2.2 Sub Stasiun 2

Pengambilan sampel *Sulcospira testudinaria* dan pengukuran kualitas air dilakukan pada sub stasiun 2 yang berada di dekat pemukiman dan lahan

pertanian milik warga serta terletak pada koordinat $-8^{\circ}6'47,32142''$ dan $112^{\circ}2'9,00445''$. *Sulcospira testudinaria* ditemukan menempel di tanggul atau pematang sungai. Titik ini dipilih karena diduga terdapat sumber cemaran yang berasal dari limbah rumah tangga, seperti deterjen dan buangan sampah warga serta limbah pertanian seperti pupuk dan pestisida yang mengalir ke sungai. Kondisi di sub stasiun 2 ini yaitu air sungainya berwarna coklat, terdapat sampah di aliran airnya serta tepi sungainya bertanggul. Selain itu, terdapat pepohonan di tepi sungai, sehingga daun dan batang yang berjatuh dapat masuk ke aliran sungai. Sub stasiun 2 di Stasiun 2 ditunjukkan pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Sub Stasiun 2 (Data Primer, 2019)

4.2.3 Sub Stasiun 3

Pengambilan sampel *Sulcospira testudinaria* dan pengukuran kualitas air dilakukan pada sub stasiun 3 yang berada di dekat persawahan serta terletak pada koordinat $-8^{\circ}6'48,1486''$ dan $112^{\circ}2'13,17491''$. *Sulcospira testudinaria* ditemukan menempel pada tanggul atau pematang sungai. Titik ini dipilih karena diduga terdapat sumber cemaran yang berasal dari limbah pertanian, seperti pestisida. Kondisi di sub stasiun 3 ini yaitu arusnya deras, tepi sungainya ditutupi rerumputan dan pematangnya terbuat dari beton. Selain itu, warna air di sub stasiun ini yaitu coklat keruh. Sub stasiun 3 di Stasiun 2 ditunjukkan pada **Gambar 13**.



Gambar 13. Sub Stasiun 3 (Data Primer, 2019)

4.3 Kondisi Umum Stasiun 3

Stasiun 3 pada penelitian ini berada di Desa Pulosari, Kecamatan Ngunut, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur. Luas wilayah Kecamatan Ngunut adalah 37,70 km² dengan batas-batas wilayahnya adalah sebagai berikut :

- Sebelah Utara : Kabupaten Blitar
- Sebelah Timur : Kecamatan Rejotangan
- Sebelah Selatan : Kecamatan Kalidawir
- Sebelah Barat : Kecamatan Sumbergempol

Stasiun 3 merupakan aliran Sungai Brantas yang letaknya berada di dekat peternakan babi. Tata guna lahan di wilayah ini didominasi oleh pemukiman, pertanian dan peternakan. Selain itu, medan menuju sungainya harus menuruni hutan bambu terlebih dahulu. Letak stasiun 3 berdekatan dengan Rumah Sakit Era Medika dan 2 industri perlengkapan militer, seperti ransel, tenda, kasur lipat serta kursi dan meja militer.

4.3.1 Sub Stasiun 1

Pengambilan sampel *Sulcospira testudinaria* dan pengukuran kualitas air dilakukan pada sub stasiun 1 yang berada di dekat pembuangan limbah peternakan babi yaitu pada koordinat -8°5'32,53358" dan 111°59'50,05756". *Sulcospira testudinaria* ditemukan menempel pada batuan yang terdapat di tepi sungai. Titik ini dipilih karena diduga aliran sungainya terpengaruh oleh adanya

limbah yang dihasilkan oleh peternakan babi, yang berupa kotoran serta sisa makanannya. Titik ini juga dapat terpengaruh oleh limbah pertanian yang berada di dekat sungai. Selain itu, aliran ini juga membawa limbah rumah tangga yang berasal dari pemukiman warga setempat. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya sampah-sampah plastik di aliran sungai. Kondisi sungai di sub stasiun 1 ini yaitu arusnya deras, tepi sungainya bebatuan serta substratnya lempung berpasir. Air sungai berwarna coklat selama penelitian dilakukan. Sub stasiun 1 di Stasiun 3 ditunjukkan pada **Gambar 14**.



Gambar 14. Sub Stasiun 1 (Data Primer, 2019)

4.3.2 Sub Stasiun 2

Pengambilan sampel *Sulcospira testudinaria* dan pengukuran kualitas air dilakukan pada sub stasiun 2 yang berada pada koordinat $-8^{\circ}5'32,49082''$ dan $111^{\circ}59'49,72898''$. *Sulcospira testudinaria* ditemukan diatas sedimen sungai. Titik ini dipilih karena diduga aliran sungainya terpengaruh oleh adanya limbah pertanian di sekitar lokasi, seperti pestisida dan pupuk. Kondisi di sub stasiun 2 ini yaitu air sungainya berwarna coklat, arusnya deras, terdapat sampah di aliran airnya serta tepi sungai substratnya lempung berpasir. Sub stasiun 2 di Stasiun 3 ditunjukkan pada **Gambar 15**.



Gambar 15. Sub Stasiun 2 (Data Primer, 2019)

4.3.3 Sub Stasiun 3

Pengambilan sampel *Sulcospira testudinaria* dan pengukuran kualitas air dilakukan pada sub stasiun 3 yang berada di dekat perkebunan serta terletak pada koordinat $-8^{\circ}5'32,28108''$ dan $111^{\circ}59'49,40635''$. *Sulcospira testudinaria* ditemukan menempel pada batuan yang terdapat di tepi sungai serta ditemukan pula di sedimen. Titik ini terdapat sampah plastik yang menumpuk di batang pohon yang terdapat di aliran sungai. Kondisi di sub stasiun 3 ini yaitu arusnya deras, tepi sungainya bebatuan serta substratnya lempung berpasir, terdapat guguran dari dedaunan dan warna airnya coklat keruh. Sub stasiun 3 di Stasiun 3 ditunjukkan pada **Gambar 16**.

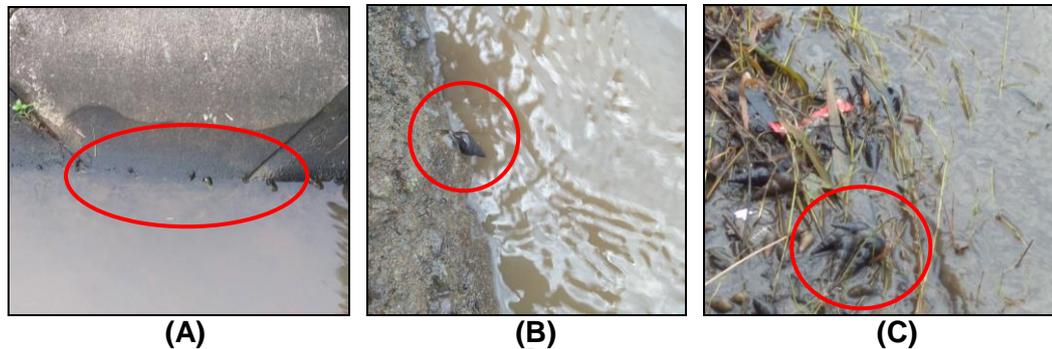


Gambar 16. Sub Stasiun 3 (Data Primer, 2019)

4.4 Panjang Cangkang Sampel *Sulcospira testudinaria* di Setiap Stasiun

Sulcospira testudinaria dapat ditemukan menempel di pematang sungai, bebatuan maupun berada di atas sedimen (**Gambar 17**). Masing-masing sampel

yang ditemukan di ketiga stasiun penelitian memiliki ukuran dan panjang cangkang yang beragam, dari yang berukuran sangat kecil hingga sangat besar.



Gambar 17. *Sulcospira testudinaria* di (A) Pematang Sungai (B) Batuan (C) Sedimen (Data Primer, 2019)

Panjang rata-rata cangkang sampel *Sulcospira testudinaria* di setiap stasiun disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Panjang Cangkang *Sulcospira testudinaria* (Data Primer, 2019)

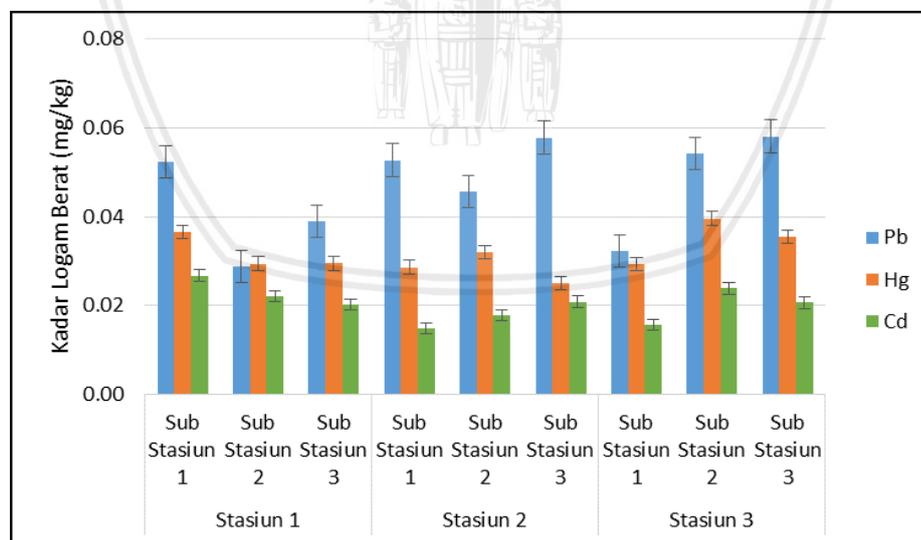
Sampling ke-	Sub Stasiun	Stasiun Penelitian		
		Kanigoro (Blitar)	Rejotangan (Tulungagung)	Ngunut (Tulungagung)
1	1	2,42 cm	2,68 cm	3,72 cm
	2	2,47 cm	2,75 cm	3,87 cm
	3	2,47 cm	2,7 cm	3,93 cm
2	1	2,43 cm	2,74 cm	3,91 cm
	2	2,45 cm	2,84 cm	4,04 cm
	3	2,48 cm	2,78 cm	3,99 cm
3	1	2,68 cm	2,9 cm	3,88 cm
	2	2,76 cm	2,87 cm	4,04 cm
	3	2,7 cm	2,77 cm	3,94 cm

Sulcospira testudinaria yang ditemukan di ketiga stasiun didominasi oleh *Sulcospira* yang berukuran besar, hal tersebut sesuai dengan pendapat Noor, et al. (2013), gastropoda berukuran besar memiliki ukuran panjang cangkang lebih dari 25 mm atau 2,5 cm. Perbedaan ukuran panjang cangkang *Sulcospira testudinaria* pada setiap stasiun disebabkan karena faktor kondisi lingkungan

habitat yang akan mendukung pertumbuhannya, seperti faktor fisika kimia perairan serta ketersediaan makanan. Menurut Putra, *et al.* (2014), indikator pertumbuhan pada gastropoda yaitu terjadinya pertambahan panjang cangkang yang akan diikuti oleh pertambahan berat tubuhnya. Islami (2015) menyatakan bahwa faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan gastropoda adalah ketersediaan makanan. Salah satu makanan gastropoda adalah bahan organik di perairan. Hal tersebut linier dengan pendapat Ulmaula, *et al.* (2016) bahwa gastropoda dapat ditemukan di perairan yang mengandung bahan organik untuk kelangsungan hidupnya.

4.5 Kadar Logam Berat pada Keseluruhan Organ *Sulcospira testudinaria*

Kadar logam berat yang terdapat di keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* menunjukkan nilai yang berbeda-beda di tiap stasiun (**Lampiran 2**). Hasil rata-rata kadar logam berat pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* ditunjukkan pada **Gambar 18**.



Gambar 18. Kadar Logam Berat (Pb, Hg dan Cd) di Keseluruhan Organ *Sulcospira testudinaria*

Berdasarkan hasil pengukuran kadar logam berat keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria*, diketahui bahwa *Sulcospira testudinaria* di stasiun 1

(Kanigoro, Blitar) memiliki rata-rata kadar logam berat Pb dengan rentang 0,0287-0,0523 mg/kg, rata-rata kadar logam berat Hg 0,0294-0,0366 mg/kg dan rata-rata kadar logam berat Cd 0,0201-0,0267 mg/kg. *Sulcospira testudinaria* di stasiun 2 (Rejotangan, Tulungagung) memiliki rata-rata kadar logam berat Pb dengan rentang 0,0456-0,0578 mg/kg, rata-rata kadar logam berat Hg 0,0250-0,0319 mg/kg dan rata-rata kadar logam berat Cd 0,0148-0,0208 mg/kg. *Sulcospira testudinaria* di stasiun 3 (Ngunut, Tulungagung) memiliki rata-rata kadar logam berat Pb dengan rentang 0,0322-0,0581 mg/kg, rata-rata kadar logam berat Hg 0,0293-0,0396 mg/kg dan kadar logam berat Cd 0,0156-0,0238 mg/kg.

Rata-rata tertinggi kadar logam berat Pb di keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* dari ketiga stasiun berada pada stasiun 2 (Rejotangan, Tulungagung). Stasiun ini menerima masukan limbah dari aktivitas pertanian serta pemukiman warga. Penggunaan pestisida di lahan pertanian dapat menjadi sumber logam berat timbal di sungai tersebut. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Handayani, *et al.* (2018) bahwa Balai Penelitian dan Pengembangan Industri Semarang telah memeriksa kandungan pestisida dan menunjukkan beberapa pestisida mengandung logam berat Pb yaitu *Antracol 70 WP*, *Dithane M 45 80 WP*, *Furadan 3G*, *Goal 240 EC*, *Bulldog 25 EC*, *Hostathion 200 EC*, dan *Profile 430 EC*. Selain itu, kandungan Pb yang terdapat dalam pupuk yang digunakan untuk aktivitas pertanian dapat memberikan sumbangan logam berat. Stasiun 2 (Rejotangan, Tulungagung) berada di dekat DAM Buntaran. Konstruksi DAM yang terbuat dari beton dan baja dapat menyumbang masukan logam berat di dalam air. Selain itu, stasiun 2 aliran sungainya membawa limbah dari industri pengolahan logam, yang juga dapat menyumbang masukan logam berat di air.

