

**TOKSISITAS AKUT (LC₅₀) LOGAM BERAT Hg PADA DERAJAT KEASAMAN
(pH) YANG BERBEDA DAN DAMPAKNYA TERHADAP MORFOLOGI *Artemia
salina***

SKRIPSI

Oleh:

**PRILLIA PUTRI MARDHIKA
NIM. 155080601111077**



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

**TOKSISITAS AKUT (LC₅₀) LOGAM BERAT Hg PADA DERAJAT KEASAMAN
(pH) YANG BERBEDA DAN DAMPAKNYA TERHADAP MORFOLOGI *Artemia
salina***

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan
Di Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya**

Oleh :

PRILLIA PUTRI MARDHIKA

155080601111077



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

SKRIPSI

TOKSISITAS AKUT (LC₅₀) LOGAM BERAT Hg PADA DERAJAT KEASAMAN (pH) YANG BERBEDA DAN DAMPAKNYA TERHADAP MORFOLOGI *Artemia salina*

Oleh :

PRILLIA PUTRI MARDHIKA
NIM. 155080601111077

Telah dipertahankan didepan penguji
pada tanggal 30 September 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Pembimbing 1



Ir. Aida Sartimbul, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19680901 199403 2 001

Tanggal : 18 OCT 2019

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 2



Rarasrum Dyah Kasitowati, S.Kel., M.Si., M.Sc.

NIK. 201304860915 2 001

Tanggal : 18 OCT 2019

Mengetahui:

Ketua Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya

Perikanan dan Ilmu Kelautan



Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.Pi., MT

NIP. 19780717 200502 1 004

Tanggal : 18 OCT 2019



Judul : **TOKSISITAS AKUT (LC₅₀) LOGAM BERAT HG PADA DERAJAT KEASAMAN YANG BERBEDA DAN DAMPAKNYA TERHADAP MORFOLOGI *Artemia salina***

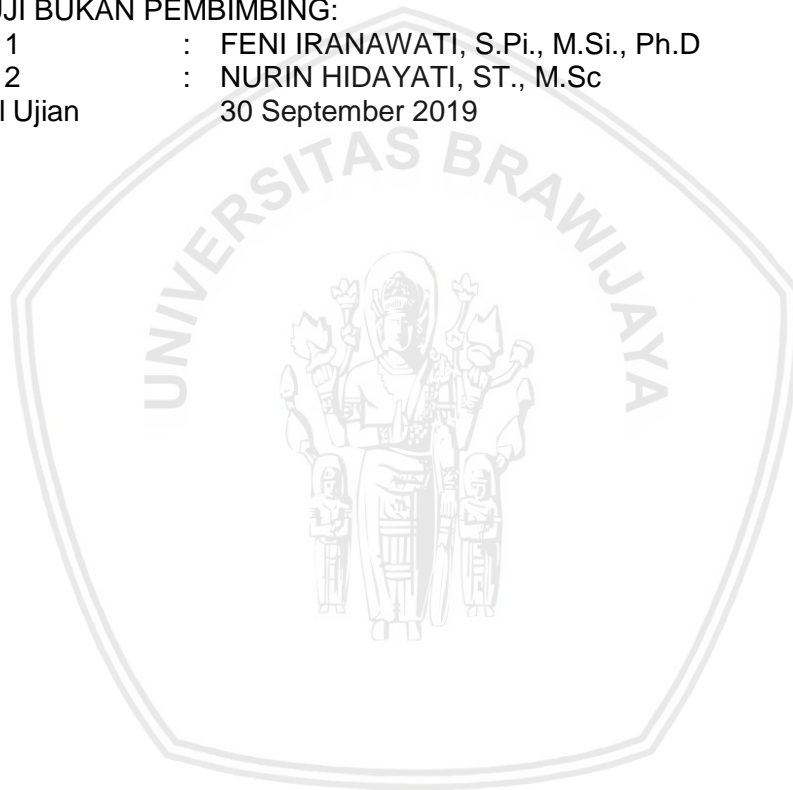
Nama Mahasiswa : PRILLIA PUTRI MARDHIKA
NIM : 155080601111077
Program Studi : Ilmu Kelautan

PENGUJI PEMBIMBING:

Pembimbing 1 : Ir. AIDA SARTIMBUL, M.Sc., Ph.D
Pembimbing 2 : RARASRUM DYAH KASITOWATI, S.Kel., M.Si., M.Sc.

PENGUJI BUKAN PEMBIMBING:

Penguji 1 : FENI IRANAWATI, S.Pi., M.Si., Ph.D
Penguji 2 : NURIN HIDAYATI, ST., M.Sc
Tanggal Ujian : 30 September 2019



UCAPAN TERIMA KASIH

Berkaitan dengan terselesaikannya laporan Skripsi ini, penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, kemudahan dan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi.
2. Kedua orang tua tercinta dan keluarga yang selalu memberikan semangat, dukungan dan doa hingga terselesaikannya laporan skripsi.
3. Ibu Ir. Aida Sartimbul, M.Sc., Ph.D dan Ibu Rarasrum Dyah Kasitowati, S.Kel., M.Si., M.Sc selaku pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, arahan serta nasihat kepada penulis sehingga dapat terselesaikannya laporan skripsi dengan baik.
4. Ibu Defri Yona, S. Pi., M.Sc.Stud., D.Sc selaku pembimbing akademik dan Ibu Feni Iranawati, S.Pi., M.Si., Ph.D selaku pembimbing Praktek Kerja Magang yang telah membimbing saya hingga sampai tahap akhir skripsi ini.
5. Bapak Muchlis Zainudin A, A.Md selaku pengurus laboratorium Reproduksi Ikan dan Ibu Iwin Zunairoh, A.Md selaku pengurus UPT. Perikanan Air Tawar Sumber Pasir yang telah menyemangati dari awal penelitian maupun akhir penelitian.
6. Teman spesial Bagus Agiel Setyawan yang selalu memberikan semangat dan memotivasi saya dari awal hingga akhir selama skripsi.
7. Sahabat penyemangat dan seperjuangan skripsi di Ilmu Kelautan yaitu vera, ricka, oliv, gita, weda, yoan, kimo, fairus, ahdiya, niko, irul, dhanar dan rizka yang selalu memberikan hiburan dan canda tawa selama proses penelitian maupun pembuatan laporan skripsi berlangsung.
8. Teman-teman Ilmu Kelautan 2015 (POLARIS) yang selalu memberikan motivasi dan semangat dalam pengerjaan laporan skripsi.

RINGKASAN

Prillia Putri Mardhika. Skripsi mengenai Toksisitas Akut (LC_{50}) Logam Berat Hg pada Derajat Keasaman yang berbeda dan Dampaknya terhadap Morfologi *Artemia salina* (dibawah bimbingan Ir. Aida Sartimbul, M.Sc., Ph.D. dan Rarasrum Dyah Kasitowati, S.Kel., M.Si., M.Sc.).

Uji toksisitas merupakan suatu uji yang digunakan untuk menentukan tingkat toksisitas dari suatu zat atau bahan pencemar. Uji toksisitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh suatu bahan kimia berbahaya terhadap organisme. Dalam uji toksisitas ini *Artemia salina* akan dipaparkan logam berat Hg karena logam berat ini termasuk logam *non esensial* dan bersifat sangat toksik. Merkuri (Hg) merupakan logam yang paling berbahaya bagi makhluk hidup. Meningkatnya toksisitas Merkuri (Hg) dalam tubuh organisme akan mengakibatkan efek yang mematikan pada organisme. Ketoksikan logam berat Hg dapat dipengaruhi dari salah satu parameter perairan yaitu pH. Derajat keasaman (pH) atau *power of Hydrogen* adalah parameter penting dalam menentukan kualitas air. Derajat keasaman (pH) merupakan suatu ukuran mengenai besar kecilnya atau jumlah konsentrasi ion hidrogen dalam air. pH mempengaruhi keseimbangan unsur-unsur kimia dan ketersediaan unsur-unsur kimia di laut. Menurunnya pH air laut tersebut juga menimbulkan dampak yang cukup besar terhadap makhluk hidup di dalam ekosistem laut terutama melalui rantai makanan.

Rantai makanan merupakan bagian dari jaring-jaring makanan, di mana rantai makanan bergerak secara linear dari produsen ke konsumen teratas. Konsumen teratas tersebut seperti *Artemia salina* yang merupakan zooplankton dari anggota *crustacea* yang keberadaannya tersebar luas di perairan laut. Digunakannya *Artemia salina* sebagai sampel untuk uji toksisitas karena kemudahannya dalam mengkultur, memiliki periode generasi yang pendek dan tersedia secara komersial. *Artemia* ini juga memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan lingkungan. Sehingga sesuai untuk dijadikan sampel untuk uji toksisitas. Pemaparan logam berat Hg pada pH yang berbeda terhadap mortalitas *Artemia salina* dilakukan dalam skala laboratorium. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa toksik Hg pada perbedaan pH yang dilihat nilai LC_{50} dan dampak morfologi *Artemia salina*.

Pemaparan logam berat Hg pada pH 9 menunjukkan hasil LC_{50} yaitu sebesar 0,017 ppm. Sedangkan pemaparan Hg pada pH 6 memberikan tingkat mortalitas yang tinggi dan menunjukkan hasil LC_{50} yaitu sebesar 0,004 ppm. Sehingga kematian biota uji terhadap pemaparan Hg pada pH rendah dapat menaikkan tingkat toksisitas Hg. Kerusakan morfologi yang terjadi selama pemaparan Hg pada pH 9 memberikan tingkat kerusakan pada bagian tubuh (antenna, mandibula dan *swimming appendages*). Sedangkan pemaparan Hg pada pH 6 memberikan tingkat kerusakan bagian dalam dan di luar tubuh seiring dengan meningkatnya konsentrasi.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran ALLAH SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul "*Toksisitas Akut (Lc₅₀) Logam Berat Hg pada Derajat Keasaman (pH) yang Berbeda dan Dampaknya terhadap Morfologi Artemia Salina*" ini semoga sesuai dengan harapan. Usulan Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Kelautan di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang. Dibawah bimbingan dosen pembimbing:

1. Ir. Aida Sartimbul, M.Sc., Ph.D
2. Rarasrum Dyah Kasitowati, S.Kel., M.Si., M.Sc

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan baik dari segi substansi maupun sistem penulisannya. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna memperbaiki dan menyempurnakan penulisan ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan bermanfaat untuk pengembangan bidang Ilmu Kelautan dan bermanfaat juga bagi pihak-pihak lain yang membutuhkan.

Malang, April 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Hipotesis	4
1.5 Kegunaan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Artemia Salina</i>	5
2.1.1 Morfologi.....	6
2.1.2 Habitat <i>Artemia salina</i>	7
2.1.3 Perkembangan dan Siklus Hidup	7
2.1.4 Cara makan <i>Artemia</i>	9
2.1.5 Perilaku <i>Artemia salina</i>	10
2.2 Logam Berat	10
2.3 Merkuri (Hg).....	11
2.3.1 Dampak paparan Logam Berat terhadap Perubahan Organisme ..	13
2.4 Derajat Keasaman (pH).....	15
2.5 Uji Toksisitas Akut atau LC ₅₀	17
III. METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Alur Penelitian.....	20
3.4 Desain Penelitian.....	22
3.5 Parameter yang diukur	23
3.6 Prosedur Kerja.....	23
3.6.1 Penetasan <i>Artemia salina</i>	23
3.6.2 Pembersihan wadah uji.....	24
3.6.3 Pembuatan Larutan Stok	24
3.6.4 <i>Range Finding Test</i>	25
3.6.5 Penentuan Konsentrasi Uji	26
3.8 Analisis Data	27
3.8 Pengamatan Morfologi	27
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 <i>Range Finding Test</i>	20
4.2 Uji Toksisitas Akut Logam Berat Hg.....	29
4.3 Hasil Uji Toksisitas Akut pada pH yang berbeda.....	30



4.3.1 Hasil Uji Toksisitas (LC ₅₀) Logam Berat Hg pada pH 9.....	30
4.3.2 Hasil Uji Toksisitas (LC ₅₀) Logam Berat Hg pada pH 8,7.....	31
4.3.3 Hasil Uji Toksisitas (LC ₅₀) Logam Berat Hg pada pH air Laut	32
4.3.4 Hasil Uji Toksisitas (LC ₅₀) Logam Berat Hg pada pH 7.....	33
4.3.5 Hasil Uji Toksisitas (LC ₅₀) Logam Berat Hg pada pH 6.....	34
4.3.6 Perbandingan Hasil Uji Toksisitas pada pH yang berbeda	35
4.5 Analisis Parameter Kualitas Air	37
4.5.1 Suhu	37
4.5.2 DO (Oksigen Terlarut).....	37
4.5.1 Salinitas	38
4.5.1 pH	38
4.6 Hasil Pengamatan Morfologi <i>Artemia salina</i> terhadap Pemaparan Hg pada pH yang berbeda	39
4.6.1 Hasil pengamatan morfologi <i>Artemia salina</i> pada pH 9.....	39
4.6.2 Hasil pengamatan morfologi <i>Artemia salina</i> pada pH 8,7.....	41
4.6.3 Hasil pengamatan morfologi <i>Artemia salina</i> pada pH air laut	43
4.6.4 Hasil pengamatan morfologi <i>Artemia salina</i> pada pH 7.....	45
4.6.5 Hasil pengamatan morfologi <i>Artemia salina</i> pada pH 6.....	47
4.7 Hasil Keseluruhan Pengamatan Morfologi.....	49
4.8 Kerusakan tubuh <i>Artemia salina</i> terhadap pemaparan Hg pada pH yang berbeda.....	50
4.9 Analisis Pengaruh Perbedaan pH dan Konsentrasi Logam Berat Hg Terhadap Mortalitas <i>Artemia salina</i>	54
V. KESIMPULAN DAN SARAN	29
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN.....	67



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Morfologi <i>Artemia salina</i> yang meliputi <i>Ocellus</i> , <i>Anntenae</i> , <i>Swimming appendages</i> , Mendibula dan Intestin	7
2. Siklus hidup <i>Artemia salina</i> dari kista hingga dewasa	9
3. Pada penelitian Lu tahun 2018 dampak kerusakan morfologi <i>Artemia salina</i> yang terjadi terhadap pemaparan logam berat seperti tidak terdapatnya mendibula dan antenna	14
4. Alur penelitian dimulai dari persiapan alat dan bahan hingga hasil yang akan didapatkan pada penelitian	21
5. Grafik hubungan log konsentrasi dan nilai probit pada pH 9 sebesar 98,37%.....	30
6. Grafik hubungan log konsentrasi dan nilai probit pada pH 8,7 sebesar 92,94%.....	31
7. Grafik hubungan log konsentrasi dan nilai probit pada pH 8,7 sebesar 96,09%.....	32
8. Grafik Hubungan Log Konsentrasi terhadap Nilai Probit pada pH 7 sebesar 90,71%.....	33
9. Grafik Hubungan Log Konsentrasi terhadap Nilai Probit sebesar 86,25%....	34
10. Perbandingan uji toksisitas <i>Artemia salina</i> terhadap pemaparan Hg pada pH 9, 8,7, 8,4, 7 dan 6.....	35
11. Kerusakan morfologi <i>Artemia salina</i> pada pH 9 dalam waktu 48 jam.....	40
12. Kerusakan morfologi <i>Artemia salina</i> pada pH 8,7 dalam waktu 48 jam.....	42
13. Kerusakan morfologi <i>Artemia salina</i> pada pH 8,4 dalam waktu 48 jam.....	44
14. Kerusakan morfologi <i>Artemia salina</i> pada pH 7 dalam waktu 48 jam.....	46
15. Kerusakan morfologi <i>Artemia salina</i> pada pH 6 dalam waktu 48 jam.....	48
16. Interaksi perlakuan pH 9, 8,7, 8,4, 7 dan 6 dengan Konsentrasi Hg 0,0025, 0,0063, 0,0158, 0,0397, 0,0997 ppm pada <i>Artemia salina</i>	57



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi <i>Artemia salina</i>	1
2. Kategori toksisitas	18
3. Alat yang digunakan dalam penelitian beserta fungsinya	6
4. Bahan yang digunakan dalam penelitian beserta fungsinya	20
5. Desain penelitian yang akan dilakukan pada uji pendahuluan/ <i>range</i>	22
6. Parameter yang diukur meliputi DO, Suhu, pH dan Salinitas	23
7. Hasil uji pendahuluan didapatkan hasil ambang batas atas sebesar 0,1	20
8. Log Konsentrasi dan Probit pada pH 9 dengan nilai probit % mortalitas	30
9. Log Konsentrasi dan Probit Hg pada pH 8,7 dengan nilai probit %	31
10. Log Konsentrasi dan Probit Hg pada pH air laut dengan nilai probit %	32
11. Log Konsentrasi dan Probit pH 7 dengan nilai probit %	33
12. Log Konsentrasi dan Probit pH 6 dengan nilai probit % mortalitas	34
13. Hasil nilai LC ₅₀ dari pH 9, 8,7, 8,4, 7 dan 6	36
14. Hasil Keseluruhan Kerusakan Morfologi <i>Artemia salina</i>	49
15. <i>Test of Normality</i>	54
16. <i>Test Homogeneity</i>	54
17. Uji <i>Two Way ANOVA</i>	55
18. Uji BNT (Beda Nyata Terkecil)	56



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Konsentrasi uji utama	67
2. Monitoring Parameter Kualitas Air	68
3. Test Homogenitas dan Normalitas <i>Monitoring</i> Kualitas Air.....	69
4. Tabel perhitungan LC ₅₀ logam berat Hg pH 9	70
5. Tabel perhitungan logam berat Hg pada pH 8,7	71
6. Tabel perhitungan logam berat Hg pada pH air laut	72
7. Tabel perhitungan logam berat Hg pada pH 7	73
8. Tabel perhitungan logam berat Hg pada pH 6	74
9. Tabel Probit.....	75
10. Dokumentasi Penelitian	76



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanasan global terjadi adanya peningkatan suhu yang terjadi bersamaan dengan meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca (terutama CO₂ dan CH₄). Tingginya konsentrasi CO₂ di perairan akan menyebabkan peningkatan derajat keasaman (pH) perairan atau biasa dikenal sebagai *Ocean Acidification* (OA). *Ocean Acidification* merupakan proses turunnya kadar pH air laut yang terjadi akibat kenaikan penyerapan CO₂ di atmosfer yang dihasilkan dari berbagai kegiatan manusia (Yanti, 2016). Menurut Kleypas *et al.*, (2006) peningkatan kelarutan gas CO₂ diprediksikan mampu menurunkan pH hingga 7,7 dan menurut Orr *et al.*, (2005) terjadinya revolusi industri, menyebabkan menurunnya pH lautan sebesar kurang lebih 0,1 satuan yang setara dengan peningkatan 30% ion hidrogen dan diperkirakan akan terus menurun hingga 0,3 s/d 0,4 satuan pada tahun 2100. Terjadinya penurunan pH di perairan, dapat mempengaruhi keseimbangan unsur-unsur kimia dan ketersediaan unsur-unsur kimia di laut. Nilai pH yang rendah akan menyebabkan pencemaran logam berat di perairan akan lebih mudah terlarut (Wulandari *et al.*, 2009).

Pencemaran laut adalah perubahan yang terjadi akibat dimasukkannya suatu komponen, makhluk hidup, energi atau zat lain baik secara langsung maupun tidak langsung oleh manusia ke dalam perairan (Mukhtasor, 2007). Pencemaran laut disebabkan oleh limbah industri, limbah buangan rumah sakit yang sebagian besar memiliki kandungan logam berat khususnya Hg dan berbagai kegiatan manusia yang menghasilkan polusi industri dan polusi kendaraan juga dapat berdampak pada perairan lingkungan pesisir dan laut (Yanti, 2016). Pencemaran logam menyebabkan terkontaminasinya produktivitas primer di perairan. Hal ini menyebabkan terjadinya perubahan struktur komunitas perairan,

jaringan makanan, tingkah laku, efek fisiologi, genetik dan resistensi (Racmansyah *et al.*, 1998). Hal tersebut dapat menimbulkan dampak yang cukup besar terhadap makhluk hidup di dalam ekosistem perairan laut terutama melalui rantai makanan atau *food chain* (Yanti, 2016).

Rantai makanan merupakan bagian dari jaring-jaring makanan, di mana rantai makanan bergerak secara linear dari produsen ke konsumen tingkat I (Kanwar, 2007). Konsumen tingkat I tersebut seperti *Artemia salina* yang merupakan zooplankton dari anggota *crustacea* yang keberadaannya tersebar luas di perairan laut. *Artemia* ini memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan lingkungan dan berperan sebagai konsumen penting yang ada di perairan (Mudjiman, 1995). Sehingga sesuai untuk dijadikan sampel untuk uji toksisitas. *Artemia salina* digunakan sebagai sampel untuk uji toksisitas karena kemudahannya dalam mengkultur, memiliki periode generasi yang pendek dan tersedia secara komersial. Dalam uji toksisitas ini *Artemia salina* akan dipaparkan logam berat Hg karena logam berat ini termasuk logam *non esensial* dan bersifat sangat toksik (Mukono, 2005). Penggunaan bahan toksikan Hg pada penelitian ini didasarkan pada kasus pencemaran merkuri cukup serius pernah terjadi di Indonesia, tepatnya di Teluk Buyat, Sulawesi Utara pada tahun 2004. Perusahaan tambang emas PT. Newmont Minahasa Raya telah membuang limbah tailingnya ke dasar Teluk Minahasa sehingga menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan masyarakat yang serius serta mengakibatkan sejumlah ikan mendadak mati dan menghilangnya beberapa jenis organisme laut (Kumaran, 2017). Sehingga menjadi salah satu alasan bagi peneliti dalam penggunaan bahan toksikan Hg pada penelitian ini.

Pada penelitian ini pemaparan logam berat Hg pada *Artemia salina* dilakukan dalam skala laboratorium untuk mendeteksi toksisitas suatu senyawa dan digunakan dalam studi ekotoksikologi (Favilla *et al.*, 2006). Tingkat toksisitas

logam berat Hg dapat diketahui dengan menghitung nilai LC_{50} . Menurut Rossiana (2006) LC_{50} (*Lethal Concentration*) merupakan konsentrasi atau kadar toksikan yang dapat menyebabkan kematian sebanyak 50% dari organisme uji. Menurut Mauliddin (2011) semakin kecilnya nilai LC_{50} maka toksisitasnya akan semakin besar, artinya dengan konsentrasi senyawa yang sangat rendah sudah mampu membunuh 50% populasi.

Penelitian internasional dengan uji toksisitas seperti ini pernah dilakukan oleh Lu, Jing *et al.*, (2018); Shaala *et al.*, (2015) yang menggunakan spesies *Artemia salina* dengan pemaparan logam berat Cd dan Diuron. Penelitian ini pernah dilakukan oleh Anista *et al.*, (2016) dengan menggunakan limbah industri di kabupaten Banyuwangi. Akan tetapi, informasi mengenai toksisitas akut logam berat Hg pada *Artemia salina* masih sangat terbatas. Dari hal tersebut merupakan salah satu alasan dilakukannya penelitian ini. Uji toksisitas penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat toksisitas dari suatu zat atau bahan pencemar dan mengetahui sifat ketoksikan senyawa dapat dipengaruhi oleh perbedaan derajat keasaman (pH) serta mengetahui dampak perubahan morfologi *Artemia salina*. Maka dari itu, penelitian ini sangat perlu dilakukan untuk memberikan informasi mengenai toksisitas logam berat pada pH yang berbeda dan dampaknya terhadap *Artemia salina*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dari penelitian ini, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai LC_{50} logam berat Hg pada *Artemia salina* ?
2. Bagaimana pengaruh pH terhadap nilai LC_{50} logam berat Hg pada *Artemia salina* ?
3. Bagaimana dampak paparan Hg terhadap morfologi *Artemia salina* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui:

1. Nilai LC₅₀ logam berat Hg pada *Artemia salina*.
2. Pengaruh pH terhadap nilai LC₅₀ logam berat Hg pada *Artemia salina*.
3. Dampak paparan Hg terhadap morfologi *Artemia salina*.