Rata-rata tertinggi kadar logam berat Hg di keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* dari ketiga stasiun berada pada stasiun 3 (Ngunut, Tulungagung).

Stasiun ini berada di dekat peternakan babi dan di sekitarnya juga terdapat area persawahan. Limbah peternakan babi, seperti sisa pakan dan fesesnya yang dialirkan langsung ke sungai dapat mempengaruhi kualitas air serta kadar logam berat di sungai tersebut. Logam berat Hg di stasiun ini juga dapat berasal dari limbah Rumah Sakit Era Medika serta industri perlengkapan militer, yang di dalamnya juga terdapat pengolahan logam untuk membuat konstruksi tenda maupun peralatan militer lainnya. Menurut Putranto (2011), sumber logam berat merkuri di perairan dapat berasal dari aktivitas pertambangan, aktivitas industri pengecoran logam dan semua industri yang menggunakan Hg sebagai bahan baku maupun bahan tambahan, seperti industri klor alkali, tambang emas, peralatan listrik, cat, termometer, tensimeter, pabrik detonator dan industri pertanian. Selain itu, limbah rumah sakit juga dapat menjadi sumber Hg di perairan, seperti aktivitas analisis di laboratorium serta amalgam yang digunakan untuk menambal gigi.

Rata-rata tertinggi kadar logam berat Cd di keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* dari ketiga stasiun berada pada stasiun 1 (Kanigoro, Blitar). Logam berat Cd yang terdapat di stasiun ini dapat berasal limbah pertanian yang terdapat di sekitar stasiun. Menurut Prabowo, *et al.* (2016), pupuk fosfat yang digunakan untuk aktivitas pertanian mengandung Cd tidak kurang dari 20 mg/kg. Lokasi stasiun yang berdekatan dengan pabrik minyak kelapa sawit juga dapat menyumbang masukan logam berat di sungai. Menurut Wulandari, *et al.* (2016), pabrik kelapa sawit menghasilkan limbah cair sebesar 60% pada proses pengolahannya. Limbah cair ini mengandung logam berat seperti Cd, Fe, Cu, Cr, Zn, Ni dan Pb. Pada stasiun ini terdapat 2 kapal milik Dinas Provinsi yang bersandar di tepi sungai. Aktivitas pengoprasian kapal serta pengisian bahan bakar juga dapat menyumbang logam berat di sungai.

Ketiga stasiun pengamatan memiliki kadar logam berat yang berbeda-beda pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria*. Hal tersebut dikarenakan pengaruh masukan bahan pencemar yang terdapat di sekitar stasiun berbeda-beda pula, sehingga daya akumulasi *Sulcospira testudinaria* terhadap suatu jenis logam berat di suatu lokasi berbeda dengan lokasi lainnya. Berdasarkan grafik di atas, dari ketiga stasiun, akumulasi logam berat Pb di keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* tertinggi dibandingkan dengan logam berat Hg dan Cd. Perbedaan kadar logam berat Pb, Hg dan Cd dalam keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* juga menandakan bahwa kemampuan akumulasi logam berat dalam keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* tidak sama setiap jenis logam beratnya. Hal tersebut linier dengan pendapat Suryani, *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa setiap organisme memiliki daya akumulasi logam berat yang berbeda antara logam yang satu dengan yang lainnya. Hal tersebut dipengaruhi oleh jenis logam berat, organisme, lama pemaparan serta kondisi lingkungan perairan.

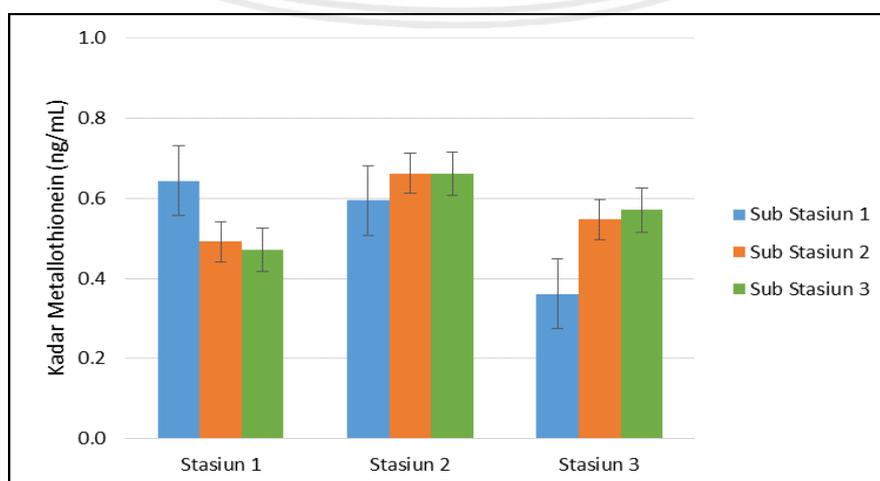
Kadar logam berat dalam keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* semakin meningkat setiap minggunya. Salah satu faktor yang mempengaruhinya menurut Arfiati, *et al.* (2018) adalah ukuran dari organisme yang terpapar. Hal tersebut dikarenakan kemampuan suatu organisme dalam mengakumulasi logam berat akan terus meningkat selama organisme tersebut mengalami pertumbuhan. Semakin besar ukuran tubuh *Sulcospira testudinaria*, maka akumulasi logam beratnya semakin tinggi karena semakin lama terpapar oleh logam berat. Kadar logam berat dalam keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* juga dapat mengalami peningkatan melalui proses rantai makanan. Menurut Martuti, *et al.* (2016), proses bioakumulasi logam berat dapat terjadi secara fisis maupun biologis. Proses fisis berupa menempelnya senyawa logam berat pada bagian tubuh organisme seperti insang, sedangkan proses biologis terjadi melalui proses

rantai makanan serta terabsorbsinya logam berat yang menempel di tubuh organisme.

Batas maksimum kadar logam berat yang dapat menyebabkan efek toksik dalam tubuh siput air tawar, yaitu Pb sebesar 0,202 mg/kg (International Lead Association, 2019), Hg sebesar 0,06 mg/kg (Australian Government Initiative, 2000) dan Cd sebesar 0,101 mg/kg (Mebane, 2010). Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2017, kategori bahan pangan dari produk perikanan, termasuk didalamnya moluska, batas maksimum logam berat Pb sebesar 0,2 mg/kg, Hg sebesar 0,06 mg/kg dan Cd sebesar 0,1 mg/kg. Apabila berpacu pada NAB tersebut, kadar logam berat yang terdapat di keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* pada ketiga stasiun masih dibawah nilai baku mutu yang telah ditetapkan.

4.6 Kadar Metallothionein pada Keseluruhan Organ *Sulcospira testudinaria*

Kadar metallothionein yang terdapat di keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* menunjukkan nilai yang berbeda-beda di tiap stasiun (**Lampiran 3**). Hasil kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* ditunjukkan pada **Gambar 19**.



Gambar 19. Kadar Metallothionein pada *Sulcospira testudinaria*

Berdasarkan hasil pengukuran kadar metallothionein pada *Sulcospira testudinaria*, diketahui bahwa *Sulcospira testudinaria* di stasiun 1 (Kanigoro, Blitar) memiliki rata-rata kadar metallothionein berkisar antara 0,4716-0,6443 ng/mL. *Sulcospira testudinaria* di stasiun 2 (Rejotangan, Tulungagung) memiliki rata-rata kadar metallothionein berkisar antara 0,5953-0,6621 ng/mL, sedangkan di stasiun 3 (Ngunut, Tulungagung) berkisar antara 0,3612-0,5711 ng/mL. Menurut Falfushynska, *et al.* (2014), metallothionein adalah salah satu biomarker yang digunakan untuk mengetahui tingkat paparan logam berat pada tubuh moluska.

Rata-rata kadar metallothionein pada *Sulcospira testudinaria* tertinggi dari ketiga stasiun terdapat di Stasiun 2, yaitu Rejotangan, Tulungagung. Hal tersebut dikarenakan pada stasiun ini memiliki kadar logam berat yang tinggi pula. Menurut Dewi, *et al.* (2014), sesaat setelah logam berat terabsorpsi oleh tubuh, logam ini akan langsung diikat oleh protein (thionein) dan membentuk gugus kompleks protein-logam yang disebut metallothionein. Pengikatan logam berat oleh thionein merupakan suatu mekanisme pertahanan dan perlindungan untuk mencegah logam tersebut mempengaruhi protein-protein penting dalam proses metabolisme tubuh. Menurut Suratno, *et al.* (2017), apabila kecepatan logam berat masuk ke dalam sel melebihi kecepatan sintesis metallothionein, maka kemampuan hati untuk melakukan detoksifikasi akan menurun, sehingga logam berat yang berlebihan di dalam tubuh organisme akan didistribusikan ke seluruh tubuh melalui pembuluh darah. Transpor logam berat di dalam jaringan tubuh dilakukan oleh darah dalam bentuk terikat dengan protein hemoglobin dalam sel darah merah. Jika pengikatan polutan dalam hati telah melebihi batas, polutan seperti logam berat akan diakumulasi di dalam otot atau daging. Setelah terikat pada jaringan, logam berat sulit dilepaskan kembali karena telah berikatan dengan gugus sulfidril. Logam berat yang telah berikatan dengan gugus sulfidril

akan mengakibatkan gangguan pada struktur protein dan enzim. Hal tersebut terjadi karena ion logam berat akan menggantikan ion logam esensial, sehingga aktivitas enzim akan terganggu. Gangguan aktivitas enzim akibat logam berat akan mengganggu metabolisme pada tingkat sel dan menyebabkan sel menjadi lisis dan rusak.

Faktor yang mempengaruhi kadar metallothionein pada tubuh organisme menurut Hemmadi (2016) adalah usia, jenis kelamin, jenis jaringan yang terpapar, jenis logam berat, kondisi habitat dan musim. Kadar metallothionein dalam keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* yang terpapar logam berat Pb, Hg dan Cd berbeda-beda di setiap stasiunnya. Hal tersebut menandakan bahwa metallothionein memiliki kemampuan yang berbeda dalam merespon jenis logam berat yang masuk ke dalam tubuh. Menurut Li, *et al.* (2015), hasil suatu riset menunjukkan bahwa metallothionein pada kelenjar pencernaan *Mytilus galloprovincialis* mengalami peningkatan yang signifikan akibat paparan Cd, tetapi kadarnya berkurang pada saat terpapar logam berat Cu. Hal tersebut menunjukkan bahwa ekspresi MT dalam kelenjar pencernaan berbeda-beda dalam menanggapi berbagai logam berat.

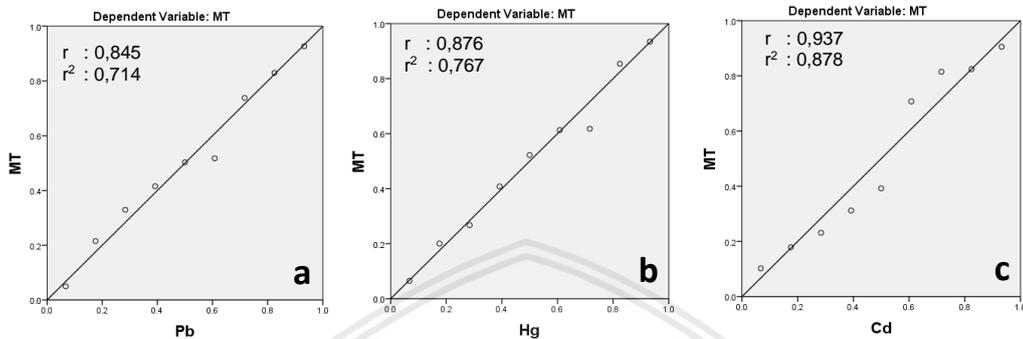
4.7 Hubungan Kadar Logam Berat dengan Kadar Metallothionein pada Keseluruhan Organ *Sulcospira testudinaria*

Hubungan kadar logam berat dengan kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* dapat diketahui menggunakan analisis regresi linier sederhana. Penelitian ini menggunakan analisis regresi linier sederhana untuk mengetahui hubungan kadar logam berat Pb, Hg, Cd dalam keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* sebagai variabel independen (X) dengan kadar metallothionein dalam keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* sebagai variabel dependen (Y).

4.7.1 Stasiun 1

Hubungan kadar logam berat Pb, Hg dan Cd dengan kadar metallothionein pada *Sulcospira testudinaria* di stasiun 1 ditunjukkan pada

Gambar 20.