1.4 Hipotesis

Uji hipotesis rancangan acak lengkap (RAL) faktorial terhadap mortalitas *Artemia salina* dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Hipotesis 1 :

H0 : pH yang berbeda tidak mempengaruhi mortalitas *Artemia salina*

H1 : pH yang berbeda mempengaruhi mortalitas *Artemia salina*

- Hipotesis 2 :

H0 : Pengaruh konsentrasi tidak mempengaruhi mortalitas *Artemia salina*

H1 : Pengaruh konsentrasi mempengaruhi mortalitas *Artemia salina*

- Interaksi H1 dan H2

H0 : tidak ada interaksi antara perlakuan pH yang berbeda dengan perlakuan konsentrasi uji yang berbeda terhadap mortalitas *Artemia salina*

H1 : ada interaksi antara perlakuan pH yang berbeda dengan perlakuan konsentrasi uji yang berbeda terhadap mortalitas *Artemia salina*

1.5 Kegunaan

Kegunaan dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai toksisitas akut logam berat Hg pada derajat keasaman yang berbeda dan dampaknya terhadap morfologi *Artemia salina*.

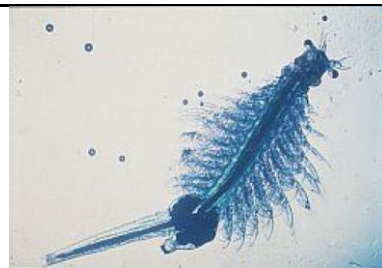
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Artemia Salina*

Artemia salina atau brine shrimp adalah sejenis udang-udangan primitif yang sudah dikenal lama pada tahun 1778 oleh Linnaeus dan diberi nama *Cancer salinus*, kemudian pada tahun 1819 diubah oleh Leach menjadi *A. salina*. *Artemia* merupakan zooplankton dari anggota *crustacea* (Klasifikasi *Artemia* Tabel 1). Hewan ini hidup planktonik yaitu melayang di perairan yang berkadar salinitas yang tinggi (antara 5 – 150 ppt). Suhu berkisar antara 25 - 300°C, oksigen terlarut sekitar 3 mg/L, dan pH berkisar antara 7,3 – 8,4. Sebagai plankton, *Artemia* tidak dapat mempertahankan diri terhadap musuh-musuhnya, karena tidak mempunyai cara maupun alat untuk mempertahankan diri. Satu-satunya cara untuk mempertahankan diri adalah hidup di lingkungan yang berkadar garam tinggi, karena pada kondisi tersebut pada umumnya pemangsa sudah tidak dapat hidup lagi (Mudjiman, 1995). *Artemia* ini biasanya dimakan oleh ikan (Ikan Sarden, Ikan Herring dan Ikan Bandeng) dan biota laut lainnya (Borowitzka, 1992). *A. salina* merupakan salah satu komponen penyusun ekosistem laut yang keberadaannya sangat penting untuk perputaran energi dalam rantai makanan, selain itu *A. salina* juga dapat digunakan dalam uji laboratorium untuk mendeteksi toksisitas suatu senyawa (Kanwar, 2007).

Tabel 1. Klasifikasi *Artemia salina*

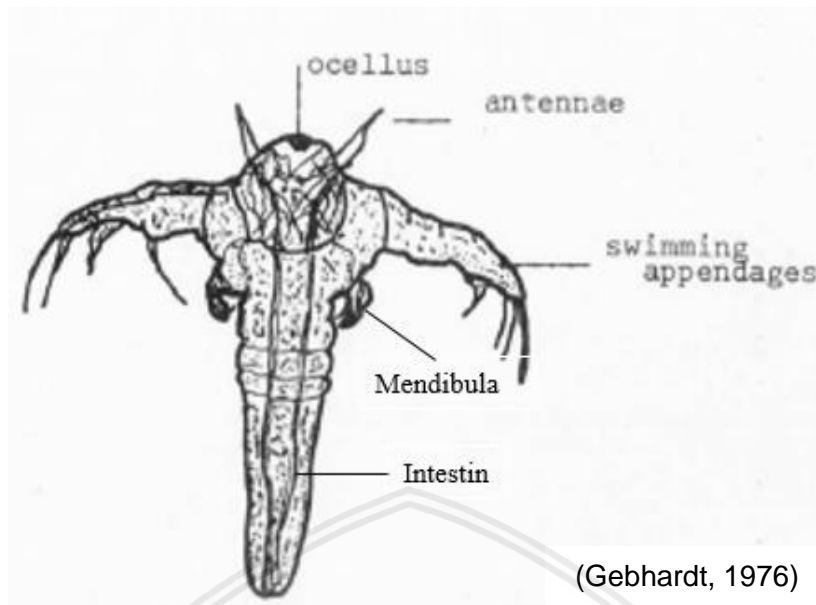
Klasifikasi Ilmiah <i>Artemia salina</i>	
<i>Kingdom</i>	: <i>Animalia</i>
<i>Phylum</i>	: <i>Arthropoda</i>
<i>Class</i>	: <i>Crustacea</i>
<i>Ordo</i>	: <i>Anostraca</i>
<i>Famili</i>	: <i>Artemiidae</i>
<i>Genus</i>	: <i>Artemia</i>
<i>Spesies</i>	: <i>Artemia salina</i>



Sumber: Abatzopoulos *et al.*, 1996.

2.1.1 Morfologi

Artemia salina dewasa memiliki panjang tubuh sekitar 8 - 10 mm bahkan dapat mencapai 15 mm tergantung pada kondisi lingkungan disekitarnya. Tubuh *Artemia* memiliki sedikitnya 20 segmen dan dilengkapi sekitar 10 pasang *phyllopodia* pipih, yaitu bagian tubuh yang menyerupai daun yang bergerak dengan ritme teratur. Tubuh *Artemia* terdiri atas antenna, mendibula, ocellus, Intestin dan *swimming appendages*. Pada bagian kepala terdapat 2 tungkai mata dan 2 antena. Dada terbagi atas 11 segmen yang masing-masing mempunyai sepasang kaki renang, sedangkan perut terbagi atas 8 segmen (Mudjiman, 1988). Pada bagian tubuh *Artemia* antenna berfungsi sebagai sensoris, mendibula berfungsi sebagai pengambilan makanan, Ocellus berfungsi sebagai organ stimulasi (sensitif terhadap cahaya gelap/terang), intestin berfungsi sebagai saluran pencernaan dan *swimming appendages* berfungsi untuk membantu pergerakan *Artemia* ketika berenang. *Artemia salina* dewasa bentuknya telah sempurna dan berwarna putih pucat, merah muda, hijau, atau transparan serta biasanya hidup dalam beberapa bulan. Memiliki mulut dan sepasang mata pada antenanya (Emslie, 2003). Telur *A. salina* berbentuk bulat berlekuk dalam keadaan kering dan bulat penuh dalam keadaan basah. Telur ini berwarna coklat dan diselubungi oleh cangkang yang tebal dan kuat. Cangkang ini berfungsi untuk melindungi embrio terhadap pengaruh kekeringan, benturan keras, sinar ultraviolet dan mempermudah pengapungan (Opinion, 2008). Morfologi *Artemia salina* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Morfologi *Artemia salina* yang meliputi *Ocellus*, *Anntenae*, *Swimming appendages*, *Mendibula* dan *Intestin*

2.1.2 Habitat *Artemia salina*

Artemia terdistribusi di seluruh dunia, terdapat pada setiap benua kecuali Antartika. *Artemia salina* memiliki resistensi yang luar biasa terhadap perubahan lingkungan dan mampu hidup pada variasi salinitas air yang luas dari *seawater* (30 – 35‰) sampai *the great salt lake* ($\pm 40\%$), dan masih dapat bertoleransi pada kadar garam yang tinggi (Kaiser *et al.*, 2006). *Artemia salina* hidup di kolom-kolom evaporasi buatan manusia yang biasa digunakan untuk mendapatkan garam dari lautan. Insang membantunya agar cocok dengan kadar garam tinggi dengan absorpsi dan ekskresi ion-ion yang dibutuhkan dan menghasilkan urin pekat dari *glandula maxillaris*. *Artemia salina* ini hidup pada variasi temperatur air yang tinggi dari 6°C sampai 37°C dengan temperatur yang optimal untuk reproduksi pada 25°C (suhu kamar) (Artemia Reference Center, 2007).

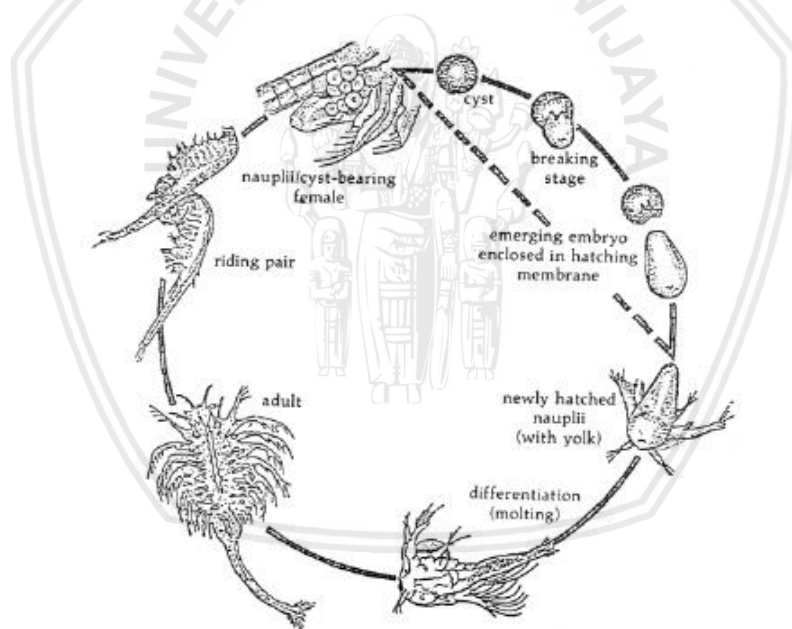
2.1.3 Perkembangan dan Siklus Hidup

A. salina dibagi menjadi dua jenis berdasarkan cara berkembangbiaknya, antara lain perkembangbiakan secara biseksual dan partenogenetik. Pada

Artemia yang termasuk jenis parthenogenesis populasinya terdiri dari betina semua yang dapat membentuk telur dan embrio berkembang dari telur yang tidak dibuahi. Sedangkan pada *Artemia* jenis biseksual, populasinya terdiri dari jantan dan betina yang berkembang melalui perkawinan dan embrio berkembang dari telur yang dibuahi. Keduanya perkembangbiakan tersebut dapat terjadi secara ovipar maupun ovovivipar. Pada jenis *A. salina* ovovivipar, anakan yang keluar dari induknya sudah berupa arak atau burayak yang dinamakan nauplis, sehingga sudah langsung dapat hidup sebagai *A. salina* muda. Sedangkan pada cara ovipar, yang keluar dari induknya berupa telur bercangkang tebal yang dinamakan siste. Proses untuk menjadi nauplis harus melalui proses penetasan terlebih dahulu. Kondisi ovovivipar biasanya terjadi bila keadaan lingkungan cukup baik dan berkadar garam kurang dari 150 per ml dengan kandungan oksigen yang cukup. Reproduksi *Artemia salina* dapat dengan bertelur atau dengan melahirkan anak. Pergantian reproduksi ini dimungkinkan oleh jumlah klorofil dalam makanannya dan faktor oksigen dalam lingkungan. Konsentrasi oksigen yang rendah dan klorofil yang tinggi dalam makanannya menyebabkan reproduksi dengan telur, dan sebaliknya akan menyebabkan reproduksi dengan melahirkan anak (Mudjiman, 1988). Oviparitas terjadi jika keadaan lingkungan memburuk dan berkadar garam lebih dari 150 per mil dengan kandungan oksigen yang kurang. Telur ini biasanya dipersiapkan untuk menghadapi keadaan lingkungan yang buruk, bahkan kering. Bila keadaan lingkungan baik kembali, telur akan menetas dalam waktu 24-36 jam (Kanwar, 2007).

A. salina yang sudah dewasa dapat hidup sampai enam bulan. Sementara induk-induk betinanya akan beranak atau bertelur setiap 4-5 hari sekali dan dapat menghasilkan 50 sampai 300 telur atau nauplius. Nauplis akan dewasa setelah berumur 14 hari, dan siap untuk berkembang biak (Mudjiman, 1995). *A. salina* juga dapat diperjualbelikan dalam bentuk telur istirahat yang disebut kista. Kista ini

berbentuk bulatan-bulatan kecil berwarna kecoklatan dengan diameter berkisar 200 - 300 mikron. Kista yang berkualitas baik akan menetas sekitar 18-24 jam apabila diinkubasi air yang bersalinitas 5 - 70 permil. Ada beberapa tahapan pada proses penetasan *A. salina* ini yaitu tahap hidrasi, tahap pecah cangkang dan tahap pengeluaran. Tahap hidrasi adalah tahap dimana terjadinya penyerapan air sehingga kista yang diawetkan dalam bentuk kering tersebut akan menjadi bulat dan aktif bermetabolisme. Tahap selanjutnya adalah tahap pecah cangkang dan disusul tahap pengeluaran yang terjadi beberapa saat sebelum nauplius keluar dari cangkang (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995). Siklus hidup *A. salina* Dapat dilihat pada Gambar 1. yang bersumber dari FAO Corporate document repository (2019).



Gambar 2. Siklus hidup *Artemia salina* dari kista hingga dewasa

2.1.4 Cara makan *Artemia*

Artemia adalah mikroorganisme yang memiliki cara makan sederhana, yaitu dengan menyaring makannya atau disebut *non-selective filter feeder*, maka *Artemia* akan terus menerus memakan apa saja yang ukurannya lebih kecil dari 50 μm . makanan *Artemia* di perairan adalah detritus bahan organik dan ganggang

renik (ganggang hijau, ganggang biru, cendawan atau ragi laut). Beberapa jenis ganggang hijau yang sering dijadikan makanan oleh *Artemia* antara lain *Euglena*, *Dunaliella salina* dan *Cladophora sp* (Mudjiman 1989). Seluruh partikel suspensi yang mungkin dapat dimakan oleh *artemia* secara terus menerus akan diambil dengan gerakan terakopoda yang mempunyai fungsi ganda sebagai respirasi dan pengumpul makanan sehingga tidak ada alternative lain bagi *artemia* untuk terus menerus menyaring makanan (Widyarti 1986).

2.1.5 Perilaku *Artemia salina*

A. salina bersifat fototaksis positif yang berarti menyukai atau mendekati cahaya. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya gerakan tubuh menuju ke permukaan karena sinar matahari sebagai sumber cahaya secara alami, dimana pada siang hari selalu ada di permukaan dan tenggelam pada malam hari. Intensitas cahaya yang terlalu tinggi, juga dapat mengakibatkan respon fototaksis negatif sehingga ia akan menjauhi cahaya. *Artemia* yang baru menetas mempunyai perilaku geotaksis positif, hal ini terjadi ketika nauplius tenggelam ke bawah setelah menetas akibat efek gravitasi. Gerakan *phyllopodia* mendorong makanan bergerak ke anterior (lokomosi). Gerakan anggota tubuh mendorongnya menuju arah sumber makanan (Emslie, 2003).

2.2 Logam Berat

Logam berat adalah logam dengan densitas, berat atom/nomor atom yang lebih besar. Logam berat memiliki karakteristik seperti berkilau, lunak atau dapat ditempa, mempunyai daya hantar panas dan listrik yang tinggi dan bersifat kimiawi, yaitu sebagai dasar pembentukan reaksi dengan asam. Selain itu, logam berat adalah unsur yang mempunyai densitas lebih besar dari 5 gr/cm^3 , mempunyai nomor atom lebih besar dari 21 dan terdapat di bagian tengah daftar periodik (Connel dan Miller, 1995). Logam berat dibagi menjadi dua jenis yaitu

logam berat *esensial* dan logam berat *non esensial*. Logam berat *esensial* adalah logam yang sangat dibutuhkan oleh organisme dalam jumlah tertentu, namun bila dalam jumlah berlebihan, logam tersebut dapat menimbulkan efek toksik seperti Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan lain-lain. Sedangkan logam *non esensial* adalah logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya dan bersifat toksik seperti Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain-lain (Widowati *et al.*, 2008).

Berbagai unsur logam berat secara alami dapat ditemukan di dalam perairan yang terbawa oleh aliran sungai, erosi, jatuh bersama debu dari atmosfer. Selain itu juga dapat disebabkan oleh peningkatan aktivitas manusia di daratan atau lepas pantai melalui aktivitas industri, pertambangan, transportasi dan buangan penduduk. Unsur Logam berat seperti Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, dan Zn biasanya berkaitan dengan masalah pencemaran dan toksisitas. Logam berat secara alami ditemukan pada batu-batuan alami, sehingga logam berat secara normal merupakan unsur dari tanah, sedimen, air dan organisme hidup. Pencemaran dapat terjadi jika konsentrasinya telah melebihi batas normal (Alloway dan Ayres, 1993). Tingkat toksisitas logam berat terhadap biota air, mulai dari yang sangat toksik adalah Hg, Cd, Zn, Pb, Cr, Ni, dan Cu. Sementara itu, tingkat toksisitas terhadap manusia dari yang paling toksik adalah Hg, Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, dan Zn (Widowati *et al.*, 2008).

2.3 Merkuri (Hg)

Merkuri dalam bahasa latin dikenal dengan nama *hydrargyrum*, dalam bahasa yunani di kenal *hydragyros* atau *liquid silver* yang berarti cairan berwarna perak. Merkuri disingkat dengan Hg. Merkuri pada tabel periodik terdapat pada golongan XII D, periode VI, memiliki nomor atom 80 dengan berat atom 200,59 g/mol (Cotton dan Wilkinson, 1989). Merkuri merupakan satu-satunya logam yang berbentuk cair pada suhu kamar (25°C) dan memiliki titik beku yang paling rendah

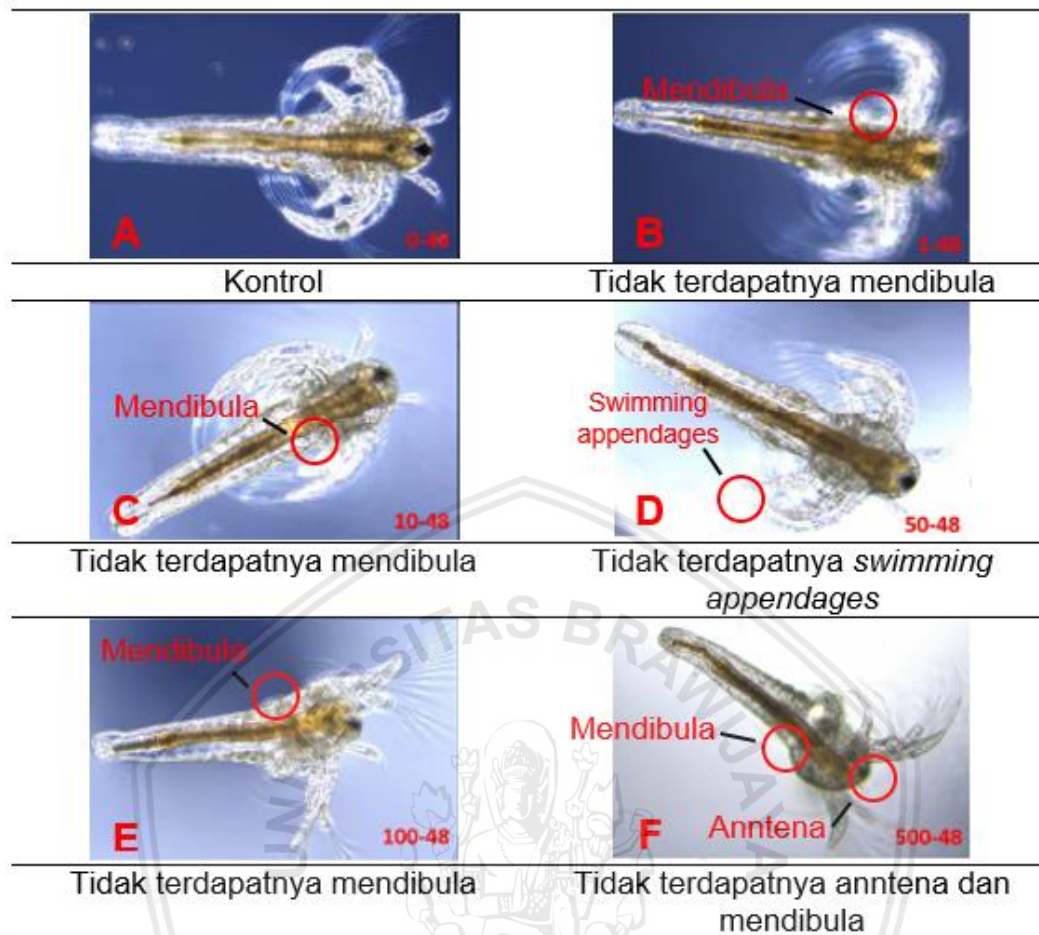
dibanding logam lainnya, yaitu $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Memiliki kisaran suhu yang luas untuk kondisi merkuri dalam bentuk cair, yaitu 396°C . Memiliki volatilitas yang tinggi dibanding logam lainnya. Merupakan konduktor yang baik karena memiliki ketahanan listrik yang rendah. Mudah dicampur dengan logam lain menjadi logam campuran yang disebut logam campuran (amalgam/alloy). Merkuri dan komponen-komponennya bersifat toksik terhadap semua makhluk hidup (Effendi, 2003).

Senyawa merkuri banyak dipakai dalam pembuatan amalgam, cat, baterai, komponen listrik, ekstraksi emas dan perak, gigi palsu, senyawa anti karat (*anti fouling*), serta fotografi dan elektronik. Pada industri kimia yang memproduksi gas klorin dan asam klorida juga menggunakan merkuri. Penggunaan merkuri dan komponen-komponennya juga sering dipakai sebagai pestisida (Fardiaz, 2005). Logam merkuri sering dipakai sebagai *katalis* dalam proses di industri-industri kimia, terutama pada industri vinil klorida yang merupakan bahan dasar dari berbagai plastik. Pelapukan bermacam-macam batuan dan erosi tanah dapat melepas merkuri ke dalam perairan (Effendi, 2003). Penambangan, peleburan, pembakaran bahan bakar fosil, dan produksi baja, semen dan fosfat juga merupakan sumber merkuri yang dapat menambah keberadaannya di alam. Di perairan alami logam berat Hg terdapat dalam bentuk Hg^0 , Hg^+ dan Hg^{2+} yang ditentukan oleh kondisi reduksi atau oksidasi. Perairan dimana terdapat oksigen terlarut cukup baik, maka Hg^{2+} terlarut menjadi dominan. Dalam keadaan reduksi atau fakultatif akan terbentuk Hg^0 dan Hg^+ , dan apabila terdapat sulfid akan terbentuk senyawa HgS. Di perairan yang tidak tercemar, kadar Hg^{2+} terlarut sekitar $0,02 - 0,1\text{ mg/l}$ (air tawar) dan $< 0,01 - 0,03\text{ mg/l}$ (air laut) (Sanusi, 2006). Kadar merkuri yang diperbolehkan tidak lebih dari $0,3\text{ }\mu\text{g/liter}$ (Effendi, 2003).