Gambar 20. Grafik hubungan kadar logam berat (a) Pb (b) Hg dan (c) Cd terhadap kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* di Stasiun 1

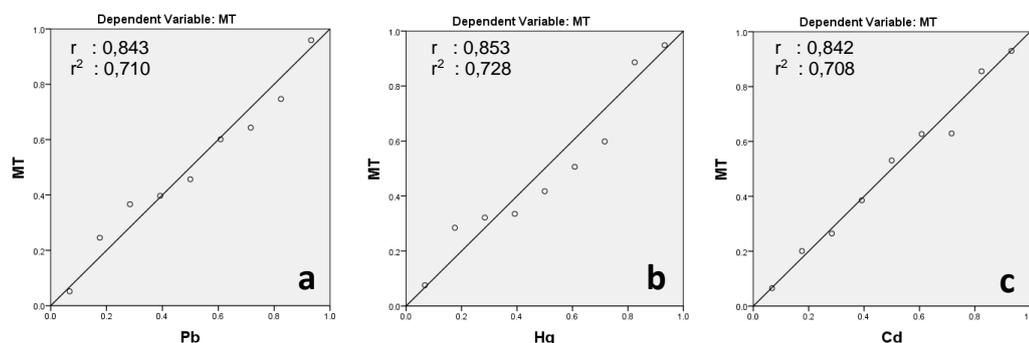
Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan regresi linier sederhana, pada stasiun 1 didapatkan hasil bahwa kadar logam berat Pb terhadap metallothionein memiliki persamaan model linier yaitu $Y=0,063+11,823x$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,714 dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,845. Variabel Pb memberikan pengaruh sebesar 71,4% terhadap kadar metallothionein dan 28,6% dipengaruhi oleh faktor lain. Hasil regresi kadar logam berat Hg terhadap metallothionein didapatkan persamaan model linier yaitu $Y=0,124+12,973x$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,767 dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,876. Variabel Hg memberikan pengaruh sebesar 76,7% terhadap kadar metallothionein dan 23,3% dipengaruhi oleh faktor lain. Hasil regresi kadar logam berat Cd terhadap metallothionein didapatkan persamaan model linier yaitu $Y=0,078+19,936x$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,878 dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,937. Variabel Cd memberikan pengaruh sebesar 87,8% terhadap kadar metallothionein dan 12,2% dipengaruhi oleh faktor lain.

Nilai koefisien korelasi pada hubungan kadar logam berat Pb, Hg dan Cd terhadap kadar metallothionein pada *Sulcospira testudinaria* di Stasiun 1 menunjukkan hubungan yang sangat kuat. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Sugiyono (2014) yang menyatakan bahwa nilai koefisien korelasi (r) yang berkisar antara 0,8-1 menunjukkan tingkat hubungan yang sangat kuat. Herjanto (2009) juga menyatakan bahwa nilai r lebih dari 0,7 menunjukkan adanya tingkat korelasi yang tinggi atau kuat. Jika r bernilai positif, maka hubungan kedua variabel bersifat searah, artinya setiap kenaikan nilai variabel X akan diikuti dengan kenaikan variabel Y. Selain itu, persamaan model linier dari ketiga grafik diatas juga menunjukkan bahwa kadar logam berat Pb, Hg dan Cd dengan kadar metallothionein memiliki hubungan yang searah. Menurut Soeheri, *et al.* (2015), nilai positif pada model persamaan linier menunjukkan terdapat hubungan yang searah antara variabel X dan Y. Apabila kadar logam berat dalam keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* naik, maka kadar metallothionein juga akan naik.

4.7.2 Stasiun 2

Hubungan kadar logam berat Pb, Hg dan Cd dengan kadar metallothionein pada *Sulcospira testudinaria* di stasiun 2 ditunjukkan pada

Gambar 21.



Gambar 21. Grafik hubungan kadar logam berat (a) Pb (b) Hg dan (c) Cd terhadap kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* di Stasiun 2

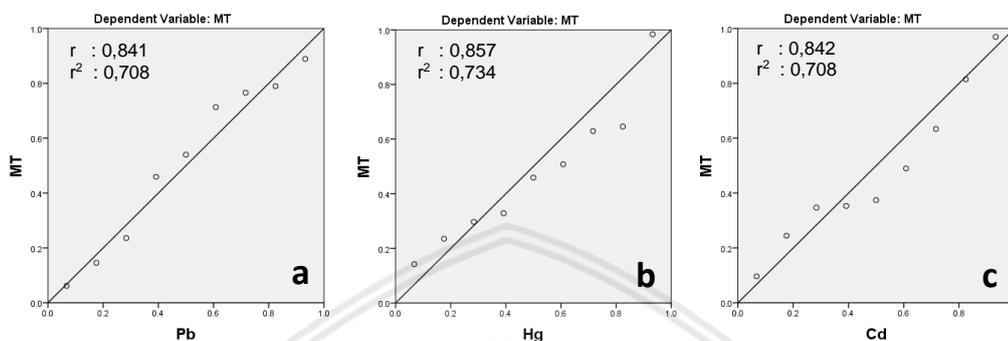
Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan regresi linier sederhana, pada stasiun 2 didapatkan hasil bahwa kadar logam berat Pb terhadap metallothionein memiliki persamaan model linier yaitu $Y=0,048+11,372x$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,710 dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,843. Variabel Pb memberikan pengaruh sebesar 71% terhadap kadar metallothionein dan 29% dipengaruhi oleh faktor lain. Hasil regresi kadar logam berat Hg terhadap metallothionein didapatkan persamaan model linier yaitu $Y=0,014+21,941x$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,728 dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,853. Variabel Hg memberikan pengaruh sebesar 72,8% terhadap kadar metallothionein dan 27,2% dipengaruhi oleh faktor lain. Hasil regresi kadar logam berat Cd terhadap metallothionein didapatkan persamaan model linier yaitu $Y=0,010+35,440x$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,708 dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,842. Variabel Cd memberikan pengaruh sebesar 70,8% terhadap kadar metallothionein dan 29,2% dipengaruhi oleh faktor lain.

Nilai koefisien korelasi pada hubungan kadar logam berat Pb, Hg dan Cd terhadap kadar metallothionein pada *Sulcospira testudinaria* di Stasiun 2 menunjukkan hubungan yang sangat kuat. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai koefisien korelasi (r) yang lebih dari 0,8. Menurut Pianda (2018), koefisien korelasi 0,8-1 menunjukkan tingkat hubungan yang sangat kuat. Menurut Li, *et al.* (2015), logam berat dalam jaringan tubuh moluska memiliki korelasi yang positif terhadap kadar MT yang ditemukan dalam jaringan, yang artinya apabila kadar logam berat dalam tubuh naik, maka kadar MT juga akan mengalami kenaikan.

4.7.3 Stasiun 3

Hubungan kadar logam berat Pb, Hg dan Cd dengan kadar metallothionein pada *Sulcospira testudinaria* di stasiun 3 ditunjukkan pada

Gambar 22.



Gambar 22. Grafik hubungan kadar logam berat (a) Pb (b) Hg dan (c) Cd terhadap kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* di Stasiun 3

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan regresi linier sederhana, pada stasiun 3 didapatkan hasil bahwa kadar logam berat Pb terhadap metallothionein memiliki persamaan model liner yaitu $Y=0,083+8,503x$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,708 dengan koefiensi korelasi (r) sebesar 0,841. Variabel Pb memberikan pengaruh sebesar 70,8% terhadap kadar metallothionein dan 29,2% dipengaruhi oleh faktor lain. Hasil regresi kadar logam berat Hg terhadap metallothionein didapatkan persamaan model liner yaitu $Y=0,054+12,626x$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,734 dengan koefiensi korelasi (r) sebesar 0,857. Variabel Hg memberikan pengaruh sebesar 73,4% terhadap kadar metallothionein dan 26,6% dipengaruhi oleh faktor lain. Hasil regresi kadar logam berat Cd terhadap metallothionein didapatkan persamaan model liner yaitu $Y=0,170+16,135x$ dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,708 dengan koefiensi korelasi (r) sebesar 0,842. Variabel Cd memberikan pengaruh sebesar 70,8% terhadap kadar metallothionein dan 29,2% dipengaruhi oleh faktor lain.

Nilai koefisien korelasi pada hubungan kadar logam berat Pb, Hg dan Cd terhadap kadar metallothionein pada *Sulcospira testudinaria* di Stasiun 3 menunjukkan hubungan yang sangat kuat. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Syahza, *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa nilai koefisien korelasi (r) yang berkisar antara 0,75-0,99 menunjukkan korelasi yang sangat kuat. Persamaan model linier dari ketiga grafik diatas menunjukkan bahwa kadar logam berat Pb, Hg dan Cd dengan kadar metallothionein memiliki hubungan yang searah. Menurut Hemmadi, *et al.* (2016), kekuatan hubungan antara logam berat dengan metallothionein pada jaringan tubuh organisme menunjukkan respon suatu individu terdapat paparan logam yang diterimanya.

4.8 Pengaruh Kadar Logam Berat Terhadap Kadar Metallothionein pada Keseluruhan Organ *Sulcospira testudinaria*

Berdasarkan analisis regresi linier sederhana yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa logam berat Cd pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* memberikan pengaruh yang paling tinggi terhadap kadar metallothionein di ketiga stasiun penelitian. Hal tersebut diketahui berdasarkan koefisien regresi (bx) yang didapatkan dari model persamaan linier. Logam Cd mampu memberikan pengaruh tertinggi karena dengan kadar yang rendah, Cd mampu meningkatkan kadar metallothionein. Sebagai contoh, model persamaan linier kadar logam Cd dengan kadar metallothionein di stasiun 1 adalah $Y=0,078+19,936x$ yang artinya setiap kenaikan logam Cd sebesar 1 mg/kg maka kadar metallothionein akan meningkat sebesar 19,936 mg/kg. Urutan pengaruh kadar logam berat terhadap kadar metallothionein di ketiga stasiun, dari yang tertinggi adalah Cd, Hg dan Pb.

Menurut Babich dan Stotzki (1978), urutan logam berat yang memiliki kemampuan dalam berikatan dengan asam amino adalah $Hg > Cu > Ni > Pb > Co > Cd$. Akan tetapi, kadmium memiliki afinitas kuat terhadap sistein, histidin,

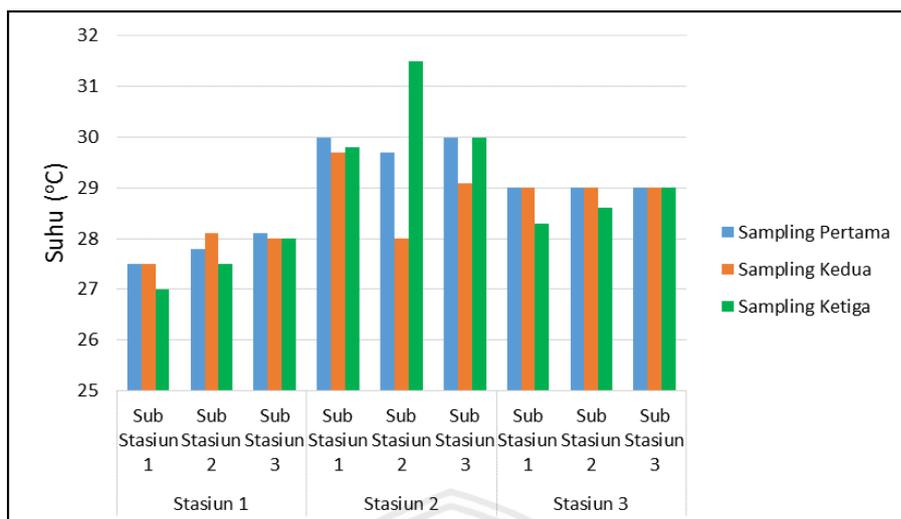
porfirin dan purin. Oleh sebab itu, kadmium memiliki pengaruh tertinggi terhadap kadar metallothionein karena metallothionein mengandung banyak sistein yang memiliki afinitas kuat terhadap kadmium. Logam Zn pada deret volta terletak di sebelah kiri logam Cd, Pb dan Hg. Menurut Yulianti, *et al.* (2017), semakin ke kiri letak suatu logam pada deret volta, maka semakin mudah logam tersebut melepaskan elektron. Hal ini yang menyebabkan posisi Zn pada metallothionein dapat digantikan oleh Cd, Pb atau Hg. Menurut Dewi (2012), urutan logam berat yang memiliki pengaruh tertinggi terhadap kadar metallothionein berdasarkan konsentrasi terendah induksi sintesis atau munculnya metallothionein yaitu logam Cd, Hg dan Pb.

4.9 Hasil Pengukuran Kualitas Air

Kualitas Air yang diukur pada penelitian ini meliputi suhu, oksigen terlarut dan pH. Pengukuran tersebut dilakukan dengan 3 kali pengulangan untuk mengetahui fluktuasi nilai kualitas air di ketiga stasiun pengambilan sampel *Sulcospira testudinaria*, yaitu di aliran Sungai Brantas wilayah Kanigoro Blitar, Rejotangan Tulungagung dan Ngunut Tulungagung. Data hasil pengukuran kualitas air disajikan pada **Lampiran 4**.

4.9.1 Suhu

Pengukuran suhu pada penelitian ini dilakukan pada rentang waktu 09.00-12.30 WIB dengan menggunakan DO *meter* yang di dalamnya terdapat *thermometer digital*. Data yang diperoleh dari pengukuran suhu ditunjukkan pada **Gambar 23**.



Gambar 23. Hasil Pengukuran Suhu

Berdasarkan hasil pengukuran suhu, diketahui bahwa pengukuran di stasiun 1 (Kanigoro, Blitar) memiliki nilai dengan rentang 27-28,1°C. Hasil pengukuran suhu di stasiun 2 (Rejotangan, Tulungagung) memiliki nilai dengan rentang 28-31,5°C, sedangkan hasil pengukuran suhu di stasiun 3 (Ngunut, Tulungagung) memiliki nilai dengan rentang 28,3-29°C. Faktor-faktor yang mempengaruhi suhu perairan yaitu intensitas cahaya matahari, waktu pengukuran, kanopi atau tutupan vegetasi setempat, cuaca, topografi serta letak geografis suatu wilayah. Nilai suhu tertinggi dari ketiga stasiun berada pada stasiun 2 (Rejotangan, Tulungagung). Hal tersebut dikarenakan pada wilayah sungai ini jarang ditemukan tutupan vegetasi serta penyinaran mataharinya tinggi saat pengukuran dilakukan. Sedangkan nilai suhu terendah dari ketiga stasiun adalah stasiun 1 (Kanigoro, Blitar). Hal tersebut dikarenakan pengukuran suhu dilakukan paling awal diantara ketiga stasiun, yaitu pada pukul 09.00 WIB, sehingga penyinaran mataharinya belum terlalu tinggi.