2.3.1 Dampak paparan Logam Berat terhadap Perubahan Organisme

Merkuri (Hg) merupakan logam yang paling berbahaya dan bersifat toksik pada makhluk hidup. Berbagai penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa meningkatnya toksisitas Merkuri (Hg) pada dalam tubuh organisme akan mengakibatkan efek yang mematikan pada organisme (Mance, 1990). Keracunan Merkuri (Hg) dapat bersifat kronis terjadi dalam selang waktu yang cukup panjang. Peristiwa ini terjadi karena Merkuri (Hg) yang masuk ke dalam tubuh dalam jumlah yang kecil sehingga dapat ditolerir oleh tubuh. Tetapi dengan terjadinya proses pemasukkan yang terus-menerus pada kondisi tubuh organisme, pada akhirnya organisme tidak mampu bertoleransi terhadap daya racun Merkuri (Hg). Kerusakan yang ditimbulkan umumnya terjadi pada sistem fisiologi tubuh. Sistem-sistem yang rusak oleh keracunan kronis Merkuri (Hg) ini adalah pada sistem *urinera* (ginjal), sistem respirasi (pernafasan dan paru-paru), sistem sirkulasi (darah), jantung, kelenjar reproduksi, sistem penciuman dan bahkan dapat mengakibatkan kerapuhan tulang (Palar, 1994).

Pada penelitian Lu, Jing *et al.*, (2018) mengenai uji toksisitas logam berat *Artemia salina* yang dipaparkan selama 48 jam dengan konsentrasi (0, 1, 10, 50, 100 and 500 mg/L) menunjukkan dampak perubahan morfologi seperti kerusakan pada bagian-bagian tubuhnya (tidak lengkapnya bagian dan organ tubuh), menurunnya metabolisme dan keseimbangan tubuh *Artemia salina* menjadi terganggu. Sehingga pergerakan menjadi lambat yang ditandai dengan gejala stress di mana aktifitas renang yang menurun dan lebih banyak di dasar wadah atau mengambang di permukaan. Dampak paparan logam berat terhadap *Artemia salina* terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pada penelitian Lu tahun 2018 dampak kerusakan morfologi *Artemia salina* yang terjadi terhadap paparan logam berat seperti tidak terdapatnya mandibula dan antenna

Perubahan morfologi yang terjadi akibat paparan logam berat terhadap *Artemia salina* pada penelitian Lu, Jing *et al.*, (2018) yang dipaparkan selama 48 jam dengan konsentrasi (0, 1, 10, 50, 100 and 500 mg/L) menunjukkan perubahan morfologi yang berbeda di setiap konsentrasinya. Dapat dilihat pada Gambar 3. perubahan morfologi di setiap konsentrasi menunjukkan perubahan morfologi yang berbeda. Paparan logam berat dengan konsentrasi 10 mg/L menunjukkan tidak terdapatnya mandibula pada bagian tubuh *Artemia salina* (Gambar 3.C). sedangkan dengan konsentrasi 50 mg/L menunjukkan tidak terdapatnya *swimming appendages* pada bagian tubuh *Artemia salina* (Gambar 3.D). Semakin tingginya konsentrasi paparan logam berat terhadap *Artemia salina* maka

semakin banyak kerusakan yang terjadi pada bagian tubuh biota uji tersebut. Hal ini dapat dibuktikan pada konsentrasi logam berat sebesar 500 mg/L menunjukkan terjadinya perubahan morfologi pada *Artemia salina* yaitu tidak terdapatnya mendibula dan antena pada bagian tubuh *Artemia salina* (Gambar 3.F).

2.4 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan kepanjangan dari *power of Hydrogen* atau parameter penting dalam menentukan kualitas air. Derajat keasaman (pH) adalah suatu ukuran mengenai besar kecilnya atau jumlah konsentrasi ion hidrogen dalam air. Nilai pH menunjukkan seberapa basa (*alkalinity*) atau asam (*acidity*) dalam suatu perairan laut (Wardoyo, 1975). Perairan dengan nilai pH=7 adalah netral, pH<7 dikatakan kondisi perairan bersifat asam, sedangkan pH>7 dikatakan perairan bersifat basa (Effendi, 2003). Di perairan pH berkisar 6,95-8,35 merupakan kisaran pH yang masih layak bagi kehidupan organisme perairan. Pada kondisi tertentu pH akan berubah-ubah sesuai dengan sifat zat-zat yang berkaitan dalam perairan, seperti adanya penambahan volume air akibat adanya hujan dan meningkatnya suhu perairan tersebut (Setyawati, 1986).

Derajat keasaman atau kadar ion H dalam air merupakan faktor kimia yang sangat berpengaruh terhadap kehidupan organisme yang hidup di suatu lingkungan perairan. Di perairan laut tingkat pH berkisar antara 7,6-8,4 (Nursaiful, 2004). Derajat keasaman (pH) akan mempengaruhi konsentrasi logam. Kenaikan pH pada kolom perairan biasanya akan diikuti dengan semakin kecilnya kelarutan dari senyawa-senyawa logam. Perubahan dari tingkat stabil dari kelarutan tersebut biasanya terlihat dalam bentuk pergeseran persenyawaan. Pada pH yang semakin tinggi, kestabilan akan bergeser dari karbonat ke hidroksida (Palar, 1994). Penurunan pH dan salinitas perairan menyebabkan toksisitas logam berat semakin besar (Sarjono, 2009).

Penurunan dan kenaikan pH di perairan laut dipengaruhi oleh beberapa faktor yang disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia yang menghasilkan CO₂. Sumber utama penghasilnya adalah konversi hutan, industri manufaktur dan konstruksi, kegiatan transportasi, kegiatan rumah tangga dan pembuangan limbah (ITB, 2015). Akan tetapi, kadar CO₂ cenderung mengalami peningkatan akibat dari penggundulan hutan dan pembakaran bahan bakar fosil. Sekitar setengah dari karbondioksida yang merupakan hasil pembakaran tersebut berada di atmosfer dan setengahnya lagi tersimpan di laut. Jika hal ini terus-menerus terjadi maka gas CO₂ yang dihasilkan akan terakumulasi di atmosfer dalam jumlah yang besar. Meningkatnya konsentrasi CO₂ mendorong terjadinya pemanasan global dan pengasaman laut (Yanti, 2016). Pengasaman laut (Ocean acidification) merupakan proses turunnya kadar pH air laut yang terjadi karena kenaikan penyerapan karbon dioksida (CO₂) di atmosfer yang dihasilkan dari berbagai kegiatan manusia. Asidifikasi atau menurunnya pH pada suatu larutan hingga kondisi asam yang terjadi diakibatkan adanya reaksi antara air laut dengan gas CO₂. Reaksi antara air laut dengan gas CO₂ tersebut akan membentuk asam karbonik yang akan menurunkan pH air laut terutama di daerah permukaan. Turunnya pH air laut menimbulkan dampak yang cukup besar terhadap makhluk hidup di dalam ekosistem laut. dampaknya dapat berpotensi merusak ekosistem, terganggunya produktivitas primer dan mengubah pola rantai makanan. Semakin tingginya gas CO₂ akan mengubah senyawa kimia yang ada di laut menjadi asam. Sehingga kelarutan senyawa toksik semakin tinggi dan membahayakan bagi kehidupan biota di laut (Kabangnga', 2015).

2.5 Uji Toksisitas Akut atau LC₅₀

Uji toksisitas merupakan suatu uji yang digunakan untuk menentukan tingkat toksisitas dari suatu zat atau bahan pencemar. Uji toksisitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh suatu bahan kimia berbahaya terhadap organisme. Uji toksisitas terbagi menjadi dua bagian, yaitu uji toksisitas akut dan kronis. Uji toksisitas akut adalah pemaparan toksikan (polutan) dalam jangka waktu yang pendek dan mampu membunuh 50% populasi organisme dalam jangka waktu yang pendek. Sedangkan uji toksisitas kronis adalah pemaparan yang terjadi secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama. Pemaparan kronik ini dapat menyebabkan letal (kematian) atau subletal. Dampak subletal seperti, perubahan tingkah laku dan perubahan fisiologis pada organisme (Ihsan *et al.*, 2018).

Dalam uji toksisitas, salah satu uji yang biasa digunakan adalah uji toksisitas akut. Dimana uji akut ini dilakukan pada senyawa kimia yang dapat menimbulkan efek racun dalam jangka waktu singkat. Saat uji toksisitas berlangsung, permukaan tubuh maupun bagian dalam hewan uji akan mengalami kerusakan akibat dari bahan kimia toksikan (Subekti, 2014). Asam-asam kuat atau alkalis, yang mengalami kontak langsung dengan organ mata, kulit dan saluran pencernaan, dapat mengakibatkan kerusakan pada jaringan dan bahkan dapat menyebabkan kematian pada sel-sel (Palar, 1994). Penelitian toksikologi perairan berfungsi untuk mengetahui apakah disuatu perairan mengandung senyawa toksik dalam konsentrasi yang menyebabkan toksisitas akut. Kadar toksik suatu zat kimia salah satunya dinyatakan dengan LC₅₀ (*Lethal Concentration-50*). Parameter dalam uji toksisitas diukur melalui kematian hewan uji yang dinyatakan sebagai konsentrasi yang menyebabkan kematian 50% hewan uji (LC₅₀) (Darmono, 2009).

LC₅₀ (*Lethal Concentration*) merupakan konsentrasi yang menyebabkan kematian sebanyak 50% dari organisme uji yang terpapar dalam waktu tertentu. Uji toksisitas digunakan untuk mengevaluasi besarnya konsentrasi toksikan dan

durasi pemaparan yang dapat menyebabkan efek toksik pada jaringan biologis. Berdasarkan sistem pemaparan larutan atau cara aliran larutan terhadap biota uji dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu uji hayati static atau tidak dilakukan pergantian larutan/media uji (*static bioassay*), dilakukan pergantian larutan (*renewal bioassay*), mengalir (*flow through bioassay*) (Rossiana, 2006). Pada penelitian uji toksisitas *Artemia salina* biasanya dilakukan dengan metode BSLT (*Brine Shrimp Lethality Test*).

Brine Shrimp Lethality Test (BSLT) adalah suatu metode pengujian dengan menggunakan hewan uji yaitu *Artemia salina* dan digunakan sebagai bioassay yang sederhana untuk meneliti toksisitas akut suatu senyawa, dengan cara menentukan nilai LC₅₀ yang dinyatakan dari kadar bahan uji toksikan yang dapat membunuh *Artemia* sebesar 50% populasi (Frank, 1995). Metode BSLT ini merupakan metode bioassay yang dipertimbangkan sebagai uji pendahuluan toksisitas dan digunakan untuk mendeteksi racun jamur, toksisitas ekstrak tanaman, logam berat, pestisida, dan uji sitotoksitas. Metode BSLT memiliki beberapa kelebihan yaitu biaya relatif murah, sederhana, waktu pelaksanaan cepat, praktis, dan tidak memerlukan teknik perawatan khusus dan hasilnya dapat dipercaya. Metode ini telah banyak digunakan untuk uji toksisitas dalam zat pencemar air (logam berat) (Kristianti *et al.*, 2011). Uji ini mengamati mortalitas larva udang (*Artemia salina*) yang disebabkan oleh senyawa uji. Senyawa yang aktif akan menghasilkan mortalitas yang tinggi (Khrisnaraju, 2006). Tingkat toksisitas suatu bahan menurut Mayer *et al.*, (1982) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kategori toksisitas

Kategori	LC ₅₀ (ppm)
Sangat toksik	<30
Toksik	30-1000
Tidak toksik	>1000

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 15 Maret hingga 13 April 2019 di Laboratorium Budidaya Perikanan divisi Reproduksi Ikan, Fakultas Perikanan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya, Kabupaten Malang, Jawa Timur dan UPT. Perikanan Air Tawar Sumberpasir jalan Brawijaya, Dusun Gagakasinan, Pakis, Malang.

3.2 Alat dan Bahan

Pada Tabel 3 dan Tabel 4 menjelaskan alat dan bahan apa saja yang digunakan dalam penelitian beserta fungsinya.

Tabel 3. Alat yang digunakan dalam penelitian beserta fungsinya

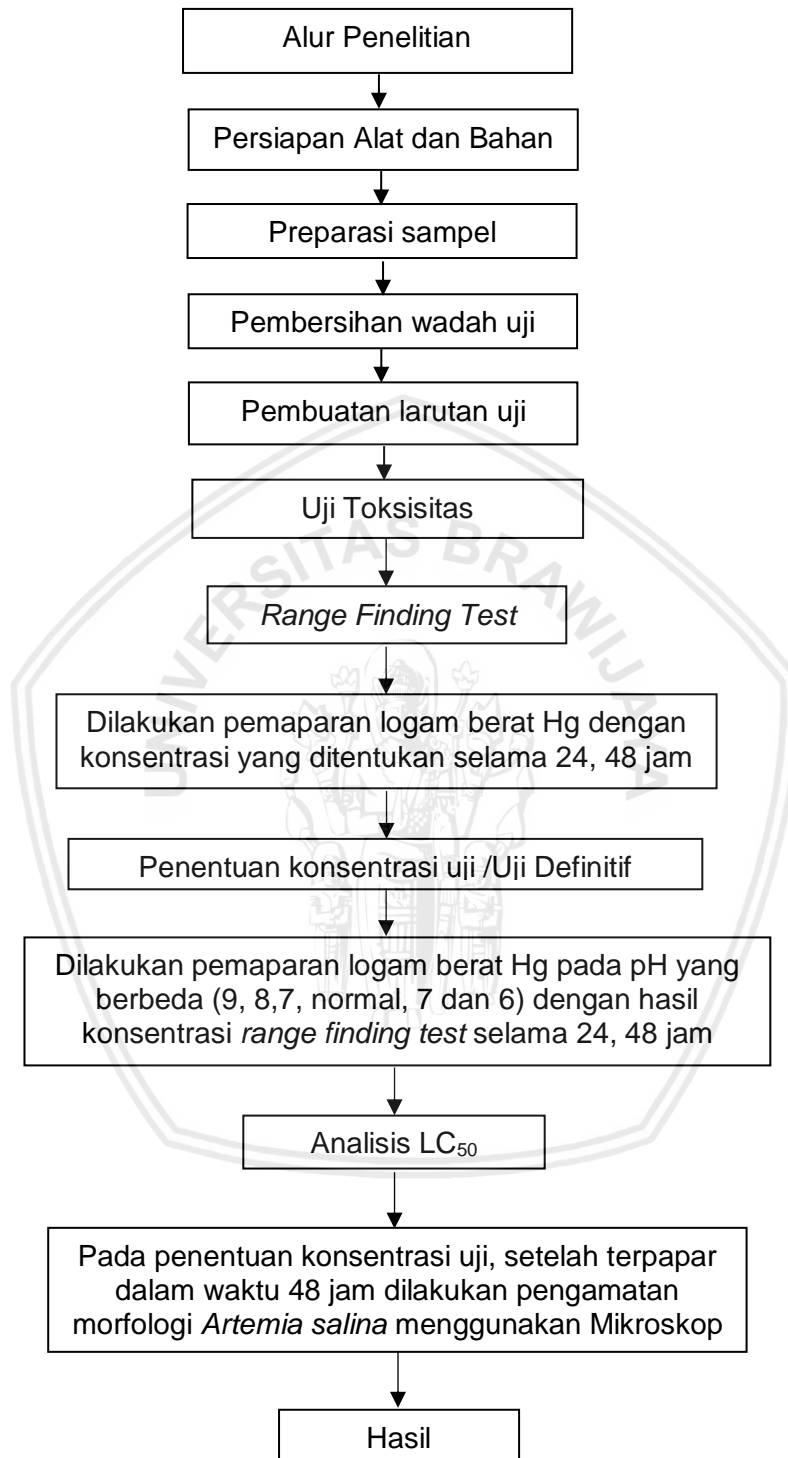
Alat	Fungsi
DO meter	Mengukur kadar DO
Salinometer	Mengukur kadar salinitas
pH meter	Mengukur kadar pH
<i>Thermometer</i>	Mengukur suhu
Timbangan digital	Menimbang sampel
<i>Beaker glass</i> 500 ml	Mengukur volume pelarut
<i>Blower set</i>	Sebagai aerasi
Gelas Ukur	Menakar media ujia
<i>Object glass</i> (Kaca preparat)	Tempat objek yang akan diamati
<i>Cover glass</i> (Kaca penutup)	Penutup <i>object glass</i> sehingga tidak terkontaminasi dengan media luar
Pipet Tetes	Mengambil larutan dalam jumlah yang sangat sedikit
Botol Vial 20 ml	Tempat pengujian sampel
Spatula	Menghomogenkan larutan
Mikroskop Binokuler Olympus CX21	Pengamatan morfologi

Tabel 4. Bahan yang digunakan dalam penelitian beserta fungsinya

Bahan	Fungsi
<i>Artemia salina</i>	Sebagai biota yang akan diuji
Hgl ₂	Bahan uji toksisitas
Kertas Label	Penanda sampel
Tissue	Membersihkan alat
Air Laut	Sebagai media uji
Masker	Proteksi diri dari paparan toksikan
Lateks	Proteksi diri dari paparan toksikan
Alkohol 70%	Pembersihan wadah uji
NaOH	Penyesuaian pH basa
HCL	Penyesuaian pH asam
Aquades	Kalibrasi alat

3.3 Alur Penelitian

Tahapan penelitian Toksisitas Logam Berat Hg pada Derajat Keasaman (pH) yang berbeda dan Dampaknya terhadap Morfologi *Artemia salina* yaitu langkah pertama dilakukan preparasi sampel yaitu penetasan *Artemia salina* dalam skala laboratorium dan dilakukan pembersihan wadah uji, selanjutnya dilakukan pembuatan larutan uji, kemudian pengujian toksisitas yang melalui *range finding test* setelah itu dilakukan penentuan konsentrasi uji (uji definitif). Setelah pemaparan, akan dilakukan analisis LC₅₀ dan pengamatan morfologi. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Alur penelitian dimulai dari persiapan alat dan bahan hingga hasil yang akan didapatkan pada penelitian

3.4 Desain Penelitian

Pada penelitian ini, uji toksisitas dilakukan uji pendahuluan dan uji definitif. Uji pendahuluan bertujuan untuk mendapatkan kisaran konsentrasi suatu zat toksik yang akan digunakan pada uji definitif. Hasil uji pendahuluan akan diperoleh kisaran konsentrasi pada uji definitif yaitu konsentrasi di antara LC_{100-24} jam dan konsentrasi LC_{0-48} jam. LC_{100-24} adalah ambang batas atas atau konsentrasi suatu zat toksik yang menyebabkan 100% kematian pada biota uji. LC_{0-48} jam adalah ambang batas bawah atau konsentrasi suatu zat toksik yang menyebabkan 0% kematian (100% hidup) pada biota uji (Sukiya dan Rizka, 2014). Pada penelitian ini dilakukan dengan 5 konsentrasi yang menggunakan deret geometri yaitu 0,001 ppm, 0,01 ppm, 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm dan satu kontrol yaitu 0 ppm. Serial konsentrasi penelitian ini menggunakan standar konsentrasi dari USEPA (*United States Environmental Protection Agency*). Berdasarkan dengan petunjuk APHA (1999) untuk uji toksisitas biota uji yang akan dipaparkan minimal dengan memasukkan 10 ekor biota uji pada masing-masing botol sampel 20 ml dan dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan. Kemudian pada uji definitif dilakukan dengan memasukkan 20 ekor biota uji agar mendapatkan hasil yang akurat. Desain penelitian tersebut seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Desain penelitian yang akan dilakukan pada uji pendahuluan/*range finding test*

Perlakuan	Konsentrasi Bahan Toksik Hg					
	1	2	3	4	5	Kontrol
	0,001 ppm	0,01 ppm	0,1 ppm	1 ppm	10 ppm	0 ppm
pH air laut	A1	A2	A3	A4	A5	A6

3.5 Parameter yang diukur

Parameter kualitas air yang diukur yaitu DO, suhu, pH, dan salinitas. Pengambilan data dilakukan berdasarkan konsentrasi pemaparan hewan uji setelah pengamatan 24 jam dan 48 jam (Afdal, 2016).

Tabel 6. Parameter yang diukur meliputi DO, Suhu, pH dan Salinitas

Parameter Lingkungan	Metode Pengukuran
DO	DO meter
Suhu	Thermometer
pH	pH meter
Salinitas	Salinometer

3.6 Prosedur Kerja

Prosedur kerja penelitian meliputi; penetasan *Artemia salina*, pembersihan wadah uji, pembuatan larutan uji, uji pendahuluan (*range finding test*) yang kemudian hasilnya akan digunakan untuk menentukan konsentrasi uji atau uji utama.

3.6.1 Penetasan *Artemia salina*

Penetasan telur *Artemia salina* dilakukan dalam botol berukuran 1 liter dan bagian bawah botol di potong. Kemudian pada bagian yang dipotong digunakan untuk penempatan aerasi. Selanjutnya masukkan air laut dengan kondisi air sesuai habitat asli *Artemia s.* yaitu di laut (bersalinitas ± 32 ppt). Setelah itu, masukkan 1 sendok bibit/kista dari *Artemia salina* dan nyalakan aerasi untuk menyuplai oksigen pada botol dan diberikan pencahayaan lampu yang cukup. Kemudian telur akan menetas kira-kira setelah 24 jam menjadi larva atau fase naupili. Larva yang berumur 24 jam dapat digunakan untuk uji toksisitas (McLaughlin, 1991). Karena *Artemia* yang telah berumur 24 jam sudah memiliki bagian tubuh yang lengkap sempurna dan sudah dewasa, sudah berkembang biak, serta memiliki sensitivitas yang cukup tinggi terhadap lingkungan (Kanwar, 2007).

3.6.2 Pembersihan wadah uji

Menurut Riayah *et al* (2016) pembersihan wadah uji dilakukan dengan mencuci wadah uji menggunakan sabun cuci yang kemudian dibilas sebanyak lima kali dengan air tawar. Setelah itu, wadah uji dibilas dengan Alkohol 70% (untuk menghindari atau meminimalisasi adanya kontaminasi logam yang ada pada setiap peralatan yang akan digunakan) dan dibilas lagi dengan air tawar sebanyak lima kali. Pembilasan sebanyak lima kali ini dimaksudkan agar pembersihan wadah uji secara maksimal pada kotoran yang menempel. Selanjutnya wadah uji dibilas dengan menggunakan air aquades secukupnya dan dikeringkan dengan menggunakan *tissue*.

3.6.3 Pembuatan Larutan Stok

Pada penelitian ini bahan uji yang digunakan adalah HgI_2 . Larutan stok yang digunakan adalah dengan konsentrasi 1000 ppm. Sebelum pembuatan larutan stok, dilakukan perhitungan kebutuhan bahan uji yang digunakan. Berikut langkah pembuatan bahan uji:

- Menghitung kebutuhan bahan uji untuk membuat larutan stok 1000 ppm pada 1000 ml aquades. Menurut Mulyono (2007) perhitungan bahan uji Logam berat:

Bahan uji yang digunakan HgI_2 bubuk

Berat Molekul (BM) $HgI_2 = 454,40$

Berat Atom (BA) Hg = 200,59

Kadar % Hg dalam $HgI_2 = BA \text{ Hg} / BM \text{ HgI}_2 \times 100\%$

$= 200,59 / 454,40 \times 100\%$

$= 44\% = 0,4415$

1 gram Hg = $1 / 0,4415 = 2,265$ gram HgI₂. Maka, 2,265 gr HgI₂ dicampurkan dengan air aquades hingga mencapai volume 1000 ml sehingga diperoleh konsentrasi 1000 ppm Hg.