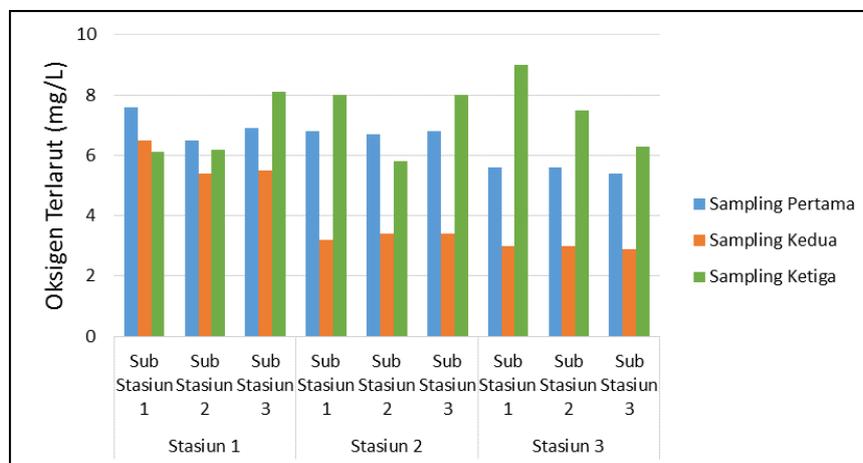
Suhu perairan di ketiga stasiun aliran Sungai Brantas masih tergolong aman dan sesuai baku mutu air yang ditetapkan berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, yaitu deviasi 3, yang artinya apabila suhu normal

airnya 27°C, maka kisaran suhu air adalah 24°C – 30°C. Menurut Purwanti, *et al.* (2015), suhu yang ideal untuk perkembangan dan pertumbuhan gastropoda air tawar adalah 20-30°C. Suhu perairan berperan dalam mortalitas, fekunditas, pertumbuhan serta kepadatan populasi siput di suatu perairan (McCreesh, *et al.*, 2014).

Menurut Budiastuti, *et al.* (2016), suhu perairan berpengaruh terhadap toksisitas logam berat. Apabila suhu meningkat, proses penyerapan logam berat oleh organisme akan meningkat dan reaksi pembentukan ikatan antara logam berat dengan protein dalam tubuh semakin cepat. Hal tersebut juga linier dengan pendapat Fujiastuti, *et al.* (2013) bahwa peningkatan suhu perairan cenderung akan meningkatkan toksisitas dan akumulasi logam berat. Hal tersebut disebabkan karena meningkatnya laju metabolisme organisme perairan. Jakfar, *et al.* (2014) menambahkan bahwa peningkatan suhu akan mempengaruhi tingkat *influx* (pemasukan) dan *efflux* (pengeluaran) logam berat karena proses biologi akan meningkat dua kali lipat setiap kenaikan suhu 10°C.

4.9.2 Oksigen Terlarut

Pengukuran oksigen terlarut pada penelitian ini dilakukan pada rentang waktu 09.00-12.30 WIB dengan menggunakan DO *meter*. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran oksigen terlarut ditunjukkan pada **Gambar 24**.



Gambar 24. Hasil Pengukuran Oksigen Terlarut



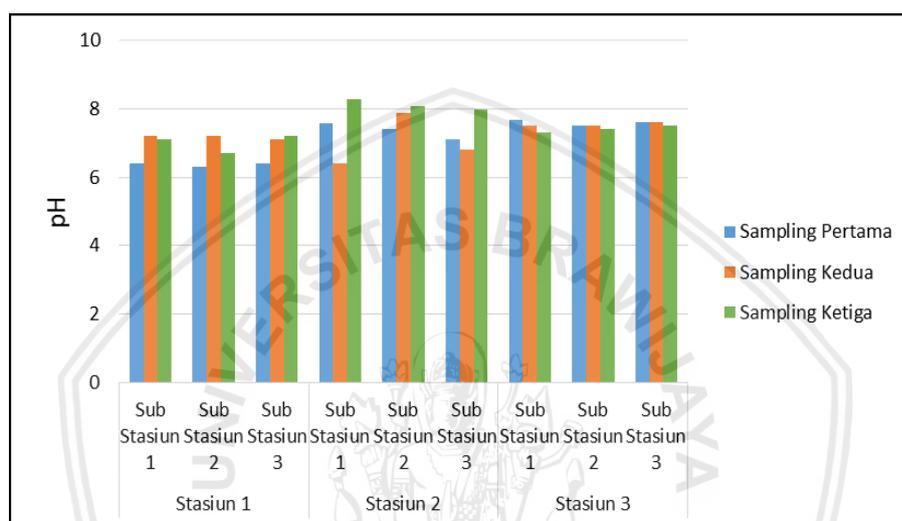
Berdasarkan hasil pengukuran oksigen terlarut, diketahui bahwa pengukuran di stasiun 1 (Kanigoro, Blitar) memiliki nilai dengan rentang 5,4-8,1 mg/L. Hasil pengukuran oksigen terlarut di stasiun 2 (Rejotangan, Tulungagung) memiliki nilai dengan rentang 3,2-8 mg/L, sedangkan hasil pengukuran oksigen terlarut di stasiun 3 (Ngunut, Tulungagung) memiliki nilai dengan rentang 2,9-9 mg/L. Rata-rata nilai DO tertinggi dari ketiga stasiun berada pada stasiun 1 (Kanigoro, Blitar). Hal tersebut dapat disebabkan karena di wilayah sungai ini memiliki arus yang deras, sehingga terjadi difusi yang dapat meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut di perairan. Sedangkan rata-rata nilai DO terendah dari ketiga stasiun adalah stasiun 3 (Ngunut, Tulungagung), dimana stasiun ini berada di dekat peternakan babi. Menurut Marwan, *et al.* (2015), oksigen terlarut dibutuhkan mikroba untuk mengoksidasi bahan organik yang terdapat di perairan. Bahan organik di perairan berasal dari proses penguraian, pelapukan maupun dekomposisi sisa-sisa organisme mati dan buangan limbah, seperti limbah domestik, industri, pertanian, limbah peternakan ataupun sisa pakan.

Oksigen terlarut di ketiga stasiun aliran Sungai Brantas masih tergolong aman dan sesuai baku mutu air yang ditetapkan berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, yaitu minimum 4 mg/L. Menurut Marie, *et al.* (2015), konsentrasi oksigen terlarut yang mendukung pertumbuhan siput air tawar adalah 2,2-8,5 mg/L. Menurut Putra, *et al.* (2014), oksigen terlarut dapat mempengaruhi perubahan komposisi gastropoda di suatu perairan. Apabila konsentrasi oksigen terlarut semakin tinggi, maka kandungan bahan organik dapat berkurang, sehingga komposisi gastropoda di suatu perairan dapat menurun. Hal tersebut dikarenakan gastropoda tidak mendapatkan ketersediaan makanan yang cukup untuk kelangsungan hidupnya. Menurut Putri, *et al.* (2014), rendahnya konsentrasi oksigen terlarut yang disebabkan oleh tingginya bahan

organik dalam perairan menyebabkan daya larut logam berat di perairan menjadi rendah dan menjadikannya mengendap di sedimen.

4.9.3 *power of Hydrogen* (pH)

Pengukuran pH pada penelitian ini dilakukan pada rentang waktu 09.00-12.30 WIB dengan menggunakan pH *meter*. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran pH ditunjukkan pada **Gambar 25**.



Gambar 25. Hasil Pengukuran pH

Berdasarkan hasil pengukuran pH, diketahui bahwa pengukuran di stasiun 1 (Kanigoro, Blitar) memiliki nilai dengan rentang 6,3-7,2. Hasil pengukuran pH di stasiun 2 (Rejotangan, Tulungagung) memiliki nilai dengan rentang 6,4-8,3, sedangkan hasil pengukuran pH di stasiun 3 (Ngunut, Tulungagung) memiliki nilai dengan rentang 7,3-7,69. Rata-rata nilai pH tertinggi dari ketiga stasiun berada pada stasiun 3 (Ngunut, Tulungagung). Menurut Supriyantini, *et al.* (2017), perairan yang memiliki pH basa dapat mendorong proses perombakan bahan organik menjadi mineral-mineral, seperti amonia dan nitrat. Selain itu, pada pH basa, amonia tak terionisasi terdapat dalam jumlah yang lebih banyak dan bersifat toksik bagi organisme perairan.

pH di ketiga stasiun aliran Sungai Brantas masih tergolong aman dan sesuai baku mutu air yang ditetapkan berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, yaitu 6-9. Menurut Purwanti, *et al.* (2015), pH optimal untuk menunjang kehidupan gastropoda air tawar adalah 5-9,6. Menurut Harahap, *et al.* (2016), pH yang rendah dapat menyebabkan penyerapan oksigen oleh gastropoda menjadi terganggu.

Menurut Dewi, *et al.* (2014), toksisitas logam berat di perairan akan meningkat sejalan dengan kenaikan pH. Menurut Pinem, *et al.* (2013), pada pH rendah, permukaan tubuh organisme akan bermuatan positif karena terjadi protonasi pada gugus anionik, seperti karboksilat ataupun amino. Apabila pH rendah, maka akan terjadi protonasi gugus basa lemah pada permukaan sel biomassa, sehingga semakin rendah pH perairan menyebabkan semakin banyak gugus basa lemah yang terprotonasi dan mengakibatkan kemampuan biomassa untuk menyerap logam semakin lemah. Permukaan tubuh organisme dan kation logam sama-sama memiliki muatan positif, sehingga akan terjadi tolakan dan menyebabkan daya serap menjadi rendah. Sedangkan pada pH tinggi, permukaan tubuh organisme bermuatan negatif karena terjadi deprotonasi pada gugus hidroksil atau amino, oleh karena itu daya serap ion logam akan semakin meningkat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan di tiga stasiun adalah sebagai berikut :

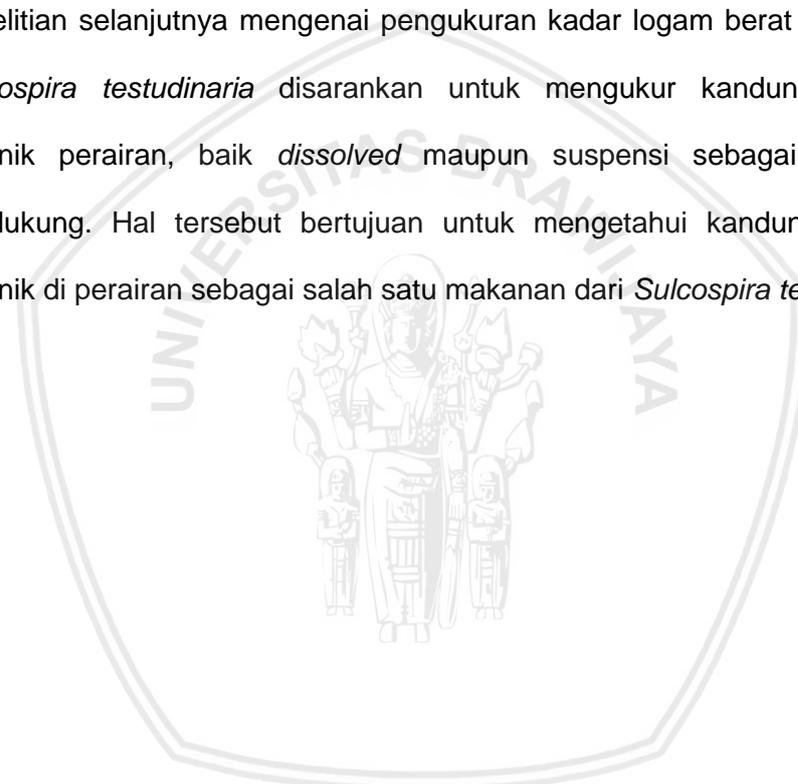
1. Kadar logam berat (Pb, Hg dan Cd) dalam keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* diperoleh hasil yang masih dalam kategori aman menurut Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2017.
2. Rata-rata kadar metallothionein menunjukkan nilai tertinggi pada stasiun 2 yang didominasi oleh wilayah pemukiman serta pertanian.
3. Berdasarkan hasil regresi linier, kadar logam berat (Pb, Hg dan Cd) dengan kadar metallothionein pada keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* terdapat hubungan yang sangat kuat dengan korelasi positif, yang artinya apabila kadar logam berat dalam keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* naik, maka kadar metallothionein juga akan naik. Logam berat yang memiliki pengaruh tertinggi terhadap kadar metallothionein pada *Sulcospira testudinaria* di ketiga stasiun adalah logam Cd. Hal tersebut dikarenakan dengan konsentrasi yang rendah, Cd mampu meningkatkan kadar metallothionein.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di tiga stasiun, dapat diketahui bahwa kadar logam berat (Pb, Hg dan Cd) dalam keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* memiliki hubungan yang sangat kuat dengan kadar metallothionein, sehingga metallothionein dapat dijadikan sebagai

- biomarker dalam pemantauan kualitas perairan, termasuk status logam berat dalam aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung.
2. Kadar logam berat (Pb, Hg dan Cd) dalam keseluruhan organ *Sulcospira testudinaria* diperoleh hasil yang masih dalam kategori aman, sehingga diperlukan upaya menjaga dan memantau kualitas air di aliran Sungai Brantas wilayah Blitar dan Tulungagung agar tidak terjadi peningkatan beban pencemaran di wilayah sungai tersebut.
 3. Penelitian selanjutnya mengenai pengukuran kadar logam berat pada tubuh *Sulcospira testudinaria* disarankan untuk mengukur kandungan bahan organik perairan, baik *dissolved* maupun suspensi sebagai parameter pendukung. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui kandungan bahan organik di perairan sebagai salah satu makanan dari *Sulcospira testudinaria*.



DAFTAR PUSTAKA

- AbdAllah, A.T. 2014. Light structure as biomarker for heavy metal bioaccumulation and toxicity in molluscan gastropods. *Formatex*. 330-334.
- Afdal. 2016. Fluks CO₂ di perairan Pesisir Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 1(2): 91-103.
- Amalina, Y.N., Z. Salimin dan Sudarno. 2015. Pengaruh pH dan waktu proses dalam penyisihan logam berat Cr, Fe, Zn, Cu, Mn, dan Ni dalam air limbah industri elektroplating dengan proses oksidasi biokimia. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 4(3): 1-9.
- Arfiati, D., Nuriyani dan H.F. Kharismayanti. 2018. *Crassostrea* : Tiram Bakau dan Tiram Batu. UB Press. Malang.
- Arisandi, A., Adhityarno, S. Riyadi, R. Tuliandri, S.T. Nurul, E. Rina, M. Zahli, Z. Amin, U. Zahroh, M. Saleh, L. Vera dan Ermawanti. 2013. Dampak konsentrasi Fe dan Pb terhadap morfologi zooplankton di tambak Socah Bangkalan. *Jurnal Kelautan*. 6(1): 1-8.
- Astutik, L.W. dan E. Zulaika. 2015. Viabilitas *Azotobacter* ala, A5 dan A9 pada medium yang mengandung logam Pb. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 4(1): 1-4.
- Australian Government Initiative. 2000. Mercury in Freshwater and Marine Water. Australian.
- Babich, H. and G. Stotzky. 1978. Effects of cadmium on the biota: Influence of environmental factors. *Adv Appl Microbiol*. 23: 55-117.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Tulungagung. 2013. Potensi dan Produk Unggulan Jawa Timur. Kabupaten Tulungagung.
- Baid, A. 2016. ELISA-a mini review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*. 118-125.
- Bakiu, R., G. Santovito, A. Hoda, J. Shehu, S. Durmishaj, P. Irato and E. Piccinni. 2013. Metallothionein (MT): a good biomarker in marine sentinel species like sea bream (*Sparus aurata*). *Albanian j. agric. sci*. 12(2): 247-253.
- Bebianno, M.J., A. Cravo, C. Miguel and S. Morais. 2003. Metallothionein concentrations in a population of *Patella aspera*: variation with size. *Sci Total Environ*. 301(1-3): 151-161.
- Budiastuti, P., M. Raharjo dan N.A.Y. Dewanti. 2016. Analisis pencemaran logam berat timbal di badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 4(5): 119-125.

- Calatayud, S., M. Garcia-Risco, N.S. Rojas, L. Espinosa-Sanchez, S. Artime, O. Palacios, C. Canestro and R. Albalat. 2018. Metallothioneins of the urochordate *Oikopleura dioica* have Cys-rich tandem repeats, large size and cadmium-binding preference. *Metallomics*. **10**: 1585-1594.
- DenBroeck, H.V., H. de Wolf, T. Backeljau, R. Blust. 2010. Effect of metal accumulation on metallothionein level and condition of the periwinkle *Littorina littorea* along the Scheldt Estuary (the Netherlands). *Environ Pollut*. **158**(5): 1791-1799.
- DeCaprio, A.P. 2006. Toxicologic Biomarkers. Taylor and Francis Group. New York.
- Desouky, M.M.A. 2012. Metallothionein is up-regulated in molluscan responses to cadmium, but not aluminum, exposure. *The Journal of Basic and Applied Zoology*. **65**. 139-143.
- Dewi, N.K. 2012. Biomarker pada ikan sebagai alat monitoring pencemaran logam berat kadmium, timbal dan merkuri di perairan Kaligarang Semarang. Tesis. Universitas Diponegoro. Semarang
- Dewi, N.K., Purwanto dan H.R. Sunoko. 2014. Metallothionein pada hati ikan sebagai biomarker pencemaran kadmium (Cd) di perairan Kaligarang Semarang. *J. Manusia dan Lingkungan*. **21**(3): 304-309.
- Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur. 2017. Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah. Provinsi Jawa Timur.
- Dziegiel, P., B. Paula, C. Kobierzycki, M. Stasiolek and M. Podhorska-Okolow. 2016. Metallothioneins in normal and cancer cells. *Adv Anat Embryol Cell Bio*. **218**: 1-117.
- Ekawaty, R., Yonariza, E.G. Ekaputra dan A. Arbain. 2018. Telaahan daya dukung dan daya tampung lingkungan dalam pengelolaan kawasan daerah aliran sungai di Indonesia. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*. **2**(2): 30-40.
- Fahrudin. 2018. Pengelolaan Limbah Pertambangan Secara Biologis. Celebes Media Perkasa. Makassar.
- Falfushynska, H.I., L.L. Gnatyshyna, J. Gyori and O.B. Stoliar. 2014. Metallothioneins, caspase-3 and oxidative stress responses in the multimarker study of freshwater mussel inhabiting sites of various human impact. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **14**. 591-603.
- Fardiaz, S. 1992. Polusi Air dan Udara. Kanisius. Yogyakarta.
- Felder, D.L. and D.K. Camp. 2009. Gulf of Mexico: Origin, Waters, and Biota. Texas A&M University Press. United States of America.
- Fernanda, L. 2012. Studi kandungan logam berat timbal (Pb), nikel (Ni), kromium (Cr) dan cadmium (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) dan sifat fraksionasinya pada sedimen laut. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.



- Fujiastuti, I. Said dan J. Sakung. 2013. Akumulasi logam timbal (Pb) dan logam tembaga (Cu) dalam Udang Rebon (*Mysis sp.*) di muara Sungai Palu. *J. Akad. Kim.* **2**(3): 128-133.
- Gan, S.D. and K.R. Patel. 2013. Enzyme immunoassay and enzyme-linked immunosorbent assay. *Journal of Investigative Dermatology.* **133**(2): 1-3.
- Hamdi, A. S dan E. Bahruddin. 2014. Metode Penelitian Kualitatif Aplikasi dalam Pendidikan. Deepublish publisher: Yogyakarta. 171 hlm.
- Hamzah, F. dan M. Trenggono. 2014. Oksigen terlarut di Selat Lombok. *Jurnal Kelautan Nasional.* **9**(1): 21-35.
- Handayani, C.O., T. Dewi dan A. Hidayah. 2018. Biokonsentrasi dan translokasi logam berat Cd pada tanaman bawang merah dengan aplikasi ameliorant. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan.* **5**(2): 841-845.
- Handayanto, E., Y. Nuraini, N. Muddarisna, N. Syam dan A. Fiqri. 2017. Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah. UB Press. Malang.
- Harahap, A.F., R.M. Putra dan Efawani. 2016. Diversity of mollusc in the Pandan Beach, Tapanuli Tengah Regency, North Sumatera Province. *Jurnal Online Mahasiswa.* **3**(2): 1-10.
- Hemmadi, V. 2016. Metallothionein - A potential biomarker to assess the metal contamination in marine fishes - A review. *International Journal of Bioassays.* **5**(4): 4961-4973.
- Herjanto, E. 2009. Sains Manajemen – Analisis Kuantitatif untuk Pengambilan Keputusan. Grasindo. Jakarta.
- Hertika, A.M.S., F.A. Hidayatullah dan Mulyanto. 2016. Hubungan kadar logam berat timbel (Pb), cadmium (Cd) dan merkuri (Hg) terhadap ekspresi metallothionein (MT) pada lambung tiram (*Crassostrea iradalei*). *Sumberdaya Akuatik.* 194-199.
- Hertika, A.M.S., Kusriani, E. Indrayani, R. Nurdiani dan R.B.D.S. Putra. 2018. Relationship between levels of the heavy metals lead, cadmium and mercury, and metallothionein in the gills and stomach of *Crassostrea iradalei* and *Crassostrea glomerata*. *F1000Res.* **7**: 1-12.
- Hijriani, A., K. Muludi dan E.A. Andini. 2016. Implementasi metode regresi linier sederhana pada penyajian hasil prediksi pemakaian air bersih PDAM way rilau Kota Bandar Lampung dengan sistem informasi geografis. *Jurnal Informatika Mulawarman.* **11**(2): 37-42.
- Ikhsani. I.Y., E.N. Dida dan S.Y. Cahyarini. 2017. Evaluasi penggunaan metode spektrofotometri serapan atom–nyala (FAAS) untuk analisis konsentrasi Sr/Ca dalam Karang Porites dari Teluk Ambon dan Pulau Jukung. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis.* **9**(1): 247-254.

- Ilyas, A. dan F. Djufry. 2013. Analisis korelasi dan regresi dinamika populasi hama dan musuh alami pada beberapa varietas unggul padi setelah penerapan PHT di Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan. *Informatika Pertanian*. **22**(1): 29-36.
- Indirawati, S.M. 2017. Pencemaran logam berat Pb dan Cd dan keluhan kesehatan pada masyarakat di kawasan Pesisir Belawan. *Jurnal Jumantik*. **2**(2): 54-60.
- International Lead Association. 2019. Lead in Aquatic Environments: Understanding the Science. Bravington House. London.
- Ira, Rahmadani dan N. Irawati. 2015. Keanekaragaman dan kepadatan gastropoda di perairan Desa Morindino Kecamatan Kambowa Kabupaten Buton Utara. *Jurnal Ilmu Perikanan dan Sumberdaya Perairan*. 265-271.
- Ishak, N.I. 2017. Analisis risiko lingkungan logam berat merkuri pada sedimen laut di wilayah pesisir Kota Makassar. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. **7**(2): 88-92.
- Islami, M.M. 2015. Distribusi spasial gastropoda dan kaitannya dengan karakteristik lingkungan di pesisir Pulau Nusalaut, Maluku Tengah. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. **7**(1): 365-378.
- Istarani, F. dan E.S. Pandebesie. 2014. Studi dampak arsen (As) dan kadmium (Cd) terhadap penurunan kualitas lingkungan. *Jurnal Teknik Pomits*. **3**(1): 53-58.
- Istijanto. 2005. Riset Sumber Daya Manusia. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Jakfar, Agustono dan A. Manan. 2014. Deteksi logam timbal (Pb) pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di sepanjang Sungai Kalimas Surabaya. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. **6**(1): 43-48.
- Jumaidi, A., H. Yulianto dan E. Efendi. 2016. Pengaruh debit air terhadap perbaikan kualitas air pada sistem resirkulasi dan hubungannya dengan sintasan dan pertumbuhan benih ikan gurame (*Oshpronemus gouramy*). *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Budidaya Perairan*. **5**(2): 587-595.
- Kantun, W. 2017. Pengelolaan Perikanan Tuna. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Kinasih, A.R.N., P.W. Purnomo dan Ruswahyuni. 2015. Analisis hubungan tekstur sedimen dengan bahan organik, logam berat (Pb dan Cd) dan makrozoobentos di Sungai Betahwalang, Demak. *Diponegoro Journal Of Maquares*. **4**(3): 99-107.
- King, M.C. 1995. Metallothionein: Potential biomarker for monitoring heavy metal pollution in fish around Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*. **31**(4): 411-415.

- Kohler, F. and C. Dames. 2009. Phylogeny and systematics of the Pachychilidae of mainland South-East Asia—novel insights from morphology and mitochondrial DNA (Mollusca, Caenogastropoda, Cerithioidea). *Zoological Journal of the Linnean Society*. **157**(4): 679-699.
- Kuncoro, E.B. 2004. *Akuarium Laut*. Kanisius. Yogyakarta.
- Kuncoro, E.B. 2008. *Aquascape Pesona Taman Akuarium Air Tawar*. Kanisius. Yogyakarta.
- Lecoeur, S., B. Videmann and P. Berny. 2004. Evaluation of metallothionein as a biomarker of single and combined Cd/Cu exposure in *Dreissena polymorpha*. *Environ Res*. **94**(2): 184-191.
- Li, Y., H. Yang, N. Liu, J. Luo, Q. Wang and L. Wang. 2015. Cadmium accumulation and metallothionein biosynthesis in cadmium-treated freshwater mussel *Anodonta woodiana*. *Plos One*. **10**(2): 1-15.
- Ma, W., L. Wang, Y. He and Y. Yan. 2008. Tissue-specific cadmium and metallothionein levels in freshwater crab *sinopotamon henanense* during acute exposure to waterborne cadmium. *Environ Toxicol*. **23**(3): 393-400.
- Mainassy, M.C. 2017. Pengaruh parameter fisika dan kimia terhadap kehadiran ikan lompat (*Thryssa baelama* Forsskal) di perairan Pantai Apui Kabupaten Maluku Tengah. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*. **19**(2): 61-66.
- Maniagasi, R., S.S. Tumembouw dan Y. Mundeng. 2013. Analisis kualitas fisika kimia air di areal budidaya ikan Danau Tondano Provinsi Sulawesi Utara. *Budidaya Perairan*. **1**(2): 29-37.
- Marie, M.S., F.A.A. El-Deeb, W.S. Hasheesh, R.A. Mohamed and S.S.M. Sayed. 2015. Impact of seasonal water quality and trophic levels on the distribution of various freshwater snails in four Egyptian Governorates. *Applied Ecology and Environmental Sciences*. **3**(4): 117-126.
- Martuti, N.K.T., H.A. Sanjivanie dan S. Ngabekti. 2016. Bioakumulasi kadmium pada ikan bandeng di tambak Dukuh Tapak Semarang. *Jurnal MIPA*. **39**(2): 92-97.
- Marwan, A.H., N. Widyorini dan M. Nitisupardjo. 2015. Hubungan total bakteri dengan kandungan bahan organik total di muara Sungai Babon, Semarang. *Diponegoro Journal of Maquares*. **4**(3): 170-179.
- Marwoto, R.M. dan N.R. Isnaningsih. 2012. The freshwater snail genus *Sulcospira troschel*, 1857 from Java, with description of a new species from Tasikmalaya, West Java, Indonesia (mollusca: gastropoda: pachychilidae). *The Raffles Bulletin of Zoology*. **60**(1): 1-10.
- Masduqi, M. dan S. Ngabekti. 2015. Efek lama perendaman dan konsentrasi sari jeruk nipis terhadap penurunan kadar timbal (Pb) pada daging sapi (studi kasus di TPA Jatibarang Semarang). *Unnes Journal of Life Science*. **4**(1): 45-53.