Larutan stok yang dibutuhkan tersebut bergantung pada berapa ppm konsentrasi uji yang digunakan untuk 3 kali pengulangan. Setelah itu dilakukan pengenceran larutan stok menggunakan rumus Koesoemadinata (2003);

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

Dimana; V_1 = Volume yang diinginkan

V_2 = Volume yang digunakan

N_1 = Konsentrasi awal

N_2 = Konsentrasi yang diinginkan

3.6.4 *Range Finding Test*

Pada *range finding test* atau penentuan konsentrasi ambang batas atas dan ambang batas bawah ini digunakan untuk menentukan konsentrasi uji utama. Konsentrasi ambang batas atas (LC₁₀₀-24 jam) adalah konsentrasi terendah dimana semua hewan uji mati dalam jangka waktu 24 jam. Sedangkan ambang batas bawah (LC₀-48 jam) adalah konsentrasi tertinggi dimana semua hewan uji masih hidup dalam waktu 48 jam. Penentuan konsentrasi menggunakan deret geometri (0,001 ppm, 0,01 ppm, 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm) (USEPA, 2002). Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan kadar terendah sampai kadar tertinggi uji toksisitas *Artemia salina*. Hasilnya dalam bentuk pengamatan dan pengambilan data mortalitas terhadap hewan uji, menurut Yudiati (2009) kematian hewan uji ditandai dengan tidak adanya pergerakan hewan terhadap sentuhan atau rangsangan. Untuk memastikan biota telah mati dapat dilakukan dengan memberikan sentuhan lembut, jika tidak terdapat respon maka biota dianggap mati.

3.6.5 Penentuan Konsentrasi Uji

Pada penentuan konsentrasi uji ini bertujuan untuk menentukan LC_{50} (konsentrasi yang dapat menyebabkan kematian sebesar 50% pada populasi hewan uji). Penentuan konsentrasi uji didapatkan setelah mengetahui konsentrasi ambang batas atas dan ambang batas bawah dari *range finding test*. Kemudian hasil konsentrasi ambang batas atas dan bawah akan digunakan untuk pengujian definitif/utama. Menurut Finney (1971) penentuan konsentrasi uji definitif LC_{50} menggunakan rumus;

$$\text{Log } \frac{N}{n} = K \log \frac{a}{n}$$

Dimana;

N= Konsentrasi ambang batas atas

n= Konsentrasi ambang batas bawah

K= Jumlah konsentrasi uji

a=Konsentrasi uji terkecil

b,c,d,e,f = konsentrasi uji yang dicari

$$\frac{a}{n} = \frac{b}{a} = \frac{c}{b} = \frac{d}{c} = \frac{e}{d} = \frac{f}{e}$$

Pengamatan dilakukan selama 48 jam untuk mengetahui LC_{50} 24 jam, LC_{50} 48 jam (bertujuan untuk melihat efek akut pemaparan logam Hg dalam jangka waktu tertentu). Hubungan nilai logaritma konsentrasi uji dengan prosentase mortalitas (dalam probit analisis), merupakan fungsi linear: $Y = a + bX$. Nilai LC_{50} 48 jam diperoleh dari nilai anti log m. Nilai m merupakan nilai X pada saat kematian sebesar 50%, sehingga fungsi linearnya adalah $5 = a + bX$ (Hubert, 1979).

3.8 Analisis Data

Pada penelitian ini, tingkat toksikan terhadap *Artemia salina* dapat diketahui dengan melakukan uji LC₅₀ menggunakan analisis probit pada program *MS. Excel* dengan tingkat kepercayaan 95% (Anista *et al.*, 2016). Setelah didapatkan persentase LC₅₀ dari hasil uji definitif akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus uji mortalitas dan diketahui hasil konsentrasi Hg yang mampu membunuh 50% populasi hewan uji. Nilai LC₅₀ (*Lethal Concentration-50*) suatu toksikan mempunyai hubungan yang berbanding terbalik dengan tingkat toksisitasnya, artinya semakin besar nilai LC₅₀ maka tingkat toksisitas semakin kecil. Sedangkan semakin kecil nilai LC₅₀ maka tingkat toksisitas semakin besar (Rossiana, 2006). Penelitian ini menggunakan model Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor yaitu pH dan konsentrasi Hg. Selanjutnya, data hubungan antara kedua faktor dianalisis dengan menggunakan metode two-way ANOVA dalam perangkat lunak SPSS 16.0 (IBM Corp., Amonk, NY, USA) (Fay and Gerow, 2013). Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh pH dan konsentrasi logam berat terhadap biota uji.

3.8 Pengamatan Morfologi

Pengamatan morfologi *Artemia salina* terlebih dahulu dilakukan pembuatan preparat yang bertujuan untuk mengetahui pemaparan Hg terhadap *Artemia salina* yang dilakukan dalam waktu 48 jam. Setelah itu sampel diambil dengan menggunakan pipet tetes. Lalu ditetaskan ke permukaan *object glass* secara perlahan dan ditutup menggunakan *cover glass* dengan sudut kemiringan 40° agar memperkecil kemungkinan gelembung. Jika terdapat gelembung dalam pembuatan preparat sebaiknya di ulangi agar pengamatan dibawah mikroskop menjadi lebih mudah (Hidayat, 2017). Kemudian diletakkan diatas meja mikroskop dan atur cahaya mikroskop. Setelah itu gunakan perbesaran 10x atau 40x dan amati perubahan bagian tubuh yang telah mengalami kerusakan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Range Finding Test

Pada uji pendahuluan ini peneliti menggunakan 5 konsentrasi (0,001 ppm, 0,01 ppm, 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm dan 0 ppm untuk kontrol) dengan masing-masing dilakukan 3 kali pengulangan. Tujuan pada uji pendahuluan ini dilakukan sesuai dengan standar petunjuk APHA (1999) yaitu untuk mendapatkan kadar terendah sampai kadar tertinggi uji toksisitas *Artemia salina*. Uji pendahuluan dilakukan selama 2x24 jam dengan melakukan pengamatan setiap 12 jam. *Artemia* yang digunakan dalam uji pendahuluan ini sebanyak 10 ekor untuk memudahkan mengetahui 50% kematian. Hasil uji pendahuluan berdasarkan masing-masing konsentrasi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil uji pendahuluan didapatkan hasil ambang batas atas sebesar 0,1 dan ambang batas bawah sebesar 0,001

Konsentrasi Logam Berat (ppm)	Ulangan	Jumlah individu pada Waktu ke-				Total Kematian
		12	24	36	48	
0,001	1	0	0	0	0	0
0,001	2	0	0	0	0	0
0,001	3	0	0	0	0	0
0,01	1	2	1	0	3	6
0,01	2	1	3	0	4	8
0,01	3	0	2	3	0	5
0,1	1	3	4	3	0	10
0,1	2	7	3	0	0	10
0,1	3	4	6	0	0	10
1	1	10				10
1	2	10				10
1	3	10				10
10	1	10				10
10	2	10				10
10	3	10				10
Kontrol	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0

Keterangan : ■ Ambang Batas Bawah ■ Ambang Batas Atas

Hasil uji pendahuluan menunjukkan bahwa pada konsentrasi 0,001 ppm tidak menyebabkan kematian *Artemia* pada waktu 2x24 jam. Sedangkan pada konsentrasi 0,1 ppm telah menyebabkan kematian *Artemia* pada waktu 24 jam. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui konsentrasi ambang batas atas dan ambang batas bawah. Dimana ambang batas atas adalah konsentrasi terendah dimana semua hewan uji mati dalam jangka waktu 24 jam. Sedangkan ambang batas bawah adalah konsentrasi tertinggi dimana semua hewan uji masih hidup dalam waktu 48 jam. Sehingga dapat ditentukan nilai ambang batas atas adalah 0,1 ppm dan ambang batas bawah adalah 0,001 ppm. Dari hasil nilai ambang batas atas dan bawah tersebut kemudian digunakan untuk membuat serial konsentrasi yang baru yang rentangnya telah diperkecil untuk menentukan LC₅₀ secara lebih spesifik (Aprillia dan Rachmatiah, 2013).

4.2 Uji Toksisitas Akut Logam Berat Hg

Berdasarkan hasil uji pendahuluan yang telah dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai ambang batas atas dan ambang batas bawah, selanjutnya dimasukkan dengan menggunakan rumus Finney (1971) untuk penentuan konsentrasi uji definitif atau konsentrasi yang lebih spesifik. Uji definitif ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi yang akan diuji pada uji toksisitas akut logam berat Hg. Perhitungan rumus tersebut dapat dilihat pada **Lampiran.1**. Hasil perhitungan uji definitif telah didapatkan lima serial konsentrasi yaitu 0,0025 ppm, 0,0063 ppm, 0,0158 ppm, 0,0397 ppm, 0,0997 ppm. Uji definitif pada penelitian ini dilakukan selama 2x24 jam dan dilakukan pengamatan setiap 12 jam. *Artemia* yang digunakan dalam uji definitif ini sebanyak 20 ekor yang bertujuan untuk hasil data yang lebih spesifik dan jumlah yang genap dapat memudahkan mengetahui kematian 50% *Artemia* (Anista *et. al*, 2016).

4.3 Hasil Uji Toksisitas Akut pada pH yang berbeda

Hasil uji toksisitas akut atau nilai LC_{50} pada logam berat Hg yang selanjutnya dihitung dan dianalisis menggunakan analisis probit yang dapat menunjukkan hubungan antara konsentrasi dan jumlah kematian menjadi nilai LC_{50} . Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada masing-masing Gambar dan Tabel dalam perlakuan pH 9, 8,7, 7 dan 6 maupun pada pH air laut (8,4).

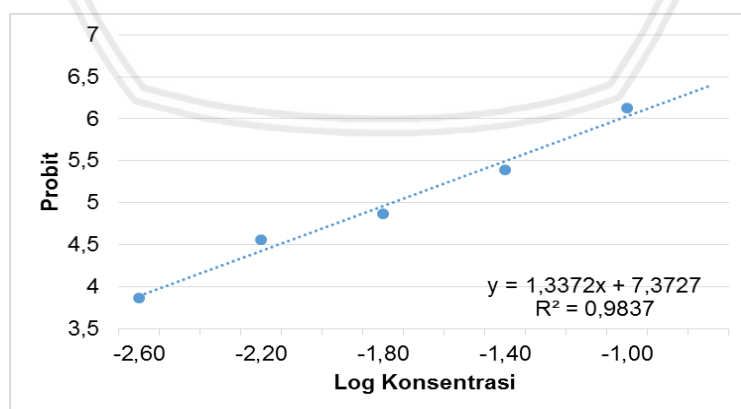
4.3.1 Hasil Uji Toksisitas (LC_{50}) Logam Berat Hg pada pH 9

Hasil uji toksisitas logam berat Hg terhadap *Artemia salina* pada pH 9 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi maka semakin tinggi mortalitas yang terjadi. Hasil tersebut dapat di lihat pada Tabel 8. dan Gambar 5.

Tabel 8. Log Konsentrasi dan Probit pada pH 9 dengan nilai probit % mortalitas tertinggi sebesar 6,13 dan terendah 3,87

Log Konsentrasi (X) ^{a)}	Probit % Mortalitas (Y)
-2,60	3,87
-2,20	4,56
-1,80	4,87
-1,40	5,39
-1,00	6,13

Keterangan: ^{a)} Log Konsentrasi (X) (Log 0,0025 ppm = -2,60). ^{b)} Probit %Mortalitas dilihat dari % mortalitas (Lampiran 4 – 8) lalu ke tabel probit (Lampiran 9).



Gambar 5. Grafik hubungan log konsentrasi dan nilai probit pada pH 9 sebesar 98,37%

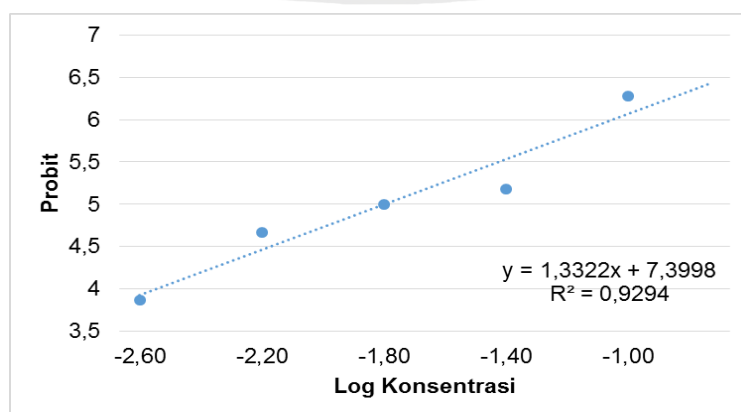
Persamaan regresi hubungan antara log konsentrasi dan probit pada pH 9 terhadap mortalitas *Artemia salina* dapat dilihat pada Gambar 5. menunjukkan, $y=1,3372x+7,3727$. Persamaan regresi tersebut dapat menggambarkan keakuratan hubungan kedua variabel sebesar 98,37%. Jika fungsi linear didapatkan $5=1,3372x+7,3727$; maka nilai LC_{50} yaitu antilog dari $-1,7686 = 0,017$ ppm. Sebesar 95% selang kepercayaan konsentrasi Hg yang dapat membunuh 50% *Artemia salina* yaitu 0,017 ppm. Konsentrasi 0,017 ppm menunjukkan bahwa logam berat Hg terhadap *Artemia salina* dapat dimasukkan kedalam kategori sangat toksik.

4.3.2 Hasil Uji Toksisitas (LC_{50}) Logam Berat Hg pada pH 8,7

Hasil uji toksisitas logam berat Hg terhadap *Artemia salina* pada pH 8,7 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi maka semakin tinggi mortalitas yang terjadi. Hasil tersebut dapat di lihat pada Tabel 9. dan Gambar 6.

Tabel 9. Log Konsentrasi dan Probit Hg pada pH 8,7 dengan nilai probit % mortalitas tertinggi sebesar 6,28 dan terendah 3,87

Log Konsentrasi (X)	Probit % Mortalitas (Y)
-2,60	3,87
-2,20	4,67
-1,80	5
-1,40	5,18
-1,00	6,28



Gambar 6. Grafik hubungan log konsentrasi dan nilai probit pada pH 8,7 sebesar 92,94%



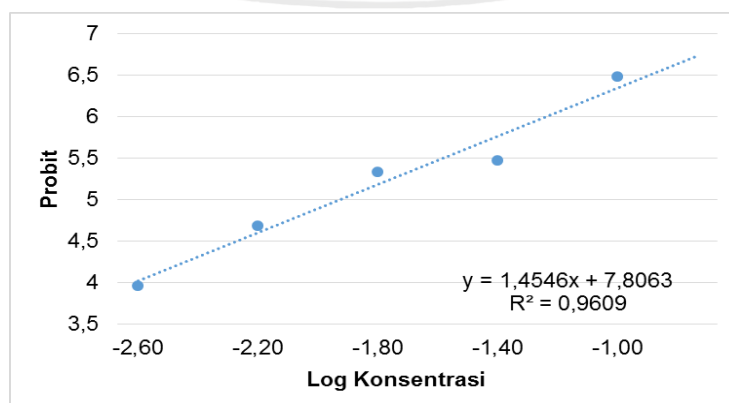
Persamaan regresi hubungan antara log konsentrasi dan probit pada pH 8,7 terhadap mortalitas *Artemia salina* dapat dilihat pada Gambar 6. Menunjukkan $y=1,3322x+7,3998$. Persamaan regresi tersebut dapat menggambarkan keakuratan hubungan kedua variabel sebesar 92,94%. Jika fungsi linear didapatkan $5=1,3322x+7,3998$; maka nilai LC_{50} yaitu antilog dari $-1,8045 = 0,015$ ppm. Sebesar 95% selang kepercayaan konsentrasi Hg yang dapat membunuh 50% *Artemia salina* yaitu 0,015 ppm. Konsentrasi 0,015 ppm menunjukkan bahwa logam berat Hg terhadap *Artemia salina* dapat dimasukkan kedalam kategori sangat toksik.

4.3.3 Hasil Uji Toksisitas (LC_{50}) Logam Berat Hg pada pH air Laut

Hasil uji toksisitas logam berat Hg terhadap *Artemia salina* pada pH 8,4 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi maka semakin tinggi mortalitas yang terjadi. Hasil tersebut dapat di lihat pada Tabel 10. dan Gambar 7.

Tabel 10. Log Konsentrasi dan Probit Hg pada pH air laut dengan nilai probit % mortalitas tertinggi sebesar 6,48 dan terendah 3,96

Log Konsentrasi (X)	Probit % Mortalitas (Y)
-2,60	3,96
-2,20	4,69
-1,80	5,33
-1,40	5,47
-1,00	6,48



Gambar 7. Grafik hubungan log konsentrasi dan nilai probit pada pH 8,7 sebesar 96,09%



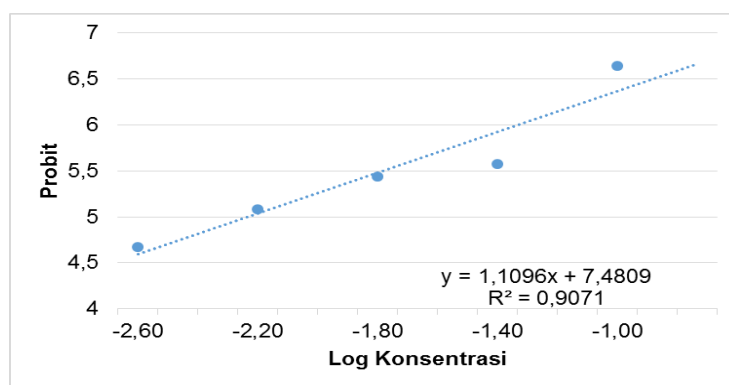
Persamaan regresi hubungan antara log konsentrasi dan probit pada pH air laut terhadap mortalitas *Artemia salina* dapat dilihat pada Gambar 7. menunjukkan, $y=1,4546x+7,8063$. Persamaan regresi tersebut dapat menggambarkan keakuratan hubungan kedua variabel sebesar 96,09%. Jika fungsi linear didapatkan $5 = 1,4546x+7,8063$; maka nilai LC_{50} yaitu antilog dari $-1,9379 = 0,011$ ppm. Sebesar 95% selang kepercayaan konsentrasi Hg yang dapat membunuh 50% *Artemia salina* yaitu 0,011 ppm. Konsentrasi 0,011 ppm menunjukkan bahwa logam berat Hg terhadap *Artemia salina* dapat dimasukkan kedalam kategori sangat toksik.

4.3.4 Hasil Uji Toksisitas (LC_{50}) Logam Berat Hg pada pH 7

Hasil uji toksisitas logam berat Hg terhadap *Artemia salina* pada pH 7 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi maka semakin tinggi mortalitas yang terjadi. Hasil tersebut dapat di lihat pada Tabel 11. dan Gambar 8.

Tabel 11. Log Konsentrasi dan Probit pH 7 dengan nilai probit % mortalitas tertinggi 6,64 dan terendah 4,67

Log Konsentrasi (X)	Probit % Mortalitas (Y)
-2,60	4,67
-2,20	5,08
-1,80	5,44
-1,40	5,58
-1,00	6,64



Gambar 8. Grafik Hubungan Log Konsentrasi terhadap Nilai Probit pada pH 7 sebesar 90,71%



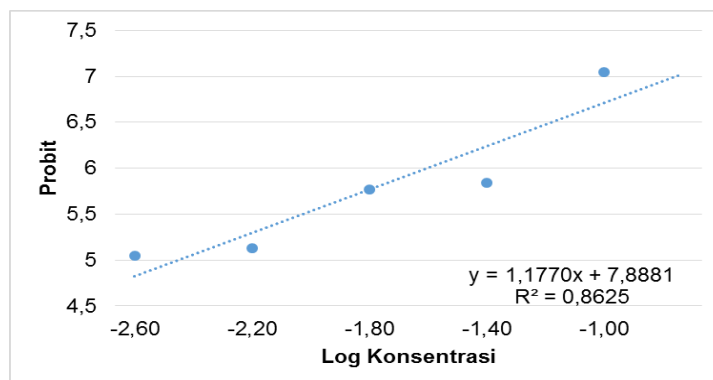
Persamaan regresi hubungan antara log konsentrasi dan probit pada pH 7 terhadap mortalitas *Artemia salina* dapat dilihat pada Gambar 8. Menunjukkan, $y=1,1096x+7,4809$. Persamaan regresi tersebut dapat menggambarkan keakuratan hubungan kedua variabel sebesar 90,71%. Jika fungsi linear didapatkan $5=1,1096x+7,4809$; maka nilai LC_{50} yaitu antilog dari $-2,2342 = 0,006$ ppm. Sebesar 95% selang kepercayaan konsentrasi Hg yang dapat membunuh 50% *Artemia salina* yaitu 0,006 ppm. Konsentrasi 0,006 ppm menunjukkan bahwa logam berat Hg terhadap *Artemia salina* dapat dimasukkan kedalam kategori sangat toksik.

4.3.5 Hasil Uji Toksisitas (LC_{50}) Logam Berat Hg pada pH 6

Hasil uji toksisitas logam berat Hg terhadap *Artemia salina* pada pH 6 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi maka semakin tinggi mortalitas yang terjadi. Hasil tersebut dapat di lihat pada Tabel 12. dan Gambar 9.

Tabel 12. Log Konsentrasi dan Probit pH 6 dengan nilai probit % mortalitas dengan nilai probit % mortalitas tertinggi sebesar 7,05 dan terendah 5,05

Log Konsentrasi (X)	Probit % Mortalitas (Y)
-2,60	5,05
-2,20	5,13
-1,80	5,77
-1,40	5,84
-1,00	7,05



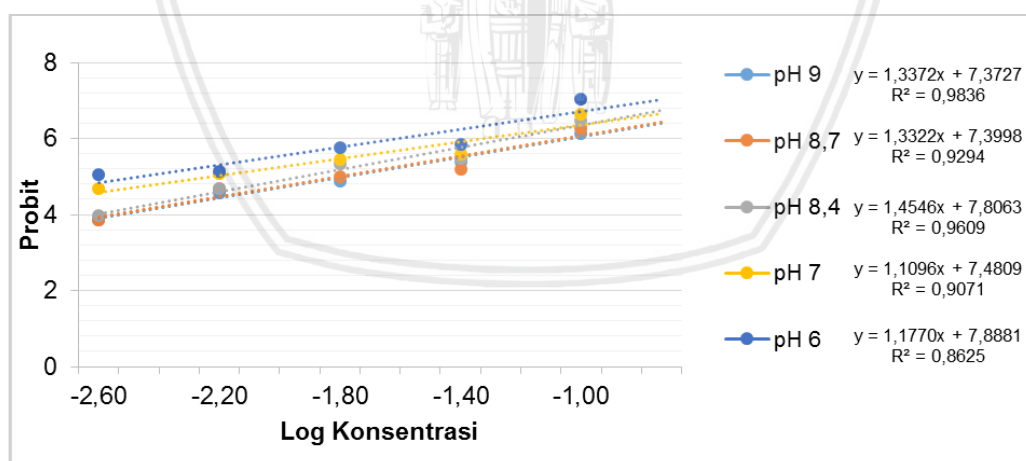
Gambar 9. Grafik Hubungan Log Konsentrasi terhadap Nilai Probit sebesar 86,25%



Persamaan regresi hubungan antara log konsentrasi dan probit pada pH 6 terhadap mortalitas *Artemia salina* dapat dilihat pada Gambar 9. menunjukkan. $y=1,1770x+7,8881$. Persamaan regresi tersebut dapat menggambarkan keakuratan hubungan kedua variabel sebesar 86,25%. Jika fungsi linear didapatkan $5=1,1770x+7,8881$; maka nilai LC_{50} yaitu antilog dari $-1,2449 = 0,004$ ppm. Sebesar 95% selang kepercayaan konsentrasi Hg yang dapat membunuh 50% *Artemia salina* yaitu 0,004 ppm. Konsentrasi 0,004 ppm menunjukkan bahwa logam berat Hg terhadap *Artemia salina* dapat dimasukkan kedalam kategori sangat toksik.

4.3.6 Perbandingan Hasil Uji Toksisitas pada pH yang berbeda

Perbandingan hasil uji toksisitas akut atau nilai LC_{50} pada logam berat Hg dengan pH 9, 8,7, 8,4 (pH air laut), 7 dan 6 menunjukkan hasil yang berbeda. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada pada Gambar 10. dan nilai LC_{50} pada Tabel 13.



Gambar 10. Perbandingan uji toksisitas *Artemia salina* terhadap pemaparan Hg pada pH 9, 8,7, 8,4, 7 dan 6

Tabel 13. Hasil nilai LC₅₀ dari pH 9, 8,7, 8,4, 7 dan 6 masing-masing sebesar 0,017 ppm, 0,015 ppm, 0,011 ppm, 0,006 ppm dan 0,004 ppm

pH	Nilai LC ₅₀ (ppm) ^{a)}
9	0,017
8,7	0,015
8,4	0,011
7	0,006
6	0,004

Keterangan: ^{a)} Konsentrasi dalam *parts per million* (1 ppm = 10⁻⁶ kg/L = 1 mg/L).

Berdasarkan hasil LC₅₀ uji toksisitas logam berat Hg pada pH yang berbeda terhadap *Artemia*, menunjukkan bahwa konsentrasi yang dapat menyebabkan 50% kematian pada *Artemia* pada pH 9 adalah 0,017 ppm. pH 8,7 adalah 0,015 ppm, pH air laut (pH 8,4) adalah 0,011 ppm, pH 7 adalah 0,006 ppm dan pH 6 adalah 0,004 ppm. Tingkat toksisitas logam berat Hg tersebut termasuk dalam kategori sangat toksik (pH 6 > pH 7 > pH air laut > pH 8,7 > pH 9). Hal ini sejalan dengan uji toksisitas akut logam berat Hg pada penelitian Gerbhardt (1976) bahwa rentang konsentrasi Hg sebesar 0,001-0,003-0,05 mg/l dan pada penelitian Sarabia *et al.*, (1998) sebesar 0,007 mg/l. Keberadaan logam berat berat juga mempengaruhi nilai pH dimana semakin rendah nilai pH maka semakin toksik tingkat konsentrasi logam beratnya. Lubis *et al.*, (2014) menyatakan bahwa nilai pH yang semakin menurun atau menjadi asam maka kelarutan logam berat pada air akan semakin besar sehingga dapat menyebabkan toksisitas yang semakin besar. Hal ini juga sejalan dengan Meng *et al.*, (2016) yang menyatakan bahwa pH 6 meningkatkan konsentrasi ketoksikan logam berat dengan peningkatan mortalitas yang terjadi. Semakin tinggi konsentrasi logam berat pada pH yang rendah, maka semakin tinggi tingkat mortalitas pada biota uji. Menurut standar baku mutu air laut dalam keputusan menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 untuk Biota Laut sebesar 0,001 ppm dan Air Laut sebesar 0,002 ppm. Penetapan

standar baku mutu air laut ini diperlukan karena jika organisme yang paling sensitif sudah aman, maka organisme yang lain akan aman.

4.5 Analisis Parameter Kualitas Air

Hasil pengukuran parameter kualitas air pada semua perlakuan berada pada kondisi yang baik untuk uji toksisitas *Artemia salina*. Hasil monitoring (*Artemia salina*) terdapat pada Lampiran 2. Pengukuran kualitas air yang dilakukan selama penelitian meliputi DO, salinitas, pH dan suhu.

4.5.1 Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor yang penting dalam mengatur proses kehidupan dan penyebaran organisme khususnya di lingkungan perairan. Peningkatan suhu menyebabkan menyebabkan peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air yang selanjutnya mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen. Pada perairan yang tercemar oleh logam berat, maka sifat toksisitas dari logam berat terhadap biota air akan semakin meningkat seiring meningkatnya suhu (Effendi, 2003). Pada penelitian ini diperoleh suhu yang berkisar antara 26-27 °C yang masih berada pada kisaran yang optimum. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ramaadhon *et al.*, (2013) bahwa toleransi *Artemia* berkisar antara 26-30 °C dan suhu berada dalam kondisi yang optimal untuk mendukung kehidupan *Artemia salina*.

4.5.2 DO (Oksigen Terlarut)

Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) adalah total jumlah oksigen yang ada (terlarut) di air. DO dibutuhkan oleh semua makhluk hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Umumnya oksigen ditemukan pada lapisan permukaan karena oksigen dari udara di dekatnya dapat secara langsung larut berdifusi ke dalam air laut. Kebutuhan organisme terhadap oksigen terlarut relatif

bervariasi tergantung pada jenis, stadium dan aktifitasnya (Gemilang et al., 2017). Pada penelitian ini diperoleh nilai DO antara 6-5 mg/, hal ini sesuai dengan pernyataan Salmin (2005) yang menyatakan bahwa kandungan oksigen terlarut yang baik untuk mendukung kehidupan biota laut yaitu di atas 5 mg/l dan DO berada dalam kondisi yang optimal untuk mendukung kehidupan *Artemia salina*.

4.5.1 Salinitas

Salinitas adalah konsentrasi seluruh larutan garam yang diperoleh dalam air laut, dimana salinitas air berpengaruh terhadap tekanan osmotik air, semakin tinggi salinitas maka akan semakin besar pula tekanan osmotiknya (Gufran dan Baso, 2007 dalam Widiadmoko, 2013). Perbedaan salinitas perairan dapat terjadi karena adanya perbedaan penguapan dan presipitasi. Pada penelitian ini diperoleh nilai salinitas antara 30-33 ppt, hal ini sesuai dengan pernyataan Ramaadhon et al., (2013) bahwa salinitas *Artemia* berkisar antara 30-35 ppt dan salinitas berada dalam kondisi yang optimal untuk mendukung kehidupan *Artemia salina*.

4.5.1 pH

Derajat keasaman atau pH merupakan suatu indeks kadar ion hidrogen (H⁺) yang mencirikan keseimbangan asam dan basa. Derajat keasaman dijadikan sebagai salah satu petunjuk untuk menyatakan baik atau buruknya suatu perairan. Nilai pH juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi produktifitas perairan. Tinggi rendahnya pH dipengaruhi oleh fluktuasi kandungan O₂ maupun CO₂. Derajat keasaman (pH) perairan dipengaruhi oleh suhu, fotosintesa, respirasi, oksigen terlarut, dan keberadaan ion-ion dalam perairan tersebut (Effendi, 2003). Pada penelitian ini diperoleh nilai pH antara 8,3-5,6 hal ini tidak sesuai dengan pernyataan Situmorang (2007) yang menyatakan bahwa pH optimum untuk *Artemia salina* berkisar antara 7,5-8. Kadar pH dibawah 6 sudah berbahaya bagi kehidupan *Artemia salina* dan nilai pH berada dalam kondisi yang

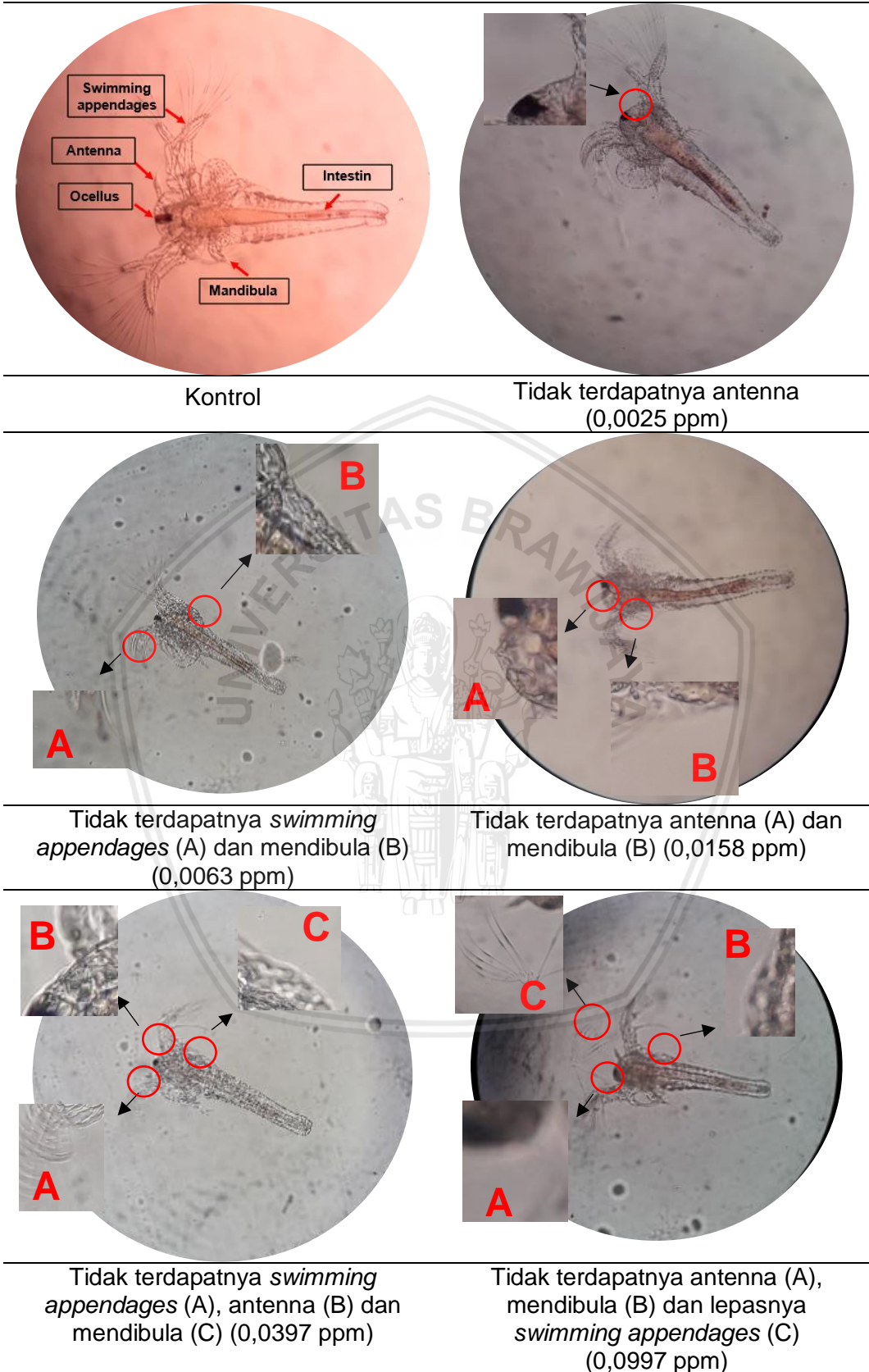
tidak mendukung untuk kehidupan *Artemia salina*. Hal ini dapat menyebabkan tingkat toksisitas logam berat Hg pada pH yang berbeda seperti pada pH 6 mengakibatkan kematian populasi *Artemia salina* yang cukup tinggi.

4.6 Hasil Pengamatan Morfologi *Artemia salina* terhadap Pemaparan Hg pada pH yang berbeda

Hasil pengamatan kerusakan morfologi pada tubuh biota uji yang dilakukan setelah 48 jam dengan membandingkan morfologi tubuh *Artemia* tanpa perlakuan (kontrol) dengan perlakuan bahan toksikan Hg. Pengamatan kerusakan morfologi pada anggota tubuh *Artemia salina* dilakukan pada setiap konsentrasi, dari konsentrasi 0,0025 ppm, 0,0063 ppm, 0,0158 ppm, 0,0397 ppm, 0,0997 ppm dan kontrol yang terdapat pada (Gambar 11 hingga Gambar 15).

4.6.1 Hasil pengamatan morfologi *Artemia salina* pada pH 9

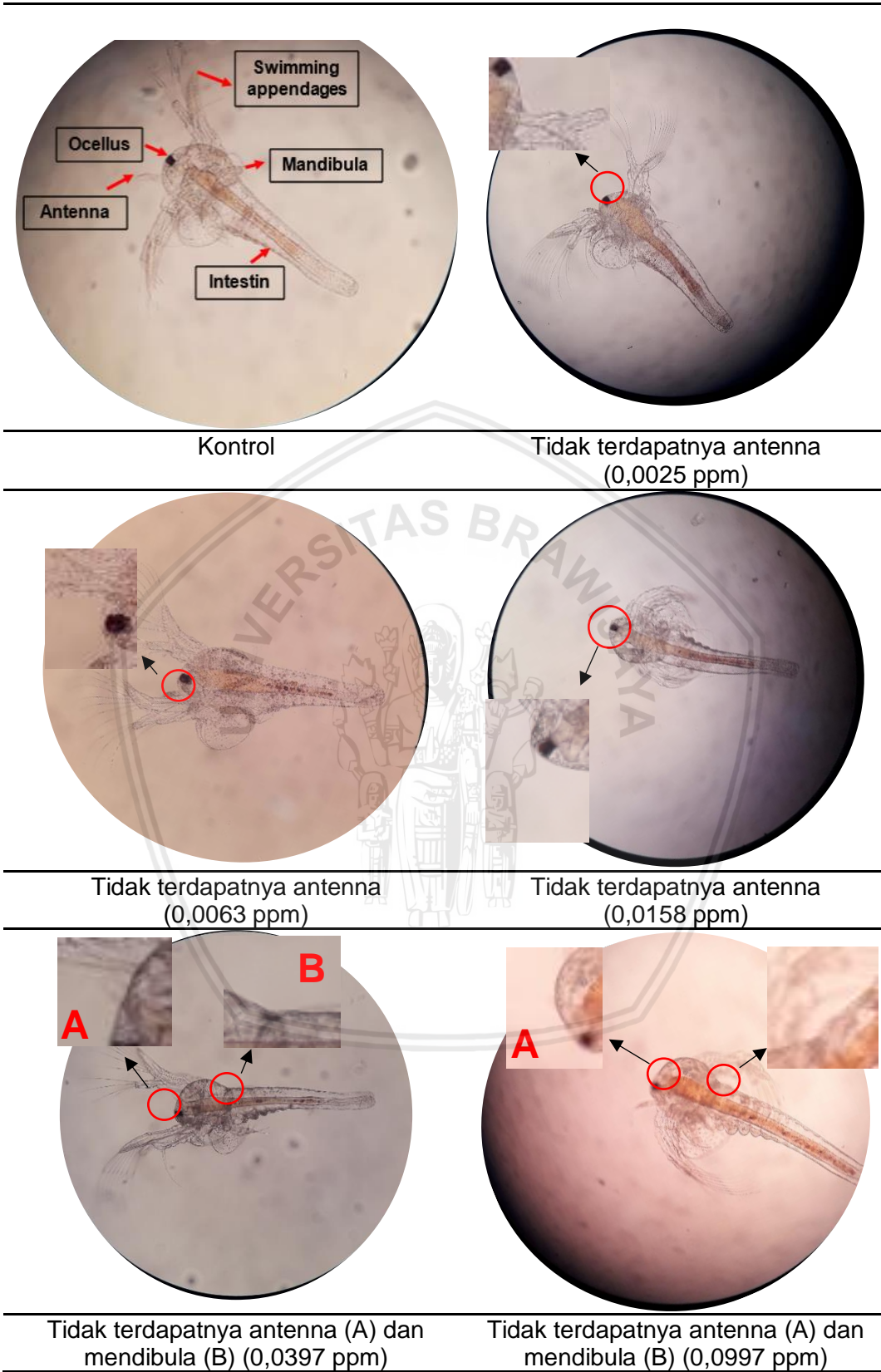
Pada pemaparan Hg dengan pH 9 dalam waktu 48 jam, biota uji *Artemia salina* mengalami kerusakan pada bagian luar tubuh. Biota uji yang mati akibat pemaparan selama 48 jam memperlihatkan bentuk kerusakan pada bagian tubuh *Artemia salina* khususnya bagian atas tubuh seperti antenna, *swimming appendages* dan mendibula (Gambar 11). Kerusakan tubuh *Artemia* sudah terjadi pada pemaparan konsentrasi Hg dengan pH 9 terendah adalah 0,0025 ppm. Berdasarkan kerusakan yang tervisualisasi dapat diketahui bahwa bahan toksikan Hg mulai memberikan dampak terhadap biota uji dari konsentrasi terendah hingga tertinggi dari semua konsentrasi uji utama. Hal tersebut sejalan dengan Shaala *et al.*, (2015) pada pemaparan Diuron menyebabkan kerusakan morfologi yang terjadi seperti di bagian dalam dan luar tubuh. Pada pH basa, kandungan oksigen terlarut akan bertambah akibatnya konsumsi oksigen meningkat dan nafsu makan akan menjadi berkurang.



Gambar 11. Kerusakan morfologi *Artemia salina* pada pH 9 dalam waktu 48 jam

4.6.2 Hasil pengamatan morfologi *Artemia salina* pada pH 8,7

Pada pemaparan Hg dengan pH 8,7 dalam waktu 48 jam, biota uji *Artemia salina* mengalami kerusakan pada bagian luar tubuh. Biota uji yang mati akibat pemaparan selama 48 jam dengan menggunakan mikroskop memperlihatkan bentuk kerusakan pada bagian tubuh *Artemia salina* khususnya bagian atas tubuh seperti antenna dan mendibula (Gambar 12). Kerusakan tubuh *Artemia* sudah terjadi pada pemaparan konsentrasi Hg telah memberikan dampak terhadap biota uji dari konsentrasi terendah hingga tertinggi dari semua konsentrasi uji utama. Hal ini sejalan dengan Barus (2004) bahwa kondisi perairan yang bersifat sangat asam maupun sangat basa akan mengganggu kelangsungan hidup organisme karena menyebabkan terjadinya gangguan proses metabolisme dan respirasi. Perubahan pH di atas netral akan meningkatkan konsentrasi amonia yang bersifat sangat toksik bagi organisme. Hal ini juga sejalan dengan Dani (2017) bahwa dampak kerusakan morfologi semakin besar dengan bertambahnya konsentrasi bahan toksikan seperti logam berat atau Hg. Kerusakan morfologi yang terjadi terhadap *Artemia salina* menunjukkan dampak kerusakan tubuh yang berbeda-beda pada tiap konsentrasi dari konsentrasi terendah 0,0025 ppm dan tertinggi 0,0997 ppm.

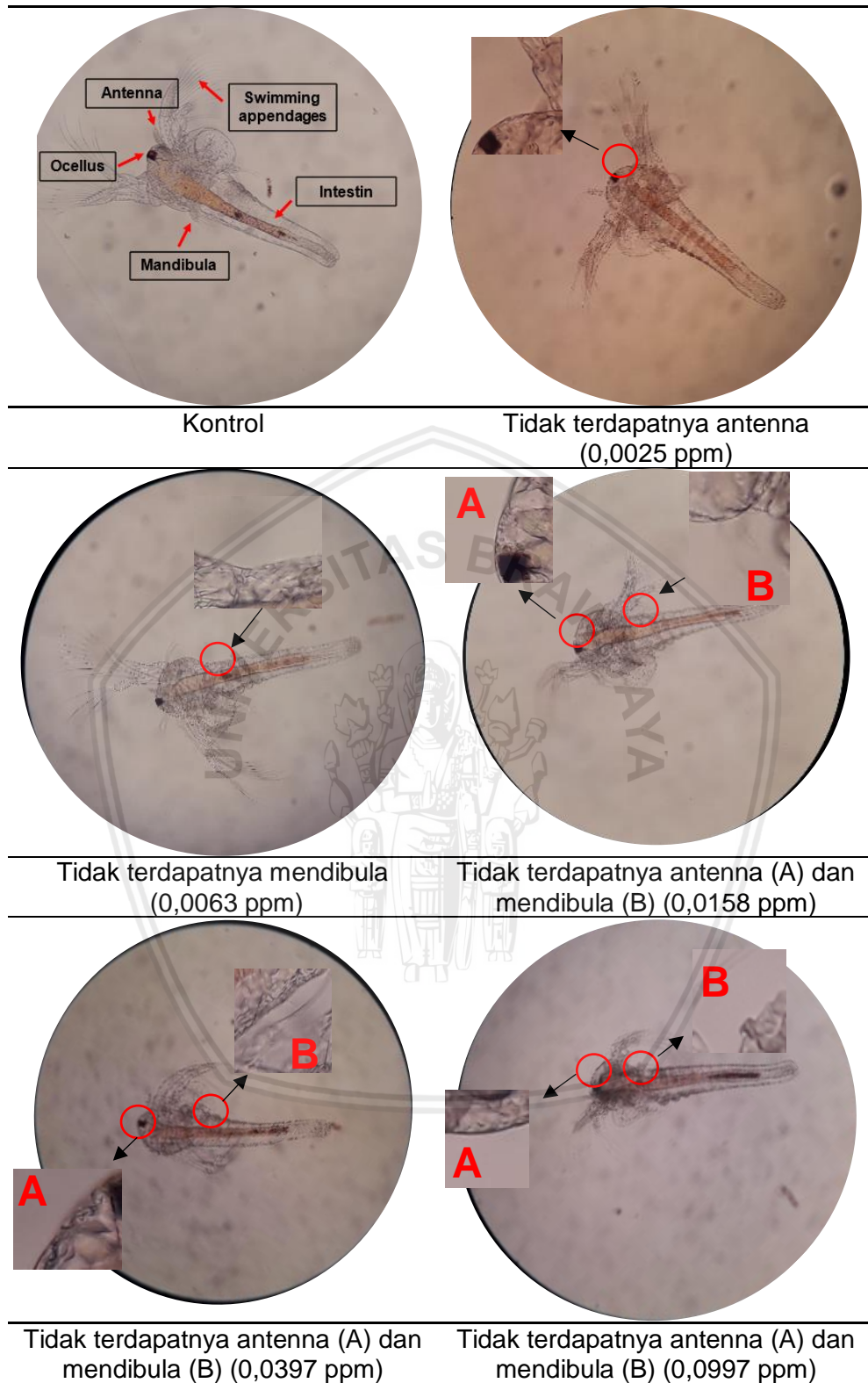


Gambar 12. Kerusakan morfologi *Artemia salina* pada pH 8,7 dalam waktu 48 jam

4.6.3 Hasil pengamatan morfologi *Artemia salina* pada pH air laut

Pada pemaparan Hg dalam waktu 48 jam, biota uji *Artemia salina* mengalami kerusakan pada bagian luar tubuh. Biota uji yang mati akibat pemaparan selama 48 jam memperlihatkan bentuk kerusakan pada bagian tubuh *Artemia salina* khususnya bagian atas tubuh seperti antenna dan mendibula (Gambar 13). Kerusakan tubuh *Artemia* sudah terjadi pada pemaparan konsentrasi Hg terendah adalah 0,0025 ppm sampai tertinggi yaitu 0,0997 ppm. Berdasarkan kerusakan yang tervisualisasi dapat diketahui bahwa bahan toksikan Hg mulai memberikan dampak terhadap biota uji dari konsentrasi terendah hingga tertinggi dari semua konsentrasi uji utama.