- McCreesh, N., M. Arinaitwe, W. Arineitwe, E.M. Tukahebwa and M. Booth. 2014. Effect of water temperature and population density on the population dynamics of *Schistosoma mansoni* intermediate host snails. *Parasites and Vectors*. **7**(503): 1-9.
- Mebane, C.A. 2010. Cadmium Risks to Freshwater Life: Derivation and Validation of Low-Effect Criteria Values using Laboratory and Field Studies. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report. Reston.
- Megawati, C., M. Yusuf dan L. Maslukah. 2014. Sebaran kualitas perairan ditinjau dari zat hara, oksigen terlarut dan pH di perairan Selat Bali bagian selatan. *Jurnal Oseanografi*. **3**(2): 142-150.
- Mirdat, Y.S. Patadungan dan Isrun. 2013. Status logam berat merkuri (Hg) dalam tanah pada kawasan pengolahan tambang emas di Kelurahan Poboya, Kota Palu. *J. Agrotekbis*. **1**(2): 127-134.
- Moore, J. 2001. An Introduction to the Invertebrates. Cambridge University Press. United Kingdom.
- _____. 2006. An Introduction to the Invertebrates, Second Edition. Cambridge University Press. United Kingdom.
- Mufidah, T., H. Wibowo dan D.T. Subekti. 2015. Pengembangan metode ELISA dan teknik deteksi cepat dengan imunostik terhadap antibodi anti *Aeromonas hydrophila* pada ikan mas (*Cyprinid carpio*). *Jurnal Riset Akuakultur*. **10**(4): 553-565.
- Mulyadi, H.J. Mukono dan H. Notopuro. 2015. Paparan timbal udara terhadap timbal darah, hemoglobin, cystatin C serum pekerja pengecatan mobil. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. **11**(1): 87-95.
- Ngafifuddin, M., Susilo dan Sunarno. 2017. Penerapan rancang bangun pH meter berbasis arduino pada mesin pencuci film radiografi sinar-x. *J. Sains Dasar*. **6**(1): 66-70.
- Nica, D.V., D. Bordean, M. Harmanescu, M. Bura and L. Gergen. 2014. Interactions among heavy metals (Cu, Cd, Zn, Pb) and metallic macroelements (K, Ca, Na, Mg) in roman snail (*Helix pomatia*) soft tissues. *Acta Metallomica*. **11**(1): 65-71.
- Noor, S.Y., I.F.M. Rumengan dan M.T. Lasut. 2013. Pendugaan pengaruh bioakumulasi tributyltin (TBT) dengan menggunakan karakter imposeks pada gastropoda laut (*Thais tuberosa* dan *Monodonta labio*). *Aquatic Science and Management*. **1**(1): 57-62.
- Nur, F. 2013. Fitoremediasi logam berat kadmium (Cd). *Biogenesis*. **1**(1): 74-83.
- Peters, K.E., C.C. Walters and J.M. Moldowan. 2005. The Biomarker Guide Second Edition Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History. Cambridge University Press. United Kingdom.

- Pianda, D. 2018. Kinerja Guru. CV Jejak. Sukabumi.
- Pinem, O.R.B., T.F. Sani dan S.R. Juliastuti. 2013. Pemisahan logam berat Cu dan Cd dari larutan logam sintetis dan air limbah industri dengan menggunakan biomassa *Chlorella vulgaris* dan biomassa *Chlorella vulgaris* yang terimmobilisasi sebagai adsorben. *Jurnal Teknik Pomits*. **2**(1): 1-5.
- Prabowo, R., Purwanto dan H.R. Sunoko. 2016. Akumulasi cadmium (Cd) pada Ikan Wader Merah (*Puntius bramoides* C.V), di Sungai Kaligarang. *Jurnal MIPA*. **39**(1): 1-10.
- Purwanta, J. 2010. Kajian Kualitas Air Kolam Ikan Bawal pada Kelompok Pembudidaya Ikan (KPI) Mina Mulya Tempelsari, Maguwoharjo, Depok, Sleman, D.I Yogyakarta. *Tesis*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Purwanti, T., R. Yolanda dan A.A. Purnama. 2015. Struktur komunitas gastrpoda di Sungai Sangkir Anak Sungai Rokan Kiri Kabupaten Rokan Hulu. *Jurnal Mahasiswa Prodi Biologi*. **1**(1): 1-8.
- Purwanti, I.L. 2017. Keanekaragaman makrozoobentos di aliran Sungai Air Terjun Ngleyan Kabupaten Kediri. *Skripsi*. Universitas Nusantara PGRI Kediri. Kediri.
- Putra, H., Izmiarti dan Afrizal. 2014. Komunitas makrozoobentos di Sungai Batang Ombilin Sumatera Barat. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*. **3**(3): 175-182.
- Putra, Y.A. M. Zainuri dan H. Endrawati. 2014. Kajian morfometri gastropoda di perairan pantai Desa Tapak Kecamatan Tugu Kota Semarang. *Journal of Marine Research*. **3**(4): 566-577.
- Putra, A.T. 2016. Studi pengendalian banjir Sungai Bogel di Kecamatan Sutojayan Kabupaten Blitar. *Jurnal Ilmiah*. 1-10.
- Putranto, T.T. 2011. Pencemaran logam berat merkuri (Hg) pada air tanah. *Teknik*. **32**(1): 62-71.
- Putri, Z.L., S.Y. Wulandari dan L. Maslukah. 2014. Studi sebaran kandungan logam berat timbal (Pb) dalam air dan sedimen dasar di perairan muara Sungai Manyar Kabupaten Gresik, Jawa Timur. *Jurnal Oseanografi*. **3**(4): 589-595.
- Pyron, M. and K.M. Brown. 2015. Introduction to mollusca and the class gastropoda. *Ecology and General Biology*. 381-421.
- Rachmawati, S., P.M. Wiidyanti dan H. Munawar. 2013. Pengembangan indirect dipstick ELISA untuk deteksi aflatoksin B1 pada pakan dan jagung. *Biosfera*. **30**(2): 73-81.
- Reise, K. 2001. Ecological Comparisons of Sedimentary Shores. Springer. Heidelberg.

- repository.ub.ac.id
- Republik Indonesia. Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 268/KPTS/M/2010 Tentang Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Brantas.
- Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Republik Indonesia. Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 23 Tahun 2017 Tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan.
- Rumahlatu, D., A.D. Corebima, M. Amin dan F. Rohman. 2014. Efek perlakuan logam berat kadmium terhadap apoptosis melalui aktivasi *Caspase-3* bulu babi *Deadema setosum*: Aplikasi biomonitoring pencemaran di perairan laut. *J. Manusia dan Lingkungan*. **21**(1): 41-49.
- Rumahlatu, D. and F. Leiwakabessy. 2017. Biodiversity of gastropoda in the coastal waters of Ambon Island, Indonesia. *AAAL Bioflux*. **10**(2): 285-296.
- Ruttkay-Nedecky, B., L. Nejdil, J. Gumulec, O. Zitka, M. Masarik, T. Eckschlager, M. Stiborova, V. Adam and R. Kizek. 2013. The role of metallothionein in oxidative stress. *Int. J. Mol. Sci*. **14**. 6044-6066.
- Sabbir, W., M.Z. Rahman, M.M. Hasan, M.N. Khan and S. Ray. 2018. Assessment of heavy metals in river water, sediment and fish mussel in Rupsha River under Khulna District, Bangladesh. *Int. J. Expt. Agric*. **8**(1): 1-5.
- Saddozai, S., W.A. Baloch, W.M. Achakzai and N. Memon. 2013. Population dynamics and ecology of freshwater gastropods in Manchar Lake Sindh, Pakistan. *The Journal of Animal and Plant Sciences*. **23**(4): 1089-1093.
- Sari, S.H.J., J.F.A. Kirana dan Guntur. 2017. Analisis kandungan logam berat Hg dan Cu terlarut di perairan Pesisir Wonorejo, Pantai Timur Surabaya. *Jurnal Pendidikan Geografi*. **22**(1): 1-9.
- Seitz, H. and S. Schumacher. 2015. Biomarker Validation Technological, Clinical and Commercial Aspects. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. Weinheim.
- Sembel, D.T. 2015. Toksikologi Lingkungan. ANDI. Yogyakarta.
- Setiawan, H. 2013. Akumulasi dan distribusi logam berat pada vegetasi mangrove di perairan Pesisir Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. **7**(1): 12-24.
- Shuhaimi-Othman, M., R. Nur-Amalina and Y. Nadzifah. 2012. Toxicity of metals to a freshwater snail, *Melanoides tuberculata*. *The Scientific World Journal*. **2012**: 1-10.
- Siagian, M. dan A.H. Simarmata. 2015. Profil vertikal oksigen terlarut di Danau Oxbow Pinang Dalam, Desa Buluh Cina-Siak Hulu, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. *Jurnal Akuatika*. **6**(1): 87-94.

- Sinaga, E.L.R., A. Muhtadi dan D. Bakti. 2016. Profil suhu, oksigen terlarut, dan pH secara vertikal selama 24 jam di Danau Kelapa Gading Kabupaten Asahan Sumatera Utara. *Omni-Akuatika*. **12**(2): 114-124.
- Soeheri, M. Suyanto dan A.F. Sofyan. Analisis dan perancangan iklan rekrutmen mahasiswa baru STMIK Potensi Utama Medan. *JatISI*. **1**(2): 203-213.
- Sugiyono. 2014. Metode Penelitian Bisnis : Edisi Kedelapan belas. Alfabeta. Bandung.
- Sukarjo, A. Hidayah dan I. Zulaehah. 2018. Pengaruh pupuk terhadap akumulasi dan translokasi kadmium dan timbal di tanah dan tanaman. Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek III. 205-211.
- Sumardjo, D. 2006. Pengantar Kimia, Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran dan Program Strata I Fakultas Bioeksakta. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Supriyantini, E. dan H. Endrawati. 2015. Kandungan logam berat besi (Fe) pada air, sedimen, dan kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*. **18**(1): 38-45.
- Supriyantini, E., N. Soenardjo dan S.A. Nurtania. 2017. Konsentrasi bahan organik pada perairan mangrove di Pusat Informasi Mangrove (PIM), Kecamatan Pekalongan Utara, Kota Pekalongan. *Buletin Oseanografi Marina*. **6**(1): 1-8.
- Suratno, M.R. Cordova dan S. Arinda. 2017. Kandungan merkuri dalam ikan konsumsi di wilayah Bantul dan Yogyakarta. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. **2**(1): 15-23.
- Suryani, M., Nursal dan E. Febrita. 2015. Kandungan logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada *Anadara granosa* di Pantai Nongsa Kota Batam untuk penyusunan lembar tugas siswa pada konsep pencemaran air di SMA. *Jurnal Online Mahasiswa*. **2**(2): 1-15.
- Suryanti, S. RudiYanti dan S. Sumartini. 2013. Kualitas perairan Sungai Seketak Semarang berdasarkan komposisi dan kelimpahan fitoplankton. *Journal of Management of Aquatic Resources*. **2**(2): 38-45.
- Syahza, A., Suwondo, Bahruddin dan Darmadi. 2017. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Secara Terpadu. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Riau. Pekanbaru.
- Thorp, J.H. and A.P. Covich. 2001. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates, Second Edition. Academic Press. California.
- Tilaar, S. 2014. Analisis pencemaran logam berat di muara Sungai Tondano dan muara Sungai Sario Manado Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*. **2**(1): 32-39.



- Trisnaningrum, N. 2009. Analisis ekspresi gen penyandi metallothionein tipe II pada *Melastoma affine* L. yang mendapat cekaman pH rendah dan aluminium. Tesis. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ulmaula, Z., S. Purnawan dan M.A. Sarong. 2016. Keanekaragaman gastropoda dan bivalvia berdasarkan karakteristik sedimen daerah intertidal kawasan Pantai Ujong Pancu Kecamatan Peukan Bada Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*. **1**(1): 124-134.
- Usman, S., N.L. Nafie dan M. Ramang. 2013. Distribusi kuantitatif logam berat Pb dalam air, sedimen dan ikan merah (*Lutjanus erythropterus*) di sekitar perairan Pelabuhan Parepare. *Marina Chimica Acta*. **14**(2): 49-55.
- Vergani, L., M. Grattaro, C. Borghi, F. Dondero and A. Viarengo. 2005. Fish and molluscan metallothioneins: A structural and functional comparison. *FEBS Journal*. **272**: 6014–6023.
- Wantasen, A.S. 2013. Kondisi kualitas perairan dan substrat dasar sebagai faktor pendukung aktivitas pertumbuhan mangrove di Pantai Pesisir Desa Basaan I, Kabupaten Minahasa Tenggara. *Jurnal Ilmiah Platax*. **1**(4): 204-209.
- Wicaksono, E.A., Sriati dan W. Lili. 2016. Sebaran logam berat timbal (Pb) pada makrozoobenthos di perairan Waduk Cirata, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Perikanan Kelautan*. **7**(1): 103-104.
- Winata, B., B. Wasis dan Y. Setiadi. 2016. Studi adaptasi samama (*Anthocephalus macrophyllus*) pada berbagai konsentrasi timbal (Pb). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. **6**(2): 211-216.
- Wulandari, J., Asrizal dan Zuhendri. 2016. Analisis kadar logam berat pada limbah industri kelapa sawit berdasarkan hasil pengukuran *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). *Pillar of Physics*. **8**: 57-64.
- Wulandari, S.Y., M. Yusuf dan Muslim. 2014. Kajian konsentrasi dan sebaran parameter kualitas air di perairan Pantai Genuk, Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*. **3**(1): 9-19.
- Yolanda, R. 2014. Diversitas gastropoda (moluska) dari Sungai Batang Kumu Pasir Pengaraian Kabupaten Rokan Hulu Riau. *Jurnal Ilmiah Edu Research*. **3**(1): 37-42.
- Yoon, K.N. and Eun, J.K. 2017. Diversification and domain evolution of molluscan metallothioneins: a mini review. *Fisheries and Aquatic Sciences*. **20**(8): 1-18.
- Yulianti, D., A. Supriyanto dan G.A. Pauzi. 2017. Analisis kelistrikan sel volta memanfaatkan logam bekas. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. **5**(1): 49-57.
- Yulis, P.A.R. 2018. Analisis kadar logam merkuri (Hg) dan (pH) air Sungai Kuantan terdampak penambangan emas tanpa izin (peti). *Jurnal Pendidikan Kimia*. **2**(1): 28-36.