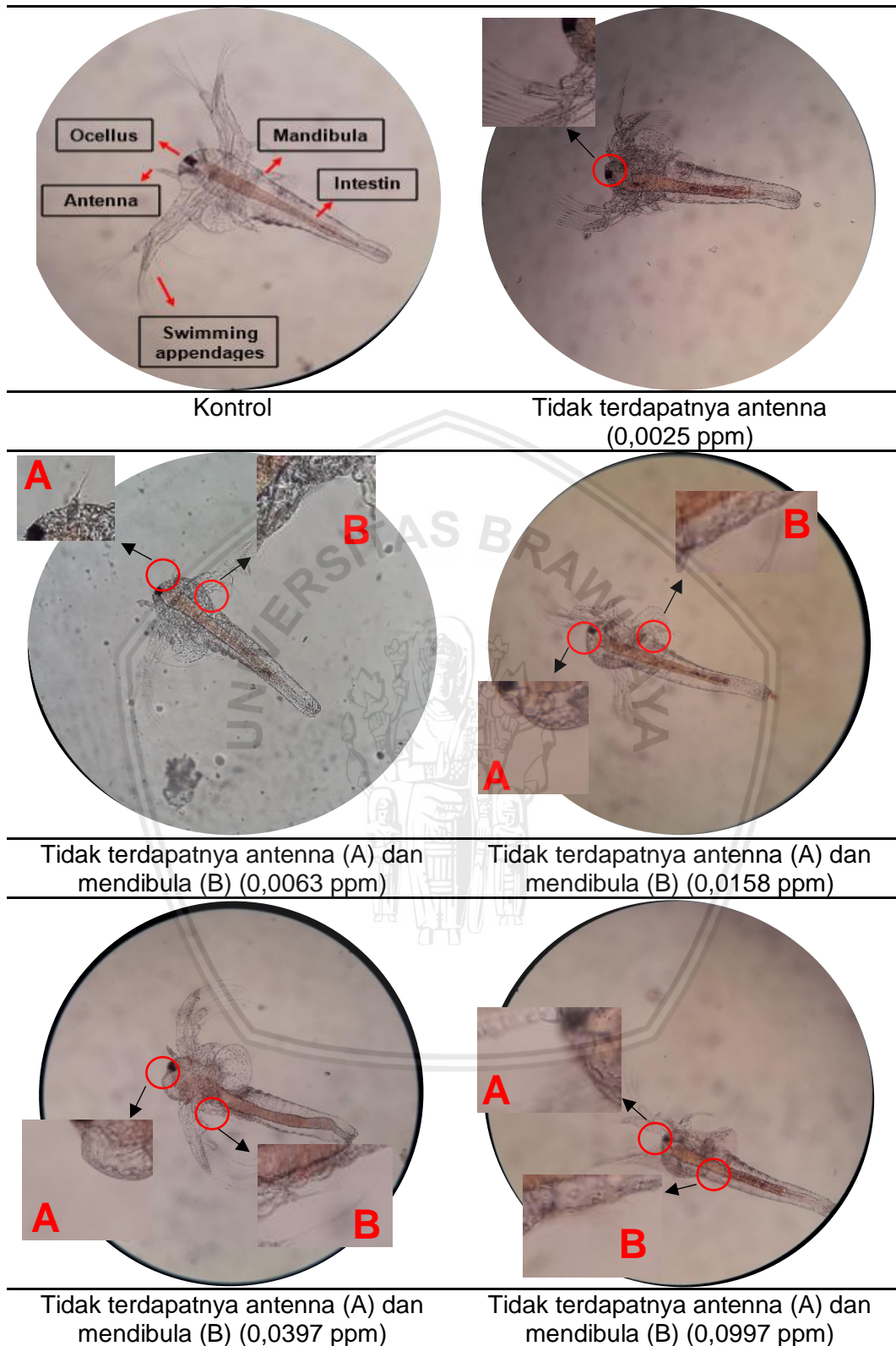
Kerusakan bagian dalam dan luar tubuh bahan toksikan Hg terhadap kematian *Artemia salina* yang memiliki kandungan logam berat juga dapat menyebabkan penghambatan pertumbuhan dan perkembangannya (Shaojie *et al.* 2012). Pada studi kasus penelitian dengan biota uji *Artemia* yang dipaparkan logam berat menyebabkan kerusakan morfologi. Bentuk kerusakan yang terjadi yaitu adanya bagian tubuh yang mengalami reduksi atau hilang (Lu, Jing *et al.*, 2018). Menurut Budiono (2003) merkuri memiliki kemampuan yang dapat terakumulasi dalam tubuh biota laut. Proses terjadinya akumulasi merkuri di dalam tubuh hewan air, karena kecepatan pengambilan merkuri (*up take rate*) oleh organisme air lebih cepat dibandingkan dengan proses ekskresi. Sehingga logam berat merkuri dapat membahayakan kehidupan biota yang bersangkutan ataupun biota lainnya.



Gambar 13. Kerusakan morfologi *Artemia salina* pada pH 8,4 dalam waktu 48 jam

4.6.4 Hasil pengamatan morfologi *Artemia salina* pada pH 7

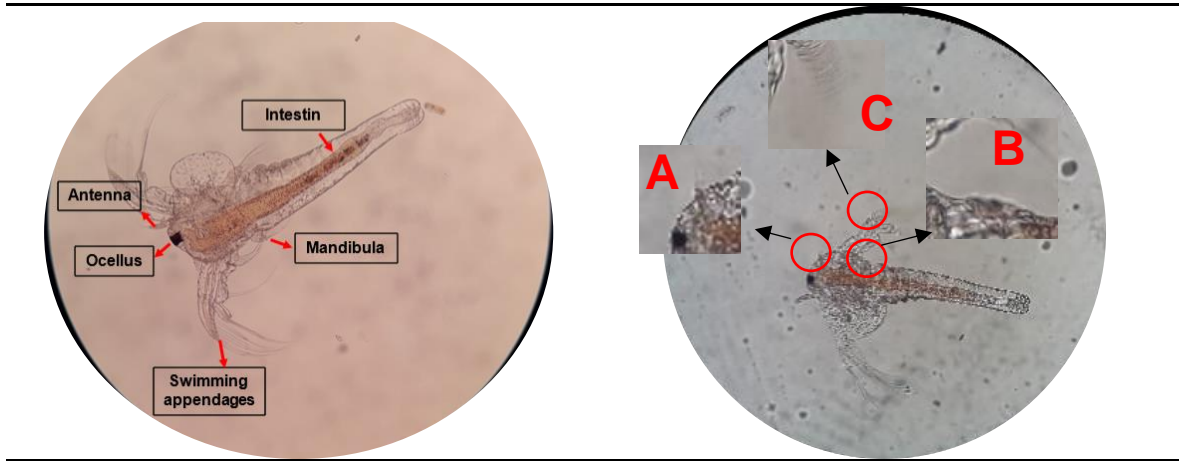
Pada pemaparan Hg pada pH 7 dalam waktu 48 jam, biota uji *Artemia salina* mengalami kerusakan pada bagian luar tubuh. Biota uji yang mati akibat pemaparan selama 48 jam memperlihatkan bentuk kerusakan pada bagian tubuh *Artemia salina* khususnya bagian atas tubuh seperti antenna dan mendibula (Gambar 14). Kerusakan tubuh *Artemia* sudah terjadi pada pemaparan konsentrasi Hg terendah adalah 0,0025 ppm. Berdasarkan kerusakan yang tervisualisasi dapat diketahui bahwa bahan toksikan Hg memberikan dampak terhadap biota uji dari konsentrasi terendah hingga tertinggi dari semua konsentrasi uji utama. Hal ini sejalan dengan Hamuna *et al.*, (2018) bahwa nilai pH yang ideal bagi kehidupan organisme air laut pada umumnya berkisar antara 7 sampai 8,4. Nilai pH 7 ini masih dapat ditolerir oleh kehidupan biota uji, akan tetapi perubahan nilai pH yang terjadi dapat mengakibatkan toksisitas bahan-bahan suatu senyawa dapat menjadi bersifat racun. Pada penelitian Meng *et al.*, (2016) perlakuan pH 7 dengan paparan toksikan Hg tetap memberikan dampak kerusakan morfologi yang terjadi. Hal ini dapat dikarenakan bahan toksikan seperti logam berat mudah menyerap dalam tubuh organisme sehingga dapat menyebabkan kerusakan morfologi hingga kematian pada biota uji yang cukup besar.



Gambar 14. Kerusakan morfologi *Artemia salina* pada pH 7 dalam waktu 48 jam

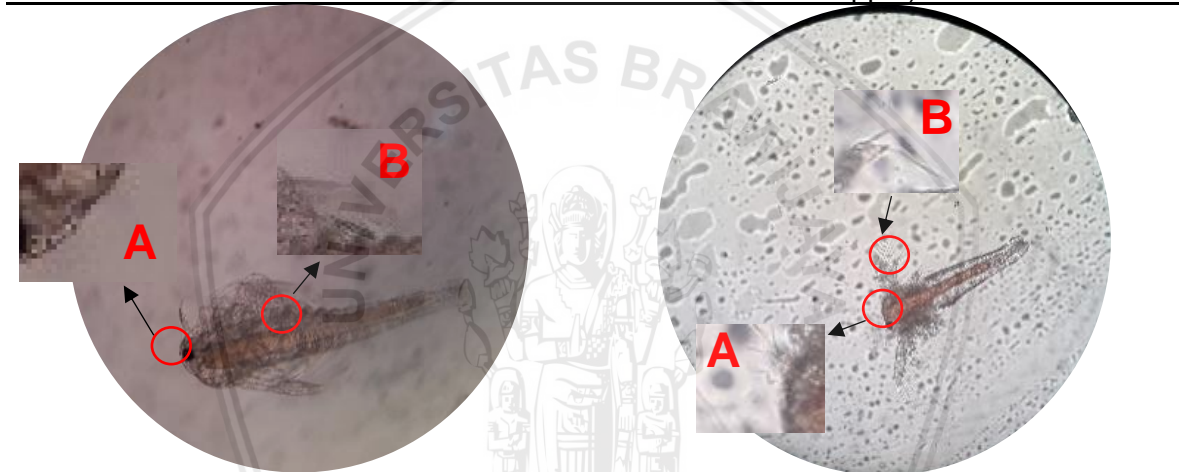
4.6.5 Hasil pengamatan morfologi *Artemia salina* pada pH 6

Pada pemaparan Hg dengan pH 6 dalam waktu 48 jam, biota uji *Artemia salina* mengalami kerusakan pada bagian luar tubuh. Biota uji yang mati akibat pemaparan selama 48 jam memperlihatkan bentuk kerusakan pada bagian tubuh *Artemia salina* khususnya bagian atas tubuh seperti antenna, *swimming appandages* dan mendibula serta bagian dalam tubuh (Gambar 15). Pada konsentrasi 0,0397 ppm dan 0,0997 ppm menyebabkan kerusakan total dalam dan luar tubuh biota uji. Kerusakan tubuh *Artemia* sudah terjadi pada pemaparan konsentrasi Hg dengan pH 6 terendah adalah 0,0025 ppm. Berdasarkan kerusakan yang tervisualisasi dapat diketahui bahwa bahan toksikan Hg mulai memberikan dampak terhadap biota uji dari konsentrasi terendah hingga tertinggi dari semua konsentrasi uji utama. Hal ini sejalan dengan Qu *et al.*, (2013) bahwa kerusakan morfologi biota uji semakin meningkat pada konsentrasi yang tinggi dengan pH 6 karena pada pH tersebut dapat mengakibatkan kematian yang disebabkan akibat terjadinya perubahan tingkat toksisitas. Pada pH asam, jika senyawa dilarutkan dalam air laut akan terjadi penambahan ion H⁺ dan mudah bereaksi dengan logam berat sehingga dapat terlarut dalam air laut. Pada pH asam, kandungan oksigen juga akan berkurang akibatnya konsumsi oksigen menurun dan nafsu makan akan bertambah. Kemudian bahan toksikan Hg akan masuk secara terus-menerus ke dalam tubuh biota sehingga dapat menyebabkan kerusakan tubuh dan kematian pada biota. Menurut Mukhtasor (2007) penurunan pH akan menyebabkan toksisitas logam berat menjadi semakin besar. Penurunan pH pada perairan laut, juga dapat menyebabkan tingkat bioakumulasi polutan pada organisme semakin besar.



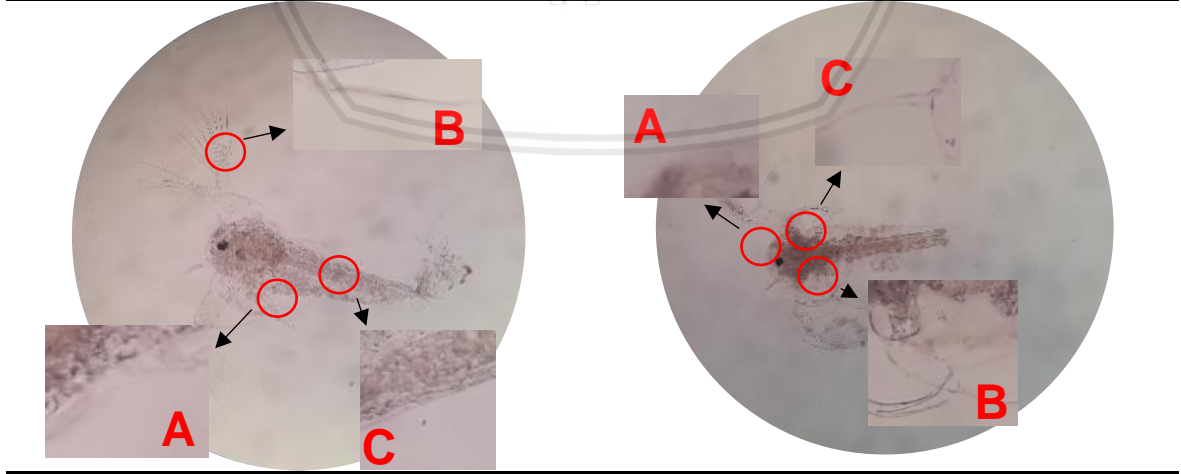
Kontrol

Tidak terdapat antenna (A), mandibula (B) dan *swimming appendages* (C) (0,0025 ppm)



Tidak terdapat antenna (A) dan mandibula (B) (0,0063 ppm)

Tidak terdapat antenna (A) dan *swimming appendages* (B) (0,0158 ppm)



Tidak terdapatnya mandibula (A), *swimming appendages* (B) dan hancurnya *intestin* (C) (0,0397 ppm)

Tidak terdapatnya antenna (A), mandibula (B) dan *swimming appendages* (C) (0,0997 ppm)

Gambar 15. Kerusakan morfologi *Artemia salina* pada pH 6 dalam waktu 48 jam

4.7 Hasil Keseluruhan Pengamatan Morfologi

Penelitian ini menunjukkan kerusakan morfologi yang berbeda dalam lima perlakuan pH yaitu 9, 8,7, 8,4 (pH air laut), 7 dan 6 dengan masing-masing konsentrasi 0,0025 ppm, 0,0063 ppm, 0,0158 ppm, 0,0397 ppm, dan 0,0997 ppm.

Tabel 14. Hasil Keseluruhan Kerusakan Morfologi *Artemia salina*

pH	Konsentrasi (ppm)	Kerusakan Morfologi yang terjadi	Kategori Kerusakan (Cukup Parah, Parah, Sangat Parah)
9	0,0025	Tidak terdapatnya antenna	Kerusakan morfologi yang terjadi pada pH 9 terkategori kerusakan yang parah dimasing-masing konsentrasi, hal ini sesuai dengan Shaala <i>et al.</i> , (2015)
	0,0063	Tidak terdapatnya <i>swimming appendages</i> dan mendibula	
	0,0158	Tidak terdapatnya antenna dan mendibula	
	0,0397	Tidak terdapatnya <i>swimming appendages</i> , antenna dan mendibula	
	0,0997	Tidak terdapatnya antenna, mendibula dan lepasnya <i>swimming appendages</i>	
8,7	0,0025	Tidak terdapatnya antenna	Termasuk kategori kerusakan yang cukup parah dimasing-masing konsentrasi, hal ini sesuai dengan Barus (2004)
	0,0063	Tidak terdapatnya antenna	
	0,0158	Tidak terdapatnya antenna	
	0,0397	Tidak terdapatnya antenna dan mendibula	
	0,0997	Tidak terdapatnya antenna dan mendibula	
8,4	0,0025	Tidak terdapatnya antenna	Termasuk kategori kerusakan yang cukup parah dimasing-masing konsentrasi, hal ini sesuai dengan Budiono (2003)
	0,0063	Tidak terdapatnya mendibula	
	0,0158	Tidak terdapatnya antenna dan mendibula	
	0,0397	Tidak terdapatnya antenna dan mendibula	
	0,0997	Tidak terdapatnya antenna dan mendibula	
7	0,0025	Tidak terdapatnya antenna	Termasuk kategori kerusakan yang cukup parah dimasing-masing konsentrasi, hal ini sesuai dengan Meng <i>et al.</i> , (2016)
	0,0063	Tidak terdapatnya antenna dan mendibula	
	0,0158	Tidak terdapatnya antenna dan mendibula	
	0,0397	Tidak terdapatnya antenna dan mendibula	
	0,0997	Tidak terdapatnya antenna dan mendibula	
6	0,0025	Tidak terdapatnya antenna, mendibula dan <i>swimming appendages</i>	Kerusakan yang terjadi terkategori kerusakan yang sangat parah dimasing-masing konsentrasi, hal ini sesuai dengan Qu <i>et al.</i> , (2013)
	0,0063	Tidak terdapatnya antenna dan mendibula	
	0,0158	Tidak terdapatnya antenna dan <i>swimming appendages</i>	
	0,0397	Tidak terdapatnya mendibula, <i>swimming appendages</i> dan hancurnya intestin	
	0,0997	Tidak terdapatnya antenna, mendibula dan <i>swimming appendages</i>	

4.8 Kerusakan tubuh *Artemia salina* terhadap pemaparan Hg pada pH yang berbeda

Masuknya bahan toksikan di dalam maupun di luar dapat menimbulkan kerusakan pada bagian tubuh makhluk hidup. Suatu senyawa kimia dapat dikatakan sebagai racun apabila ketika senyawa tersebut bereaksi dengan satu objek dapat menimbulkan efek yang merusak (Durham, 1975). Efek toksik yang dihasilkan memberikan indikasi terganggunya proses morfologi maupun fisiologis biota uji *Artemia* (Anderson *et al.*, 1991). Tubuh *Artemia salina* terdiri dari kepala, torax, dan perut (Dumitrascu, 2011). Tahapan kerusakan tubuh biota uji akibat pemaparan Hg, yaitu pada bagian kepala dan kerusakan total bentuk atau seluruh bagian dalam tubuh biota uji. Tahapan kerusakan tubuh ini menunjukkan bahwa kerusakan terjadi berdasarkan tingkat interaksi terendah hingga tertinggi antara organ tubuh biota uji dengan bahan toksik Hg. *Artemia* memiliki cara makan *non-selective filter feeder* yang menyebabkan *Artemia* rentan terhadap bahan pencemar yang masuk dalam badan perairan (Zhou and Ragenstein, 2005). Hal tersebut menyebabkan bagian kepala mengalami kerusakan terlebih dahulu.

Kerusakan tubuh biota uji berdasarkan lama pemaparan Hg pada pH yang berbeda menyebabkan kerusakan yang sangat terlihat pada pH 6. Kerusakan yang terjadi cenderung pada bagian kepala (antena, mendibula dan *swimming appendages*) terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan antenna banyak menyaring logam berat Hg. Antenna berfungsi sebagai menyaring makanan sehingga kondisi lingkungan yang terpapar Hg menyebabkan *Artemia* sangat intensif berinteraksi dalam menyaring logam berat (Wahyuni, 2016). Berdasarkan Gambar 14. pada konsentrasi 0,0397 ppm dan 0,0997 ppm kerusakan biota uji yang terpapar Hg dengan pH 6 dalam waktu 48 jam mengalami kerusakan pada saluran pencernaan. Hal ini diduga karena logam berat Hg yang masuk mulai bereaksi sangat toksik pada bagian dalam tubuh biota, khususnya saluran pencernaan. Hal

ini didukung dengan pernyataan Shaojie *et al.*, (2012) yang menyatakan bahwa *Artemia* dianggap sebagai organisme yang paling baik untuk uji toksisitas karena *Artemia* memiliki cara makan *non-selective filter feeder* yang membuat mereka rentan terhadap bahan pencemar yang masuk dalam badan perairan. Kerusakan biota uji yang terpapar Hg dengan pH 6 selama 48 jam mengalami kerusakan total pada bagian dalam tubuh hingga bentuk luar tubuh biota uji.

Kerusakan bentuk tubuh biota uji yang sudah mati terpapar Hg pada pH asli dan pH 9 memberikan tingkat kerusakan memberikan tingkat kerusakan seperti yang terjadi di antenna, mendibula dan *swimming appendages* pada biota uji. Sedangkan pemaparan Hg pada pH 6 memberikan tingkat kerusakan yang cukup parah dengan tingkat konsentrasi. Hal ini sejalan dengan Hamsidi *et al.*, (2015), efek yang ditimbulkan oleh senyawa beracun sangat bergantung pada kadar racun (toksin) yang diberikan dan Riani (2010) menyatakan bahwa terjadinya penurunan pH, kandungan oksigen terlarut, salinitas akan meningkatkan daya toksik merkuri di perairan. Dengan demikian kematian biota uji terhadap pemaparan Hg pada pH yang asam akan menaikkan tingkat toksisitas Hg.

Tingkat toksisitas logam-logam berat seperti Hg dapat merusak struktur jaringan dan luar tubuh. Hal tersebut disebabkan oleh proses anoxemia, yaitu terhambatnya fungsi pernapasan yakni sirkulasi dan ekskresi dari insang. Lu (1994) menyatakan bahwa kerusakan akibat toksisitas karsinogen tidak menyebabkan pergantian kode DNA, tetapi perubahan cara kerja gen. Perubahan yang disebut epigenetik disebabkan oleh sedikit zat kimia yang menempel pada DNA, lalu memodifikasi aktivitasnya. Perubahan ini bukan mutasi tapi prosesnya disebut *methylation*, di mana zat kimia menempel dan mempengaruhi DNA. Toksisitas logam berat juga dapat memberikan perubahan warna pada fisiologi biota. Hal ini disebabkan karena sifat logam berat yang mudah menyerap dalam permukaan

kulit dan terakumulasi pada tubuh biota, sehingga dapat merusak lapisan luar pada tubuh biota.

Transfer dan transformasi logam berat dapat dilakukan oleh phytoplankton, zooplankton dan bakteri, karena organisme tersebut relatif mendominasi suatu perairan, dan juga oleh *sea grasses*. Bakteri dapat merubah merkuri menjadi methyl merkuri, dan membebaskan merkuri dari sedimen. Dalam kegiatannya bakteri membutuhkan bahan organik atau komponen-komponen karbon, nitrogen dan posphat sebagai makanannya. Methyl merkuri yang terbentuk dalam sedimen bersifat tidak stabil, sehingga mudah dilepaskan ke dalam perairan yang kemudian diakumulasi oleh biota maupun tumbuh-tumbuhan air. Dampaknya bergantung pada konsentrasi yang terdapat dalam tubuh biota air, dan zat-zat karsinogen (seng, timah, kadmium, merkuri, arsen, nikel, vanadium dan berilium). Dampaknya dapat mempengaruhi morfologi dan fisiologi yang menyebabkan terjadinya perubahan warna, bentuk dan kelengkapan organnya, seperti yang terjadi pada individu zooplankton seperti *Copepods*, *Nitzchia*, dan *Nauplius* (Connell dan Miller, 1995). Dampak lain yang terjadi yaitu proses difusi tidak dapat berlangsung dengan baik. Jika hal ini berlangsung secara terus-menerus dapat menyebabkan kerusakan morfologi dan dalam jangka panjang dapat menyebabkan kematian biota air karena konsentrasi logam berat dalam tubuh cukup tinggi (Laws, 1993). Konsentrasi logam berat ini dipengaruhi oleh perubahan pH.