Yuniastuti, A. 2014. *Nutrisi Mikromineral dan Kesehatan*. Unnes Press. Semarang.

Yusuf, M., B. Hamzah dan N. Rahman. 2013. Kandungan merkuri (Hg) dalam air laut, sedimen, dan jaringan ikan belanak (*Liza melinoptera*) di perairan Teluk Palu. *J. Akad. Kim.* **2**(3): 140-145.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat dan Bahan Penelitian

a. Alat Beserta Fungsi

Prosedur	Alat	Bahan
Pengambilan Sampel <i>Sulcospira testudinaria</i>	- Cool box	- Air sungai - Kertas label
Pengukuran Suhu	- DO meter	- Air sungai - Aquades - Tisu
Pengukuran pH	- pH meter Lutron PH-201	- Air sungai - Aquades - Tisu
Pengukuran Oksigen Terlarut	- DO meter Lutron DO-5509	- Air sungai - Aquades - Tisu
Pengambilan Daging <i>Sulcospira testudinaria</i>	- Palu - Sectio set - Timbangan digital - Mortar dan Alu	- Plastik klip - Organ <i>Sulcospira testudinaria</i> - Kertas Label - Na-Fisiologis 0,9%
Pengukuran Logam Berat	- Lampu Elektroda Pb, Hg an Cd - Timbangan Sartorius - Hot plate - Beaker glass - Cawan Porselen - Spektrofotometer - AAS - Pipet Volume 50 ml	- Gastropoda <i>Sulcospira testudinaria</i> - Aquades - HNO ₃ 2,5 N - Kertas label - Kertas saring - Tisu - Plastik klip
Pengukuran kadar metallothionein	- Mortar dan Alu - Transfer pipet 500 µL - Tabung appendorf - Magnetic stirrer - Inkubator ruang gelap - Sentrifuge - Plate ELISA - Transfer pipet 100 µL - Transfer pipet 50 µL - Shaker ELISA plate - Freezer - ELISA Reader	- Organ <i>S. testudinaria</i> - Kertas label - Plastik klip - Aquades - Coating Buffer - PBS Tween 0,2% - <i>Sure blue</i> TMB - PMSF Lysis Buffer - Antibodi primer - Antibodi sekunder - Larutan SAHRP

Lampiran 2. Data Hasil Pengukuran Logam Berat keseluruhan Organ *Sulcospira testudinaria*



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS MIPA
JURUSAN KIMIA

Jl. Veteran, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia telp : +62-341-575838, fax : +62-341-554403

<http://kimia.ub.ac.id>

email : kimia@ub.ac.id

LAPORAN HASIL ANALISIS

NO : H.04 / RT.5 / T.1 / R.0 / TT. 150803 / 2019

1. Data Konsumen
 - Nama : Ajeng Diana Pratiwi
 - Instansi : Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya
 - Alamat : Jl. Veteran Malang
 - Telepon : 081235404232
 - Status : Mahasiswa S-1
 - Keperluan Analisis : Uji Kualitas
2. Sampling Dilakukan Oleh : Konsumen
3. Identifikasi Sampel
 - Nama Sampel : *Daging Siput S. testudinaria*
 - Wujud : Padat
 - Warna : Cokelat Kehitaman
 - Bau : Tidak Ada Bau
4. Prosedur Analisis : Dilakukan oleh Unit Analisis dan Pengukuran Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya Malang
5. Penyampaian Laporan Hasil Analisis : Diambil Langsung
6. Tanggal Terima Sampel : 15 Februari 2019
7. Data Hasil Analisis :

Minggu 1

No	Kode	Parameter	Hasil Analisis		Metode Analisis	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
1	BLT 1.1	Cd	0,0121±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
2	BLT 1.2	Cd	0,0101±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
3	BLT 1.3	Cd	0,0109±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
4	TA 1.1	Cd	0,0101±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
5	TA 1.2	Cd	0,0133±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
6	TA 1.3	Cd	0,0106±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
7	TA 2.1	Cd	0,0104±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
8	TA 2.2	Cd	0,0156±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
9	TA 2.3	Cd	0,0109±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
10	BLT 1.1	Hg	0,0266±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
11	BLT 1.2	Hg	0,0140±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
12	BLT 1.3	Hg	0,0200±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
13	TA 1.1	Hg	0,0152±0,04	mg/kg	Aquaregia	AAS
14	TA 1.2	Hg	0,0116±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
15	TA 1.3	Hg	0,0224±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS

No	Kode	Parameter	Hasil Analisis		Metode Analisis	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
16	TA 2.1	Hg	0,0171±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
17	TA 2.2	Hg	0,0268±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
18	TA 2.3	Hg	0,0216±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
19	BLT 1.1	Pb	0,0493±0,03	mg/kg	Aquaregia	AAS
20	BLT 1.2	Pb	0,0161±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
21	BLT 1.3	Pb	0,0191±0,04	mg/kg	Aquaregia	AAS
22	TA 1.1	Pb	0,0246±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
23	TA 1.2	Pb	0,0221±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
24	TA 1.3	Pb	0,0449±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
25	TA 2.1	Pb	0,0223±0,03	mg/kg	Aquaregia	AAS
26	TA 2.2	Pb	0,0446±0,04	mg/kg	Aquaregia	AAS
27	TA 2.3	Pb	0,0481±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS

Minggu 2

No	Kode	Parameter	Hasil Analisis		Metode Analisis	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
1	BLT 1.1	Cd	0,0265±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
2	BLT 1.2	Cd	0,0136±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
3	BLT 1.3	Cd	0,0154±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
4	TA 1.1	Cd	0,0134±0,04	mg/kg	Aquaregia	AAS
5	TA 1.2	Cd	0,0117±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
6	TA 1.3	Cd	0,0154±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
7	TA 2.1	Cd	0,0125±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
8	TA 2.2	Cd	0,0188±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
9	TA 2.3	Cd	0,0155±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
10	BLT 1.1	Hg	0,0161±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
11	BLT 1.2	Hg	0,0218±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
12	BLT 1.3	Hg	0,0190±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
13	TA 1.1	Hg	0,0267±0,03	mg/kg	Aquaregia	AAS
14	TA 1.2	Hg	0,0311±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
15	TA 1.3	Hg	0,0121±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
16	TA 2.1	Hg	0,0314±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
17	TA 2.2	Hg	0,0380±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
18	TA 2.3	Hg	0,0302±0,03	mg/kg	Aquaregia	AAS
19	BLT 1.1	Pb	0,0284±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
20	BLT 1.2	Pb	0,0238±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS



No	Kode	Parameter	Hasil Analisis		Metode Analisis	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
21	BLT 1.3	Pb	0,0420±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
22	TA 1.1	Pb	0,0465±0,04	mg/kg	Aquaregia	AAS
23	TA 1.2	Pb	0,0281±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
24	TA 1.3	Pb	0,0381±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
25	TA 2.1	Pb	0,0202±0,03	mg/kg	Aquaregia	AAS
26	TA 2.2	Pb	0,0416±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
27	TA 2.3	Pb	0,0549±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS

Minggu 3

No	Kode	Parameter	Hasil Analisis		Metode Analisis	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
1	BLT 1.1	Cd	0,0415±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
2	BLT 1.2	Cd	0,0425±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
3	BLT 1.3	Cd	0,0341±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
4	TA 1.1	Cd	0,0208±0,04	mg/kg	Aquaregia	AAS
5	TA 1.2	Cd	0,0284±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
6	TA 1.3	Cd	0,0363±0,03	mg/kg	Aquaregia	AAS
7	TA 2.1	Cd	0,0240±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
8	TA 2.2	Cd	0,0370±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
9	TA 2.3	Cd	0,0354±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
10	BLT 1.1	Hg	0,0670±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
11	BLT 1.2	Hg	0,0524±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
12	BLT 1.3	Hg	0,0493±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
13	TA 1.1	Hg	0,0439±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
14	TA 1.2	Hg	0,0531±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
15	TA 1.3	Hg	0,0404±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
16	TA 2.1	Hg	0,0395±0,03	mg/kg	Aquaregia	AAS
17	TA 2.2	Hg	0,0539±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
18	TA 2.3	Hg	0,0547±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
19	BLT 1.1	Pb	0,0792±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
20	BLT 1.2	Pb	0,0463±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
21	BLT 1.3	Pb	0,0557±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
22	TA 1.1	Pb	0,0871±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS
23	TA 1.2	Pb	0,0866±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS



No	Kode	Parameter	Hasil Analisis		Metode Analisis	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
24	TA 1.3	Pb	0,0905±0,01	mg/kg	Aquaregia	AAS
25	TA 2.1	Pb	0,0541±0,03	mg/kg	Aquaregia	AAS
26	TA 2.2	Pb	0,0766±0,02	mg/kg	Aquaregia	AAS
27	TA 2.3	Pb	0,0713±0,00	mg/kg	Aquaregia	AAS

Catatan:

1. Hasil analisis ini adalah nilai rata-rata pengerjaan analisis secara duplo,
2. Hasil analisis ini hanya berlaku untuk sampel yang kami terima dengan kondisi sampel saat itu.

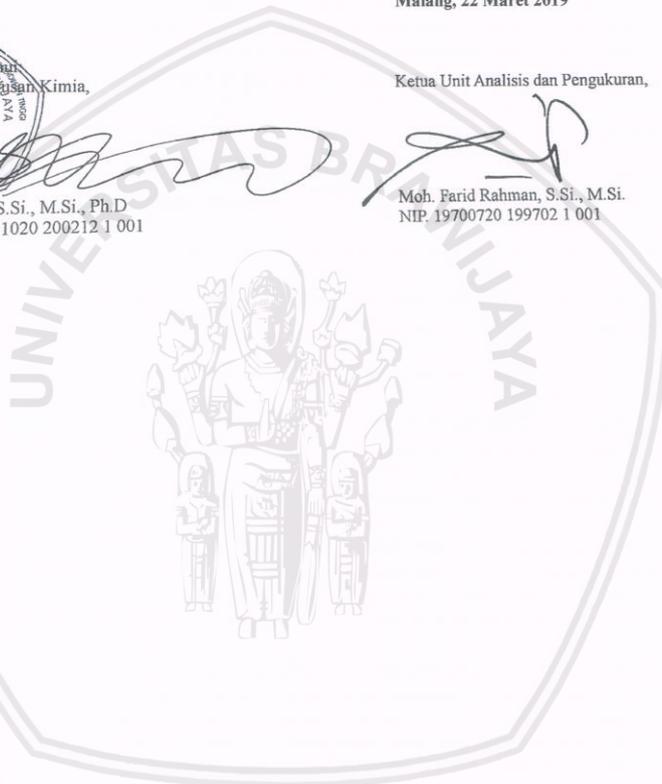
Malang, 22 Maret 2019



Masruri, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 19731020 200212 1 001

Ketua Unit Analisis dan Pengukuran,

Moh. Farid Rahman, S.Si., M.Si.
NIP. 19700720 199702 1 001



Lampiran 3. Data Hasil Pengukuran Metallothionein pada Keseluruhan Organ *Sulcospira testudinaria*



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS KEDOKTERAN
LABORATORIUM ILMU FAAL

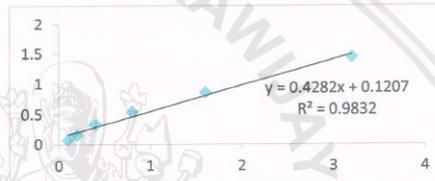
Jalan Veteran Malang – 65145, Jawa Timur – Indonesia
Telp. (62) (0341) 569117, 567192 Ext 115 – Fax (62) (0341) 564755
http://www.fk.ub.ac.id e-mail : faal.fk@ub.ac.id

HASIL PEMERIKSAAN UJI SAMPEL

Nama : AJENG DIANA PRATIWI
Instansi : Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya
No Lab : 2019.2090
Jumlah sampel : 27 Sampel
Jenis Pemeriksaan : MT
Laboran : BUDI WICAKSONO, AMd.