Perubahan dari asam ke basa air laut akan mempengaruhi pada pertumbuhan dan aktivitas biologi. Penurunan pH pada perairan laut, juga dapat menyebabkan tingkat bioakumulasi polutan pada organisme semakin besar (Mukhatasor, 2007). Pada pH alami laut logam sukar terurai dan dalam bentuk partikel atau padatan tersuspensi. Pada pH rendah, ion bebas logam dilepaskan ke dalam kolom air. Selain hal tersebut, pH juga mempengaruhi toksisitas suatu

senyawa. Secara umum logam berat akan meningkatkan toksisitasnya pada pH rendah (Teheni dan Syamsidar, 2019).

pH yang rendah atau asam akan mempengaruhi respirasi organisme sehingga semakin banyak CO₂ yang dihasilkan dari respirasi maka semakin banyak juga pelepasan ion H⁺ yang menjadikan pH perairan menjadi menurun. Kemudian dapat mengakibatkan aktivitas pernafasan menjadi meningkat, oksigen terlarut menjadi menurun sehingga konsumsi oksigen rendah, dan selera makan menurun serta, dapat menyebabkan kematian. Hal ini sejalan dengan Qu *et al.*, (2013) bahwa mortalitas biota uji semakin meningkat pada konsentrasi yang tinggi dengan pH yang asam karena pada pH tersebut dapat mengakibatkan kematian yang disebabkan terjadinya perubahan tingkat toksisitas. Pada pH asam, jika senyawa dilarutkan dalam air akan terjadi penambahan ion H⁺ dan mudah bereaksi dengan logam berat sehingga terlarut dalam air. Hal ini juga sesuai dengan Yulis (2018) yang menyatakan bahwa penurunan pH air akan meningkatkan kelarutan logam dalam air. Sedangkan pada pH tinggi logam berat akan mengalami pengendapan.

Pada pH yang tinggi atau basa, logam berat akan mengalami pengendapan. Hal tersebut akan menurunkan kelarutan logam berat di air, karena kenaikan pH mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air sehingga akan mengendap membentuk lumpur (Alaerts dan Sri, 1984). Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Yulis (2018) bahwa Kenaikan pH air akan menurunkan kelarutan logam dalam air. Akan tetapi pada pH yang sangat basa juga tidak baik untuk kehidupan biota air. Menurut Quen he *et al.*, (2015) menyatakan bahwa biota uji pada pH basa juga akan mempengaruhi pertumbuhan dan aktivitas biologi. Tinggi rendahnya nilai pH juga dapat mempengaruhi toksisitas (daya racun) logam berat di lingkungan laut.

4.9 Analisis Pengaruh Perbedaan pH dan Konsentrasi Logam Berat Hg Terhadap Mortalitas *Artemia salina*

Hasil Analisis pada penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial. Hasil pengujian uji secara statistik didapatkan bahwa perlakuan pH 6 memiliki kategori yang sangat toksik dilihat dari nilai LC₅₀. Analisis hasil kemudian dilanjutkan dengan menggunakan uji *Two Way* ANOVA, dengan syarat bahwa data harus terdistribusi normal, yaitu dengan melakukan uji normalitas dan uji homogenitas menggunakan *shapiro wilk* (Nuria *et al.*, 2009). Hasil uji normalitas dan homogenitas dapat dilihat pada Tabel 16 dan 17.

Tabel 15. *Test of Normality*

Tests of Normality						
Standardized Residual for hasil	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	Df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
	,163	75	,200*	,929	75	,263

Tabel 16. *Test Homogeneity*

Test of Homogeneity of Variances				
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Konsentrasi	4,255	17	56	,062
pH	1,327	17	56	,211

Berdasarkan Tabel 15 dan 16 diketahui bahwa data terdistribusi normal dan homogen dikarenakan nilai sig > 0,05 (Hermawan *et al.*, 2017). Selanjutnya data tersebut dianalisis lebih lanjut menggunakan uji *Two Way* ANOVA. Hasil uji *Two Way* ANOVA dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Uji *Two Way* ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1857,947 ^a	24	77,414	42,380	,000
Intercept	10161,720	1	10161,720	5,563E3	,000
Konsentrasi	1532,747	4	383,187	209,774	,000
pH	256,213	4	64,053	35,066	,000
Konsentrasi * pH	68,987	16	4,312	2,360	,011
Error	91,333	50	1,827		
Total	12111,000	75			
Corrected Total	1949,280	74			

a. R Squared = ,953 (Adjusted R Squared = ,931)

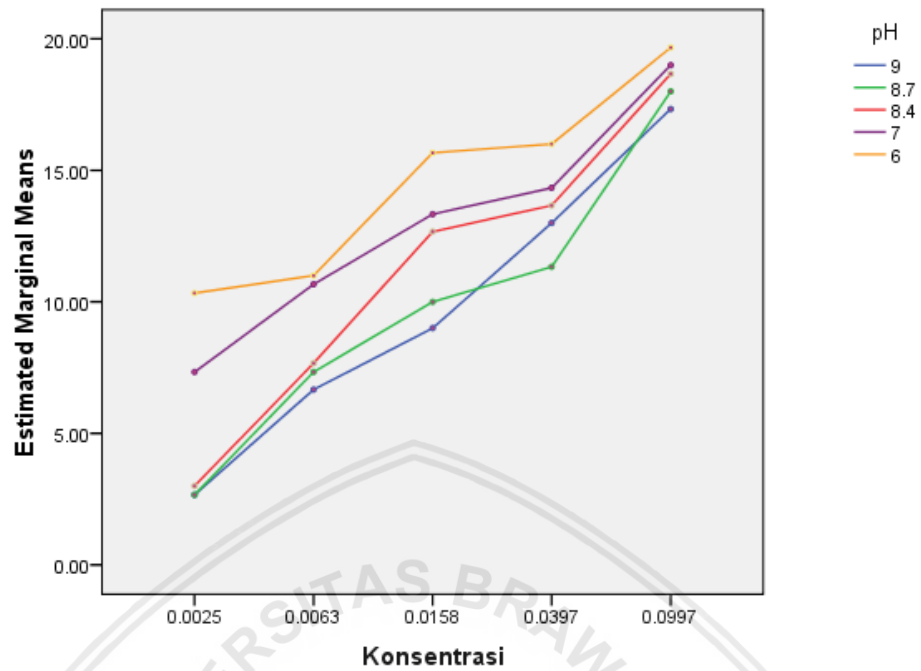
Hasil uji *Two Way* ANOVA pada Tabel 17 menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan pH dan konsentrasi *Artemia salina* memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap mortalitas dengan nilai signifikansi 0,000 ($p < 0,05$), sedangkan interaksi antara kedua faktor perlakuan memberikan pengaruh nyata dengan nilai signifikansi 0,01 ($p < 0,05$) (Hermawan *et al.*, 2017). Oleh karena itu hipotesis alternatif (H_1) diterima, sehingga disimpulkan bahwa ada pengaruh perbedaan yang signifikan antara masing-masing perlakuan (pH yang berbeda dan konsentrasi) terhadap mortalitas biota uji. Hal tersebut diperkuat juga pada nilai LC_{50} pada perlakuan pH yang berbeda, meskipun demikian perlakuan pH yang berbeda pada logam berat Hg masuk dalam kategori sangat toksik. Berdasarkan nilai LC_{50} maka disimpulkan bahwa perlakuan perlakuan pH 6 lebih toksik daripada perlakuan pH 9. Tabel 18 menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi Hg berpengaruh sangat nyata terhadap mortalitas biota uji sehingga hipotesis yang diterima adalah "Tolak H_0 ". Untuk mengetahui perbedaan masing-masing konsentrasi terhadap hasil mortalitas biota uji, maka dilanjutkan dengan melakukan uji BNT (Beda Nyata Terkecil). Uji BNT dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 18. Uji BNT (Beda Nyata Terkecil)

Multiple Comparisons						
Hasil Uji Toksisitas Logam Berat Hg pada Konsentrasi <i>Artemia salina</i> LSD						
(I)	(J)	Mean	Std.	Sig.	95% Confidence Interval	
Konsentrasi	Konsentrasi	Difference (I-J)	Error		Lower Bound	Upper Bound
0,0025	0,0063	-,6667	,89443	,473	-2,6596	1,3262
	0,0158	-5,3333*	,89443	,000	-7,3262	-3,3404
	0,0397	-5,6667*	,89443	,000	-7,6596	-3,6738
	0,0997	-9,3333*	,89443	,000	-11,3262	-7,3404
0,0063	0,0025	,6667	,89443	,473	-1,3262	2,6596
	0,0158	-4,6667*	,89443	,000	-6,6596	-2,6738
	0,0397	-5,0000*	,89443	,000	-6,9929	-3,0071
	0,0997	-8,6667*	,89443	,000	-10,6596	-6,6738
0,0158	0,0025	5,3333*	,89443	,000	3,3404	7,3262
	0,0063	4,6667*	,89443	,000	2,6738	6,6596
	0,0397	-,3333	,89443	,717	-2,3262	1,6596
	0,0997	-4,0000*	,89443	,001	-5,9929	-2,0071
0,0397	0,0025	5,6667*	,89443	,000	3,6738	7,6596
	0,0063	5,0000*	,89443	,000	3,0071	6,9929
	0,0158	,3333	,89443	,717	-1,6596	2,3262
	0,0997	-3,6667*	,89443	,002	-5,6596	-1,6738
0,0997	0,0025	9,3333*	,89443	,000	7,3404	11,3262
	0,0063	8,6667*	,89443	,000	6,6738	10,6596
	0,0158	4,0000*	,89443	,001	2,0071	5,9929
	0,0397	3,6667*	,89443	,002	1,6738	5,6596

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Berdasarkan pada Tabel 18 dapat disimpulkan bahwa semua perlakuan konsentrasi memiliki perbedaan secara signifikan ($p < 0,05$). Berdasarkan nilai signifikan dan *mean difference* yang merupakan nilai persen mortalitas, diketahui bahwa konsentrasi yang memiliki pengaruh tertinggi yaitu konsentrasi 0,0997 ppm. Menurut Gerbhardt (1976), semakin tinggi konsentrasi logam berat Hg pada pH 6 maka mortalitas biota uji akan semakin tinggi dan dalam kategori ketoksikan yang tinggi sehingga berdampak pada morfologi pada biota uji. Hasil uji interaksi antara perlakuan pH dan perlakuan konsentrasi yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 16. Interaksi perlakuan pH 9, 8,7, 8,4, 7 dan 6 dengan Konsentrasi Hg 0,0025, 0,0063, 0,0158, 0,0397, 0,0997 ppm pada *Artemia salina*

Berdasarkan Gambar 16 menunjukkan bahwa konsentrasi yang paling mempengaruhi mortalitas biota uji adalah pH 6, hal tersebut diketahui dari garis oren (pH 6) lebih tinggi daripada garis lainnya. selain itu, konsentrasi yang paling mempengaruhi yaitu 0,0997 ppm karena berada pada titik yang paling tinggi di antara konsentrasi lainnya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai konsentrasi toksisitas akut (LC_{50}) logam berat Hg dalam waktu 48 jam adalah 0,011 ppm (termasuk dalam kategori sangat toksik).
2. Pemaparan logam berat Hg pada pH 9 menunjukkan nilai LC_{50} sebesar 0,017 ppm. Sedangkan pemaparan Hg pada pH 6 memberikan tingkat mortalitas yang tinggi dan menunjukkan nilai LC_{50} sebesar 0,004 ppm. Sehingga kematian biota uji terhadap pemaparan Hg pada pH yang asam bersifat sangat toksik.
3. Kerusakan morfologi biota uji yang terpapar Hg pada pH air laut dan pH 9 memberikan tingkat kerusakan pada bagian tubuh (antenna, mandibula dan *swimming appendages*). Sedangkan pemaparan Hg pada pH 6 memberikan tingkat kerusakan bagian dalam dan diluar tubuh karena logam berat Hg bersifat mudah menyerap ke dalam tubuh biota uji dan pada pH asam logam berat akan mudah bereaksi dan terlarut dalam air sehingga dapat mengakibatkan kematian yang disebabkan terjadinya perubahan tingkat toksisitas yang membahayakan bagi biota uji.

5.2 Saran

Pada penelitian untuk pengamatan morfologi penunjang masih banyak memiliki kekurangan pada metodologi, sebaiknya pada penelitian dengan topik yang sama digunakan lebih banyak pengulangan untuk melihat dampak morfologi *Artemia salina* yang sudah mati agar dapat langsung diambil dan diamati dibawah mikroskop. Kemudian menggunakan range pembulatan dan dilakukan pada perlakuan pH yang lebih asam (< 6) atau pH yang lebih basa (> 9) agar dapat diketahui secara spesifik dari dampak morfologinya

DAFTAR PUSTAKA

- Abatzopoulos, Th. J., Beardmore, J. A., Clegg, J.S., dan Sorgeloos, P. 1996. *Biology of Aquatic Organism: Artemia-Basic and Applied Biology*. <http://www.captain.at/artemia/>.
- Afdal, Muh. 2016. Skripsi Uji Toksisitas Akut Kadmium (Cd) terhadap Veliger Kima (Tridacna Squamosa). *Jurusan Ilmu Kelautan*. Fakultas Ilmu Kelautan Dan Perikanan. Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Alaerts, G. Dan Sri Sumestri Santika. *Metode Penelitian Air*. 1984. Usaha Naional, Surabaya. pp. 58.
- Alloway, B.J., and Ayres, D.C. 1993. *Chemical Principles of Environmental Pollution*. Chapman and Hall. London.
- American Public Health Association (APHA). 1989. *Standard Methods for The Examination of Water and Waste Water*. Washington.
- Anderson JE, Goetz CM, McLaughlin JL. 1991. A Blind Comparison of Simple Bench-top Bioassay and Human Tumor Cell Cytotoxicities as Antitumor Prescreens. *Phytochemical analysis journal*. 2 (1): 107-111.
- Anista, Winda., Ibrohim., Hadi Suwono. 2016. Uji Toksisitas Akut Limbah Industri Pengolahan Ikan di Muncar Kabupaten Banyuwangi terhadap Mortalitas Artemia Salina. *Jurnal Seminar Nasional Pendidikan Dan Saintek*. ISSN: 2557-533x.
- APHA. 1992. *Standart methods for te examination of water and waste water*, 16th edition. *American public health association*, Washington DC. 76 pages.
- APHA, 1999. *Standard methods for the examination of water and freshwater. 20th edition*. Edited by L.S. Clescery; A. E. Greenberg; A.B. Eato.
- Aprillia, T., Rachmatiah I. 2013. Uji Toksiistas Akut Limbah Cair Industri Pulp dan Kertas terhadap *Daphnia magna*. *Jurnal Teknik Lingkungan*. ITB, Bandung.
- Artemia Reference Center. 2007. *Artemia salina - Brine Shrimp - Ses Monkeys*. <http://www.aquaculture.ugent.be/coursmat/artbiol/arc.htm>.
- Barus, T. A. 2004. *Pengantar Limnologi Studi Tentang Ekosistem Sungai dan Danau*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Borowitzka, M. A. 1992. Fats, Oils, adn Hyrocarbons Micro-algae. *Biotechnology*. Section The Algae Cambridge University. Press. pp. 257-287.
- Budiono, A. 2003. 2003. *Pengaruh Pencemaran Merkuri terhadap Biota Air*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Bryan G. W. 1976. Heavy metals contamination in the sea. *Journal Marine pollution. Edisi johnston*. Press London. N. Y. San Fransisco. pp. 185-295.
- Charlena. 2004. *Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada sayur-sayuran*. Falsafah Sain (PSL 702). Institut Pertanian Bogor, Bogor.



- Connel, D. W., and G. J. Miller. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta. (UI-Press). pp. 520.
- Cotton, F. Alert dan G. Wilkinson. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Penerjemah Sahati Suharto, Yarti A. Koestoer. UI Press. Jakarta.
- Dani, Rusdiana Rahma. 2017. Uji toksisitas Akut (LC₅₀) Logam Berat Hg pada Salinitas yang berbeda terhadap Mortalitas Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) PL-25. *Skripsi Manajemen Sumberdaya Perairan*. Universitas Brawijaya, Malang.
- Darmono. 2009. *Farmasi forensik dan Toksikologi*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Dumitrascu M. 2011. *Artemia salina*. *Balneo-Research Journal*. **2** (4): 119-122.
- Durham, W. F. 1975. *Dangerous Properties of Industrial Materials*, Van Nostrand Reinhold Co, New York.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius, Yogyakarta.
- Emslie, S. 2003. *Artemia salina* Leach.-Brine Shrimp-Ses Monkeys. http://www.animaldiversity.ummz.umich.edu/site/accounts/information/Artemia_salina.html. Diakses pada Tanggal 18 Februari 2019.
- Environmental Protection Agency. 1993. *Development document for effluent limitation guidelines and new source performance standards for offshore subcategory of the oil and gas extraction point source category*. Washington, DC.
- FAO corporate document repository. 2019. *Perkembangbiakan Artemia salina*. www.fao.org. Diakses pada tanggal 12 Mei 2019.
- Fardiaz, S. 2005. *Polusi air dan Udara*. Kanisius, Yogyakarta. pp. 8-190
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Kanisius, Yogyakarta. pp. 4-192
- Favilla, M., Macchia, L., Gallo, A., and Altomare, C., 2006. Toxicity Assessment of Metabolites of Fungal Biocontrol Agents using Two Different (*Artemia salina* and *Daphnia magna*) Invertebrate Bioassays. *Food and Chemical Toxicology*, **44**, pp. 1922–1931.
- Finney, DJ. 1971. *Probit analysis*. Cambridge University Press, London.
- Frank, C. L. 1995. *Toksikologi Dasar*. UI Press, Jakarta. Terjemahan dari: Basic of Toxicology.
- Gemilang, W.A., dan Kusumah, G. 2017. Status indeks pencemaran perairan kawasan mangrove berdasarkan penilaian fisika-kimia di pesisir Kecamatan Brebes Jawa Tengah. *EnviroScienteeae*, **13** (2): 171-180.
- Gerbhardt, Karl A. 1976. Effect of Heavy Metals (Cadmium, Copper, and Mercury) on Reproduction, Growth, and Survival of Brine Shrimp (*Artemia salina*) from the Great Salt Lake. *Journal international Civil and Enviromental Engineering*. Digital Commons. Utah State University, Logan.
- Hafidloh, Dewi. 2014. Skripsi Sitotoksik Ekstrak Daun Bunga Matahari (*Helianthus annuus* L) dengan Metode BSLT (Brine Shrimp Lethality Test) dan Identifikasi

- Golongan Senyawa Aktifnya. *Jurusan Kimia*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Hamsidi, Rini., Wahyuni Wahyuni., Asrul Sani. 2015. Uji Toksisitas Akut Ekstrak Metanol Daun Keji Beling (*Strobilanthes crispus Bl.*), Batang dan Bunga Jarak Tintir (*Jatropha multifida L.*) terhadap Larva *Artemia salina* dengan Metode BSLT. *Jurnal Farmasi*. Sulawesi Tenggara: Universitas Halu Oleo. **1** (1): 12-15.
- Hamuna, Baigo., Rosye H. R Tanjung., Suwito., Hendra K. Maury., Alianto. 2018. Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia di Perairan Distrik Depapre, Jayapura. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan. Papua: Universitas Cendrawasih. **16**: 35-43.
- Hartl M, Humpf Hu. 2000. Toxicity assessment of fumonisins using the brine shrimp (*Artemia salina*) bioassay. *Journal Food and Chemical Toxicology*. **28**: 1097-1102.
- Hendri, M., G. Diansyah, dan J. Tampubolon. 2010. Konsentrasi Lethal (LC50-24 jam) Logam Tembaga (Cu) dan Kadmium (Cd) Terhadap Tingkat Mortalitas Juwana Kuda laut (*Hippocampus spp.*). *Jurnal Penelitian Sains* Vol. **13**.
- Hermawan, D. P., Herumurti, D. & Kuswardayan, I., 2017. Efektivitas Penggunaan Game Edukasi Berjenis Puzzle, Rpg Dan Puzzle Rpg Sebagai Sarana Belajar Matematika. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*. **15** (2): 195 – 205.
- Hidayat, Taufiq. 2017. Skripsi Kelimpahan dan Struktur Komunitas Fitoplankton pada Daerah yang di Reklamasi Pantai Seruni Kabupaten Bantaeng. *Program Studi Ilmu Kelautan*. Departemen Ilmu Kelautan. Fakultas Ilmu Kelautan Dan Perikanan. Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Hubert, J. J. 1979. Bioasay. Kendall Hunt Publishing Company, USA.
- Husni, H., Esmeralda. 2010. Uji Toksisitas Akut Limbah Cair Industri Tahu terhadap Ikan Mas (*Cyprinus carpio Lin.*). (*Studi Kasus: Limbah Cair Industri Tahu "Super", Padang*). Universitas Andalas. Padang. pp. 1-13.
- Hutagalung, Horas P. 1985. Raksa (Hg). *Jurnal Oseanografi*. Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jakarta. **10** (3): 93-105.
- Ihsan, Taufiq. Tivany Edwin., Nailul Husni dan Widia Detiari Rukmana . 2018. Uji Tosisitas Akut Dalam Penentuan LC₅₀-96H Insektisida Klorpirifos Terhadap Dua Jenis Ikan Budidaya Danau Kembar, Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Ilmu Lingkungan. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Isnansetyo, A., dan Kurniastuty. 1995. *Teknik Kultur Phytoplankton dan Zooplankton: Pakan Alami untuk Pembenihan Organisme Laut*. Cetakan I. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- ITB. 2015. Emisi CO₂ Penyebab Utama Global Warming. <http://www.hmtl.tl.itb.ac.id/>. Diakses pada Tanggal 22 Juni 2019 Pukul 12.24 WIB.
- Jacobson, M. Z., 2005. *Studying Ocean Acidification with Conservative, Stable Numerical Schemes for Nonequilibrium Air-Ocean Exchange And Ocean Equilibrium Chemistry*. J. Geophys. Res.