Standart MT

No	Kadar(ng/mL)	Abs
1	3.2	1.445
2	1.6	0.858
3	0.8	0.543
4	0.4	0.335
5	0.2	0.161
6	0.1	0.08



No	Sampel	abs	kadar (ng/mL)
1	BLT 1.1	0.2816	0.3776
2	BLT 1.2	0.1978	0.1818
3	BLT 1.3	0.1888	0.1607
Rata-rata			0.2400
4	TA 1.1	0.2499	0.3035
5	TA 1.2	0.1832	0.1477
6	TA 1.3	0.2058	0.2005
Rata-rata			0.2172
7	TA 2.1	0.2025	0.1928
8	TA 2.2	0.2676	0.3449
9	TA 2.3	0.3577	0.5554
Rata-rata			0.3643

No	Sampel	Abs	Kadar (ng/mL)
1	BLT 1.1	0.3573	0.5544
2	BLT 1.2	0.3120	0.4486
3	BLT 1.3	0.3447	0.5250
Rata-rata			0.5093
4	TA 1.1	0.3347	0.5016
5	TA 1.2	0.4409	0.7498
6	TA 1.3	0.3883	0.6269
Rata-rata			0.6261
7	TA 2.1	0.2639	0.3362
8	TA 2.2	0.3655	0.5736
9	TA 2.3	0.2819	0.3783
Rata-rata			0.4294



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS KEDOKTERAN
LABORATORIUM ILMU FAAL**

Jalan Veteran Malang – 65145, Jawa Timur – Indonesia
Telp. (62) (0341) 569117, 567192 Ext 115 – Fax (62) (0341) 564755
http://www.fk.ub.ac.id e-mail : faal.fk@ub.ac.id

No	Sampel	Abs	Kadar (ng/mL)
1	BLT 1.1	0.5484	1.0009
2	BLT 1.2	0.4827	0.8474
3	BLT 1.3	0.4320	0.7290
Rata-rata			0.8591
4	TA 1.1	0.5398	0.9808
5	TA 1.2	0.5860	1.0888
6	TA 1.3	0.6154	1.1575
Rata-rata			1.0757
7	TA 2.1	0.3574	0.5547
8	TA 2.2	0.4296	0.7234
9	TA 2.3	0.4537	0.7797
Rata-rata			0.6859

Malang, 25 Maret 2019
Kepala Laboratorium Ilmu Faal FKUB



Edwin Widodo, SSi, MSc.
NIP. 198105042005011001



Lampiran 4. Data Hasil Pengukuran Kualitas Air

Parameter	Sub Stasiun	Stasiun Penelitian									Standar Baku Mutu
		I			II			III			
		Minggu ke-									
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Suhu (°C)	1	27.5	27.5	27	30	29.7	29.8	29	29	28.3	Deviasi 3
	2	27.8	28.1	27.5	29.7	28	31.5	29	29	28.6	
	3	28.1	28	28	30	29.1	30	29	29	29	
Oksigen Terlarut (mg/L)	1	7.58	6.5	6.1	6.8	3.2	8	5.6	3	9	≥4 mg/L
	2	6.5	5.4	6.2	6.7	3.4	5.8	5.6	3	7.5	
	3	6.9	5.5	8.1	6.8	3.4	8	5.4	2.9	6.3	
pH	1	6.4	7.2	7.1	7.58	6.4	8.3	7.69	7.5	7.3	6-9
	2	6.3	7.2	6.7	7.4	7.9	8.1	7.5	7.5	7.4	
	3	6.4	7.1	7.2	7.1	6.8	8	7.62	7.6	7.5	

Keterangan : Standar baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001

Lampiran 5. Output Analisis Regresi Korelasi Model Linier Sederhana

1. Hubungan kadar logam berat dengan kadar metallothionein pada Keseluruhan Organ *Sulcospira testudinaria* di Stasiun 1

a. Hubungan logam berat Pb dengan kadar metallothionein di Stasiun 1

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.845 ^a	.714	.673	.163009

a. Predictors: (Constant), St 1 Pb

b. Dependent Variable: MT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.464	1	.464	17.456	.004 ^b
	Residual	.186	7	.027		
	Total	.650	8			

a. Dependent Variable: MT

b. Predictors: (Constant), St 1 Pb

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.063	.126		.505	.629
	St 1 Pb	11.823	2.830	.845	4.178	.004

a. Dependent Variable: MT

b. Hubungan logam berat Hg dengan kadar metallothionein di Stasiun 1

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.876 ^a	.767	.734	.146958

a. Predictors: (Constant), St 1 Hg

b. Dependent Variable: MT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.499	1	.499	23.090	.002 ^b
	Residual	.151	7	.022		
	Total	.650	8			

a. Dependent Variable: MT

b. Predictors: (Constant), St 1 Hg

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.124	.099		1.251	.251
	St 1 Hg	12.973	2.700	.876	4.805	.002

a. Dependent Variable: MT

c. Hubungan logam berat Cd dengan kadar metallothionein di Stasiun 1

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.937 ^a	.878	.861	.106404

a. Predictors: (Constant), St 1 Cd

b. Dependent Variable: MT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.571	1	.571	50.398	.000 ^b
	Residual	.079	7	.011		
	Total	.650	8			

a. Dependent Variable: MT

b. Predictors: (Constant), St 1 Cd

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.078	.074		1.064	.323
	St 1 Cd	19.936	2.808	.937	7.099	.000

a. Dependent Variable: MT

2. Hubungan kadar logam berat dengan kadar metallothionein pada Keseluruhan Organ *Sulcospira testudinaria* di Stasiun 2

a. Hubungan logam berat Pb dengan kadar metallothionein di Stasiun 2

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.843 ^a	.710	.669	.219656

a. Predictors: (Constant), St 2 Pb

b. Dependent Variable: MT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.828	1	.828	17.158	.004 ^b
	Residual	.338	7	.048		
	Total	1.166	8			

a. Dependent Variable: MT

b. Predictors: (Constant), St 2 Pb

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.048	.161		.297	.775
	St 2 Pb	11.372	2.745	.843	4.142	.004

a. Dependent Variable: MT

b. Hubungan logam berat Hg dengan kadar metallothionein di Stasiun 2

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.853 ^a	.728	.689	.212813

a. Predictors: (Constant), St 2 Hg

b. Dependent Variable: MT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.849	1	.849	18.736	.003 ^b
	Residual	.317	7	.045		
	Total	1.166	8			

a. Dependent Variable: MT

b. Predictors: (Constant), St 2 Hg

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.014	.161		.089	.931
	St 2 Hg	21.941	5.069	.853	4.329	.003

a. Dependent Variable: MT

c. Hubungan logam berat Cd dengan kadar metallothionein di Stasiun 2

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.842 ^a	.708	.667	.220386

a. Predictors: (Constant), St 2 Cd

b. Dependent Variable: MT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.826	1	.826	16.998	.004 ^b
	Residual	.340	7	.049		
	Total	1.166	8			

a. Dependent Variable: MT

b. Predictors: (Constant), St 2 Cd

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.010	.170		.057	.956
	St 2 Cd	35.440	8.596	.842	4.123	.004

a. Dependent Variable: MT

3. Hubungan kadar logam berat dengan kadar metallothionein pada Keseluruhan Organ *Sulcospira testudinaria* di Stasiun 3

a. Hubungan logam berat Pb dengan kadar metallothionein di Stasiun 3

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.841 ^a	.708	.666	.111732

a. Predictors: (Constant), St 3 Pb

b. Dependent Variable: MT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.212	1	.212	16.975	.004 ^b
	Residual	.087	7	.012		
	Total	.299	8			

a. Dependent Variable: MT

b. Predictors: (Constant), St 3 Pb

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.083	.106		.786	.458
	St 3 Pb	8.503	2.064	.841	4.120	.004

a. Dependent Variable: MT

b. Hubungan logam berat Hg dengan kadar metallothionein di Stasiun 3

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.857 ^a	.734	.696	.106729

a. Predictors: (Constant), St 3 Hg

b. Dependent Variable: MT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.220	1	.220	19.276	.003 ^b
	Residual	.080	7	.011		
	Total	.299	8			

a. Dependent Variable: MT

b. Predictors: (Constant), St 3 Hg

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.054	.106		.507	.628
	St 3 Hg	12.626	2.876	.857	4.390	.003

a. Dependent Variable: MT

c. Hubungan logam berat Cd dengan kadar metallothionein di Stasiun 3

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.842 ^a	.708	.667	.111665

a. Predictors: (Constant), St 3 Cd

b. Dependent Variable: MT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.212	1	.212	17.004	.004 ^b
	Residual	.087	7	.012		
	Total	.299	8			

a. Dependent Variable: MT

b. Predictors: (Constant), St 3 Cd

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.170	.087		1.965	.090
	St 3 Cd	16.135	3.913	.842	4.124	.004

a. Dependent Variable: MT

Lampiran 6. Standarisasi Data dengan Nilai Z

1. Stasiun 1

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Pb	9	.0161	.0792	.039989	.0203664
Hg	9	.0140	.0670	.031800	.0192455
Cd	9	.0101	.0425	.022967	.0133964
MT	9	.1607	1.0009	.536156	.2850104
Valid N (listwise)	9				

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-3.186E-16	.191		.000	1.000
	Zscore: Pb	.845	.202	.845	4.178	.004

a. Dependent Variable: Zscore: MT

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-9.706E-17	.172		.000	1.000
	Zscore: Hg	.876	.182	.876	4.805	.002

a. Dependent Variable: Zscore: MT

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-1.843E-16	.124		.000	1.000
	Zscore: Cd	.937	.132	.937	7.099	.000

a. Dependent Variable: Zscore: MT

2. Stasiun 2

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Pb	9	.0221	.0905	.052056	.0282870
Hg	9	.0116	.0531	.028500	.0148433
Cd	9	.0101	.0363	.017778	.0090645
MT	9	.1477	1.1575	.639678	.3816912
Valid N (listwise)	9				

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.885E-17	.192		.000	1.000
	Zscore: Pb	.843	.203	.843	4.142	.004

a. Dependent Variable: Zscore: MT

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	4.029E-17	.186		.000	1.000
	Zscore: Hg	.853	.197	.853	4.329	.003

a. Dependent Variable: Zscore: MT

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-3.310E-17	.192		.000	1.000
	Zscore: Cd	.842	.204	.842	4.123	.004

a. Dependent Variable: Zscore: MT

3. Stasiun 3

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Pb	9	.0202	.0766	.048189	.0191416
Hg	9	.0171	.0547	.034800	.0131215
Cd	9	.0104	.0370	.020011	.0100898
MT	9	.1928	.7797	.493222	.1934146
Valid N (listwise)	9				

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-1.793E-16	.193		.000	1.000
	Zscore(Pb)	.841	.204	.841	4.120	.004

a. Dependent Variable: Zscore(MT)

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-4.933E-16	.184		.000	1.000
	Zscore(Hg)	.856	.195	.856	4.390	.003

a. Dependent Variable: Zscore(MT)

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-3.143E-16	.192		.000	1.000
	Zscore(Cd)	.842	.204	.842	4.124	.004

a. Dependent Variable: Zscore(MT)

Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian

No.	Kegiatan	Dokumentasi
1.	Pengambilan sampel <i>Sulcospira testudinaria</i>	
2.	Pengukuran panjang cangkang siput	
3.	Pengukuran DO dan suhu sungai	
4.	Pengukuran pH sungai	

5. Memecahkan bagian cangkang dengan menggunakan palu untuk mengambil daging siput



6. Bagian daging yang telah dipisahkan, selanjutnya dimasukkan ke dalam mortar untuk digerus



7. Daging digerus dengan menggunakan mortar dan alu



8. Penimbangan daging siput untuk analisis logam berat dan metallothionein



9. Sampel yang telah ditimbang, selanjutnya dimasukkan ke dalam plastik klip



10. 0,2 gram daging siput yang telah dihaluskan, ditambahkan 1 ml PMSF Lysis Buffer



11. Homogenate dimasukkan ke dalam tabung appendorf



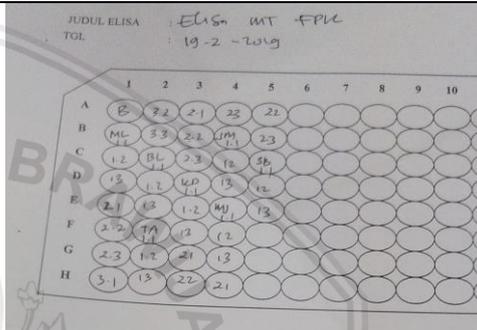
12. Homogenate dihomogenkan dengan magnetic stirer



13. Disentrifuge untuk mendapatkan supernatan yang mengandung metallothionein



14. Pembuatan denah *plate* ELISA



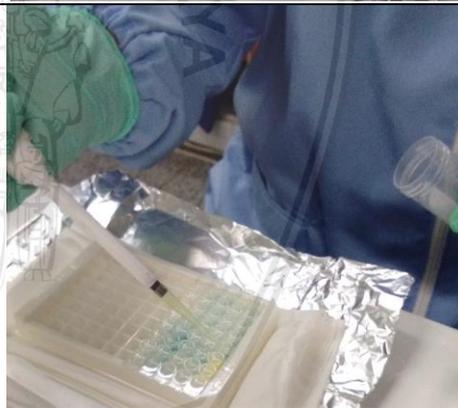
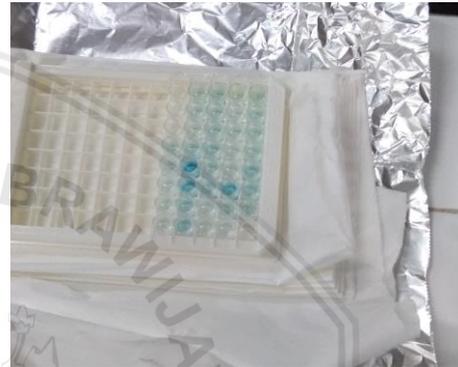
15. *Plate* ELISA diinkubasi pada suhu ruang sambil *dishake* dengan *shaker* ELISA *plate*



16. Ditambahkan sure blue TMB



17. Ditambahkan HCl sebagai stop reaksi



18. Dibaca dengan ELISA reader



Well	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	0.0027	0.2001	0.2025	0.5235	0.2259	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
B	0.2127	0.2882	0.2678	0.4713	0.2686	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C	0.4087	0.7195	0.3927	0.0904	0.2209	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
D	0.4582	0.1875	0.2600	1.5225	0.2468	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
E	0.2189	0.1802	0.4064	0.3575	0.2814	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