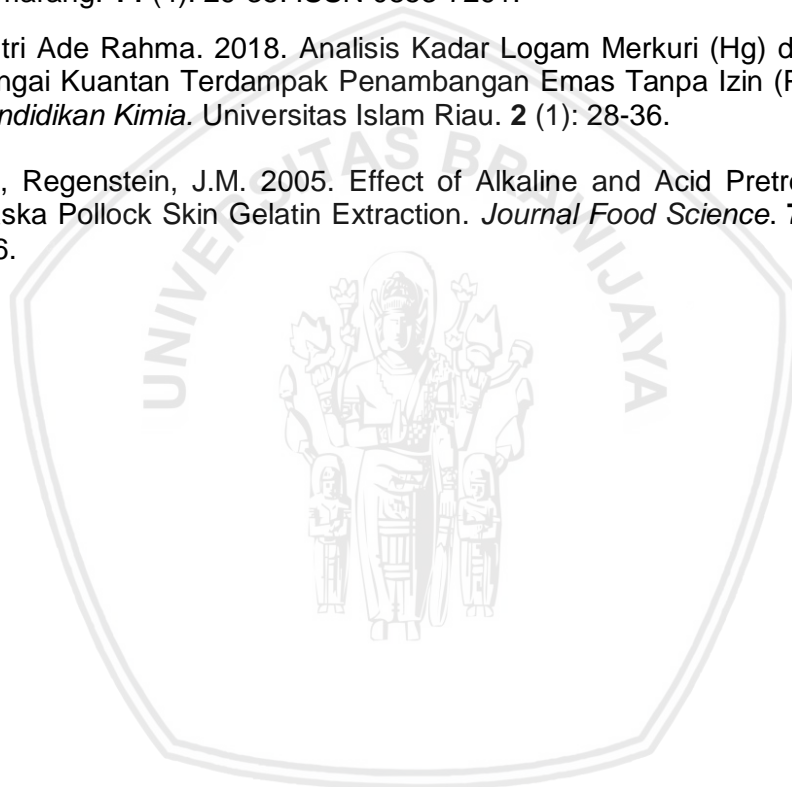
- Kaiser H, Gordon AK, & TG Paulet. 2006. *Review of the African distribution of brine shrimp genus Artemia*. *Journal of Water SA*. **32** (2): 597-603.
- Kanwar, A.S. 2007. Brine Shrimp (*Artemia salina*) a Marine Animal for Simple and Rapid Biological Assays. *Chinese Clinical Medicine*. **2** (4): 35-42.
- KEPMENLH. 2004. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51/MENLH/2004 tahun 2004, Tentang Baku Mutu Air Laut*. Jakarta.
- Kleypas, J.A and C. Langdon. 2003. *Overview of CO₂-Induced Changes in Seawater Chemistry*. Proc. Ninth. Int. Coral Reef Symp., Bali **2**: 1085-1090.
- Koesoemadinata, S. 2003. *Metode Standar Pengujian Toksisitas Pestisida Terhadap Ikan*, pp 73.
- Krishnaraju AV, Rao TV, Sundararaju D, Vanisree M, Tsay H-S, Subbaraju GV. 2006. Assessment of bioactivity of Indian medicinal plants using Brine shrimp (*Artemia salina*) lethality assay. *International Journal of Applied Science and Engineering*.
- Kristianti, A. N., Nanik S. A., Mulyadi T., dan Bambang K. 2011. *Buku Ajar Fitokimia*. Universitas Airlangga, Surabaya.
- Laws, E.A., 1993. *Aquatic Pollution: An introductory text*. Second Edition. New York: An Interscience Publication. John Wiley & Sons. 611 hal.
- Lubis, D.A., Said, I., Suherman, S. 2014. Akumulasi Timbal (Pb) Dan Tembaga (Cu) Pada Ikan Kuniran (*Upeneus sulphureus*) Di Perairan Estuaria Teluk Palu. *Jurnal Akademik Kimia*. **3**: 66–72.
- Lu, F.C. 1994. *Toksikologi Dasar*. Penerbit Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Lu, Jing., Xiaoshan Zhu., Shengyan Tian., Xiaohui Lv., Zuohong Chen., Yuelu Jiang., Xingsheng Liao., Zhonghua Cai., Baiyang Chen. 2018. Graphene oxide in the marine environment: Toxicity to *Artemia salina* with and without the presence of Phe and Cd²⁺. *Jurnal internasional*. Shenzhen Key Laboratory of Organic Pollution Prevention and Control, State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment of Harbin Institute of Technology (Shenzhen), China. pp. 1-26. S0045-6535(18)31405-X.
- Mance, G. 1990. *Threat of Heavy Metal in Aquatik Enviroment. Occorance Analysis and Biologycal Relevance*. New York. pp. 174-332.
- Mauliddin, Budi Khasana. 2011. Kualitas Limbah Batik Pewarna Alami dan Toksisitas terhadap Larva Udang (*Artemia salina* Leach). *Skripsi Sains Departemen Biokimia*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- McLaughlin, J.L. 1991. Crown Gall Tumours on Potato Disc and Brine Shrimp Lethality: Two Simple Bioassay for Higher Plant Screening and Fractination. *Methods in Plants Biochemistry*. **6** (1): 1-30.
- Meng, Lingjun., Shaogui Yang., Mingbao Feng., Ruijuan Qu., Yong Li., Jiaoqin Liu., Zunyao Wang., Cheng Sun. 2016. Toxicity and bioacumulation of copper in *Limnodrilus hoffmeisteri* under different pH values: impact of perfluorooctane sulfonate. *Journal International of Hazardous Materials*. Elsevier: Science Direct. Nanjing University, China. **305**: 219-228.

- Meyer, B.N., Ferrigni, N.R, Putnam, J.E, Jacobsen, L.B, Nichols, D.E, dan McLaughlin, J.L, 1982. Brine Shrimp: A Convenient General Bioassay for Active Plant Constituents. *Planta Medica*. **45**: 31-34.
- Mudjiman, A. 1988. *Makanan Ikan*. PT. Penerbit Swadaya, Jakarta. pp. 3-200.
- Mudjiman, A. 1989. *Udang Remik Air Asin (Artemia salina)*. Bhratara Karya Aksara, Jakarta. pp. 3-149
- Mudjiman, A. 1995. *Makanan Ikan*. PT. Penerbit Swadaya, Jakarta.
- Mukhtasor, 2007. *Pencemaran Pesisir dan Laut*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Mukono, H. J. 2005. *Toksikologi Lingkungan*. Universitas Airlangga Press, Surabaya.
- Mulyono. 2007. *Kamus Kimia*. PT. Bumi Aksara, Jakarta.
- Nuria, M. C., Faizatun, A. & Sumantri, 2009. Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Daun Jarak Pagar (*Jatropha Curcas L*) Terhadap Bakteri *Staphylococcus Aureus* Atcc 25923, *Escherichia Coli* Atcc 25922, Dan *Salmonella Typhi* Atcc 1408. *Jurnal Ilmu – ilmu Pertanian*. **5** (2): 26-37.
- Nursaiiful, A. 2004. *Akuarium Laut*. Depok: Penebar Swadaya.
- Odum, E.P. 1971. *Fundamental Ecology*. 3rd ed. W. B. Saunders C. Philadelphia. Toppan Co. Ltd. Tokyo. Japan. pp 574.
- Opinion. 2008. Artemia, Pakan Alami Berkualitas untuk Ikan dan Udang. <http://www.opinion.com/MembangunIndonesia.htm>. Diakses pada Tanggal 16 Februari 2019.
- Orr, J. C., Fabry, V. J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S. C., Feely, R. A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R. M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R. G., Plattner, G. K., Rodgers, K. B., Sabine, C. L., Sarmiento, J. L., Schlitzer, R., Slater, R. D., Totterdell, I. J., Weirig, M., Yamanaka, Y., Yool, A. 2005. *Anthropogenic Ocean Acidification Over the Twenty-First Century and its Impact on Calcifying Organisms*. *Nature*. **437**, pp. 681-686.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam*. Jakarta: Penerbit PT Rineka Cipta. pp 5-152.
- Parra, A.L., Yhebra, R.S., Sardinas, I.G., Buella, L.I., 2001. *Comparative Study of The Assay of Artemia salina L. and The Estimate of The Medium Lethal Dose (LD50 Value) in Mice, to Determine Oral Acute Toxicity of Plant Extracts*. *Phytomedicine*. **8** (5): 395-400.
- Profetik, 2019. Merkuri. Fakultas Farmasi. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada. <http://profetik.farmasi.ugm.ac.id/>. Diakses pada Tanggal 11 Mei 2019.
- Queen He., Xinghao Wang, Ping Sun., Zunyao Wang., Liansheng Wang. 2015. Acute and Chronic toxicity of tetrabromobisphenol A to three aquatic species under different pH conditions. *Journal international Aquatic Toxicology*. Elsevier: Science Direct. pp 145-154.
- Qu, Ruijuan., X.-H. Wang., M.-B. Feng., Y. Li., H.-X. Liu., L.-S. Wang., Z.-Y. Wang. 2013. The toxicity of cadmium to three aquatic organisms (*Photobacterium*

- phosphoreum*, *Daphnia magna* and *Carassius auratus*) under different pH levels. *Journal International Ecotoxicology and Environmental Safety*. Elsevier: Science Direct. China: Nanjing University. **95**: 83-90.
- Rachmansyah, S. Tahe., Mangampa, M dan M. Tjaronge. 1998. Pengaruh Kedalaman Penempatan Tiram, *Crassostrea* Sp dalam Tandon sebagai Biofilter Tambak Udang Intensif. *Balai Penelitian Perikanan Pantai*, Maros.
- Ramadhon, M. Alfian., Laksmi Sulmartiwi., Endang Dewi Masithah dan A. Shofy Mubarak. 2013. Pengaruh Perbedaan Salinitas pada Induk *Artemia* sp. Terhadap Jumlah Nauplii. *Jurnal Perikanan dan Ilmu Kelautan*. Surabaya: Universitas Airlangga. pp. 1-14.
- Riayah, Putri Dewi., Sasmita Laila K.S., Ellisa Mahardika. 2016. Cara Sterilisasi Alat dan Bahan. Laboratorium Farmasetika. *Fakultas Ilmu Kesehatan*. Jurusan Farmasi. Purwokerto: Universitas Jendral Soedirman. pp. 1-9.
- Riani, Ety. 2010. Kontaminasi Merkuri (Hg) dalam Organ Tubuh Ikan Petek (*Leiognathus equulus*) di Perairan Ancol, Teluk Jakarta. *Jurnal Perikanan dan Ilmu Kelautan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor. **11** (2): 313-322.
- Rizki, Muhammad. 2013. Pengenalan Peralatan dalam Pengambilan Sampel Plankton, Bethos dan Serangga Air. *Program Studi Biologi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat. pp. 1-14.
- Rizki, Nisfi Ramdhini. 2010. Skripsi Uji Toksisitas Terhadap *Artemia Salina* Leach. Dan Toksisitas Akut Komponen Bioaktif Pandanus *Conoideus* Var. *Conoideus* Lam Sebagai Kandidat Antikanker. *Jurusan Biologi Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Rossiana, Nia. 2006. *Uji Toksisitas Limbah Cair Tahu Sumedang Terhadap Reproduksi Daphnia carinata* King. Bandung: FMIPA Biologi, Universitas Padjajaran.
- Rumampuk, Natalie D., Sandra Tilaar., Stenly Wullur. 2010. Median Lethal Concentration (LC-50) Insektisida Diklorometan pada Nener Bandeng (*Chanos-chanos* Forks). *Jurnal Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan*. Manado: Universitas Sam Ratulangi. **4** (2): 87-91.
- Salmin. 2005. Oksigen Terlarut (DO) Dan Kebutuhan Oksigen Biologi (Bod) Sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Jurnal Dinamika Laut*. Jakarta: Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI. pp. 1-21.
- Sanusi, H. S. 2006. *Kimia Laut Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan*. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Sarabia, R., A. Torreblanca., J.J Del Ramo., Diaz-Mayans. 1998. Effect of low mercury concentration exposure on hatchng, growth and survival in the *Artemia* strain La Mata parthenogenetic diploid. *Journal International Comperative Biochemistry and Physiology*. University of Valencia, Spain. **120**: 93-97.
- Sarjono, A. 2009. *Skripsi Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Pb, dan Hg Pada Air dan Sedimen di Perairan Kamal Muara*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.

- Shaala, Najla Mohamed Abu., Syaizwan Zahmir Zulkifli., Ahmad Ismail., Mohammed Noor Amal Azmai., Ferdaus Mohamat-Yusuff. 2015. Lethal concentration 50 (LC50) and effects of Diuron on morphology of brine shrimp *Artemia salina* (Branchiopoda: Anostraca) Nauplii. *Journal Environmental Sciences*. International Conference on Environmental Forensics. Department of Biology, Faculty of Science, Universiti Putra Malaysia. **30** (1): 279 – 284.
- Shaojie D, Wenli Z. 2012. Response of growth and development of *Artemia salina* to four kinds of heavy metals stress. *Procedia Environmental Sciences*. **12**: 1164 – 1171.
- Situmorang. T. N. K. 2007. Pembudidayaan *Artemia* sp. Sebagai Pakan Alami Perikanan dalam Upaya Menunjang Pembangunan Perikanan yang Berkelanjutan. *Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan*.
- Setyawati, Y. 1986. Distribusi Jenis-Jenis Kerang (Bivalvia) di Pantai Muara Sungai Ciseukeut, Desa Mekar Sari Kecamatan Cigeulis, Panembang Jawa Barat. Karya Ilmiah. *Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Subekti, Nurul Khafidz. 2014. Uji Toksisitas Akut Ekstrak Metanol Daun Laban Abang (*Aglaia eliptica* BLUME) terhadap Larva Udang (*Artemia Salina* Leach) Dengan Metode Brine Shrimp Lethality Test (BSLT). *Program studi Pendidikan Dokter*. Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Sukiya dan Rizka Apriani Putri. 2014. Petunjuk Praktikum Ekotoksikologi. Program Studi Biologi. Jurusan Pendidikan Biologi. *Jurnal Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta. pp. 2-8.
- Teheni, Muh. Tasjiddin dan Syamsidar H.S. 2019. Penentuan Kadar dan Distrubusi Spasial Logam Berat Kadmium (Cd) pada Rumput Laut *Euchema cottoni* Asal Perairan Kabupaten Takalar dengan Metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). *Jurnal Fakultas Sains dan Teknologi, Jurusan Kimia*. UIN Alauddin, Makassar. pp. 30-41.
- USEPA. 2002. *Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organism, Fifth Edition*. United States Enviromental Protection Agency, Washington.
- Wardoyo, S.T.H. 1975. *Pengelolaan Kualitas Air*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Widiadmoko, W. 2013. Pemantauan Kualitas Air Secara Fisika dan Kimia di Perairan Teluk Hurun. Balai Besar Pengembangan Budidaya Laut (BBPBL) Lampung, Bandar Lampung.
- Widowati, W., Sastiono, A., dan Jusuf, R. 2008. *Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Andi Offset, Yogyakarta.
- Widyarti D, Bibong. 1986. Karya Ilmiah Pengaruh Pemberian Bekatul Tepung Kedelai dan Campuran Keduanya sebagai Makanan terhadap Produksi *Artemia salina* Leach. *Fakultas Perikanan*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Wulandari, Sri Yulina., Bambang Yulianto., Gunawan Widi Santosa., Ken Suwartimah. 2009. Kandungan Logam Berat Hg dan Cd dalam Air, Sedimen

- dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) dengan Menggunakan Metode Analisis Pengaktifan Neutron (APN). *Jurnal Ilmu Kelautan*. Program Studi Oseanografi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Diponegoro, Semarang. **14** (3): 170-175.
- Yanti, Novita Dwi. 2016. Skripsi Penilaian Kondisi Keasaman Perairan Pesisir dan Laut Kabupaten Pangkajene Kepulauan pada Musim Peralihan I. *Program Studi Ilmu Kelautan*. Departemen Ilmu Kelautan. Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan. Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Yudiati, Ervia., Sri Sedjati., Ipanna Enggar dan Irpan Hasibuan. 2009. Dampak Pemaparan Logam Berat Kadmium pada Salinitas yang Berbeda terhadap Mortalitas dan Kerusakan Jaringan Insang Juvenile Udang Vaname (*Litopeneus vannamei*). *Jurnal Ilmu Kelautan*. Universitas Diponegoro, Semarang. **14** (4): 29-35. ISSN 0853-7291.
- Yulis, Putri Ade Rahma. 2018. Analisis Kadar Logam Merkuri (Hg) dan (pH) Air Sungai Kuantan Terdampak Penambangan Emas Tanpa Izin (Peti). *Jurnal Pendidikan Kimia*. Universitas Islam Riau. **2** (1): 28-36.
- Zhou, P., Regenstein, J.M. 2005. Effect of Alkaline and Acid Pretreatment on Alaska Pollock Skin Gelatin Extraction. *Journal Food Science*. **70** (6): 392-396.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Konsentrasi uji utama

Pada uji pendahuluan didapatkan hasil nilai ambang batas atas dan ambang batas bawah adalah 0,1 ppm dan 0,001 ppm. Jumlah konsentrasi yang digunakan pada uji utama menggunakan 5 konsentrasi dan satu kontrol. Kemudian dimasukkan rumus penentuan konsentrasi untuk uji utama/definitif ;

$$\text{Log } \frac{N}{n} = K \log \frac{a}{n}$$

Dimana;

N= Konsentrasi ambang batas atas

n= Konsentrasi ambang batas bawah

K= Jumlah konsentrasi uji

a=Konsentrasi uji terkecil

b,c,d,e,f = konsentrasi uji yang dicari

$$\frac{a}{n} = \frac{b}{a} = \frac{c}{b} = \frac{d}{c} = \frac{e}{d} = \frac{f}{e}$$

$\text{Log } \frac{0,1}{0,001} = 5 \log \frac{a}{0,001}$ $\text{Log } 100 = 5 \log \frac{a}{0,001}$ $2/5 = \log \frac{a}{0,001}$ $0,4 = \log \frac{a}{0,001}$ $10^{0,4} = \frac{a}{0,001}$ $2,5119 = \frac{a}{0,001}$ $\mathbf{0,0025 = a}$	$\mathbf{b = (0,0025/0,001) \times 0,0025}$ $= 2,5 \times 0,0025$ $= \mathbf{0,0063}$ $\mathbf{c = 0,0158}$ $\mathbf{d = 0,0397}$ $\mathbf{e = 0,0997}$
---	---



Lampiran 2. Monitoring Parameter Kualitas Air

pH 9				
Konsentrasi	Parameter			
(ppm)	DO (mg/l)	Salinitas (ppt)	pH	Suhu (°C)
Kontrol	6,31±0,24	33,00±1,00	8,83±0,15	26,17±0,06
0,0025	6,52±0,10	32,33±0,58	8,87±0,15	26,37±0,15
0,0063	6,26±0,12	32,33±0,58	8,63±0,15	26,33±0,15
0,0158	5,57±0,09	32,00±1,00	8,67±0,21	26,40±0,10
0,0397	5,59±0,06	32,33±0,58	8,57±0,20	26,43±0,06
0,0997	5,55±0,03	31,33±0,58	8,60±0,20	26,50±0,20

pH 8,7				
Konsentrasi	Parameter			
(ppm)	DO (mg/l)	Salinitas (ppt)	pH	Suhu (°C)
Kontrol	6,53±0,09	32,00±0,00	8,60±0,10	26,57±0,06
0,0025	6,55±0,05	33,00±0,00	8,53±0,15	26,60±0,10
0,0063	6,36±0,27	32,00±1,00	8,57±0,15	26,63±0,06
0,0158	6,43±0,24	32,33±1,15	8,60±0,10	26,60±0,17
0,0397	5,66±0,14	33,00±0,00	8,40±0,17	26,63±0,15
0,0997	5,52±0,09	30,00±0,00	8,27±0,15	26,70±0,10

pH Air Laut (8,4)				
Konsentrasi	Parameter			
(ppm)	DO (mg/l)	Salinitas (ppt)	pH	Suhu (°C)
Kontrol	6,57±0,12	32,67±0,58	8,30±0,10	26,50±0,17
0,0025	6,54±0,04	33,33±0,58	8,33±0,12	26,60±0,10
0,0063	6,41±0,12	32,67±0,58	8,37±0,06	26,57±0,12
0,0158	6,46±0,50	33,00±0,00	8,10±0,20	26,67±0,21
0,0397	6,22±0,43	33,00±1,00	8,03±0,15	26,63±0,21
0,0997	5,71±0,07	32,33±0,58	7,97±0,21	26,70±0,20

pH 7				
Konsentrasi	Parameter			
(ppm)	DO (mg/l)	Salinitas (ppt)	pH	Suhu (°C)
Kontrol	5,65±0,10	33,00±0,00	7,13±0,15	26,77±0,06
0,0025	5,74±0,08	32,33±0,58	6,80±0,20	26,70±0,10
0,0063	5,68±0,11	33,67±0,58	6,77±0,25	26,80±0,10
0,0158	5,71±0,06	33,33±0,58	6,63±0,06	26,77±0,15
0,0397	5,53±0,30	33,67±0,58	6,57±0,15	26,87±0,40
0,0997	5,21±0,07	33,00±0,00	6,60±0,20	26,97±0,12

pH 6				
Konsentrasi	Parameter			
(ppm)	DO (mg/l)	Salinitas (ppt)	pH	Suhu (°C)
Kontrol	5,69±0,09	32,00±1,00	6,13±0,15	27,17±0,15
0,0025	5,65±0,08	33,00±1,00	5,90±0,10	27,37±0,32
0,0063	5,73±0,05	32,67±1,53	5,73±0,21	27,40±0,20
0,0158	5,58±0,05	32,33±0,58	5,83±0,06	27,53±0,06
0,0397	5,36±0,16	31,33±0,58	5,70±0,10	27,70±0,20
0,0997	5,22±0,03	30,67±1,15	5,63±0,25	27,77±0,15

Lampiran 3. Test Homogenitas dan Normalitas *Monitoring* Kualitas Air

Hasil pengujian uji secara statistik didapatkan bahwa *monitoring* kualitas air menunjukkan bahwa data memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata terhadap konsentrasi dan pH dengan nilai signifikansi ($p > 0,05$) yaitu suhu sebesar 0,309, DO sebesar 0,452, pH sebesar 0,0853 dan Salinitas sebesar 0,109.

Test of Homogeneity of Variances				
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Suhu	1,223	4	70	,309
DO	,930	4	70	,452
pH	,335	4	70	,853
Salinitas	1,969	4	70	,109

Tests of Normality							
Parameter	Perlakuan	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Suhu	pH 9	,175	15	,200*	,924	15	,224
	pH 8,7	,218	15	,054	,870	15	,054
	pH 8,4	,206	15	,086	,911	15	,143
	pH 7	,212	15	,069	,934	15	,308
	pH 6	,212	15	,069	,925	15	,233
DO	pH 9	,184	15	,186	,927	15	,243
	pH 8,7	,176	15	,200*	,892	15	,073
	pH 8,4	,275	15	,053	,600	15	,060
	pH 7	,134	15	,200*	,959	15	,680
	pH 6	,244	15	,067	,864	15	,058
pH	pH 9	,232	15	,029	,912	15	,147
	pH 8,7	,159	15	,200*	,933	15	,304
	pH 8,4	,221	15	,047	,864	15	,048
	pH 7	,189	15	,156	,928	15	,257
	pH 6	,261	15	,057	,908	15	,124
Salinitas	pH 9	,271	15	,104	,815	15	,106
	pH 8,7	,477	15	,050	,514	15	,150
	pH 8,4	,316	15	,060	,790	15	,053
	pH 7	,283	15	,052	,801	15	,064
	pH 6	,167	15	,200*	,932	15	,293

Lampiran 4. Tabel perhitungan LC₅₀ logam berat Hg pH 9

Konsentrasi (ppm)	Ulangan	Mortalitas 1x24 jam	Mortalitas 2x24 jam	Total Mortalitas	Rata-rata Mortalitas	% Mortalitas	Log Konsentrasi (X)	Probit %Mortalitas (Y)
0,0025	1	2	1	3	2,67	13%	-2,60	3,87
	2	0	2	2				
	3	1	2	3				
0,0063	1	2	5	7	6,67	33%	-2,20	4,56
	2	3	5	8				
	3	2	3	5				
0,0158	1	2	6	8	9,00	45%	-1,80	4,87
	2	3	7	10				
	3	5	4	9				
0,0397	1	9	3	12	13,00	65%	-1,40	5,39
	2	7	7	14				
	3	7	6	13				
0,0997	1	10	8	18	17,33	87%	-1,00	6,13
	2	7	11	18				
	3	8	8	16				

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.991819363							
R Square	0.983705648							
Adjusted R Square	0.978274198							
Standard Error	0.125718283							
Observations	5							
<i>ANOVA</i>								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	1	2.86250474	2.86250474	181.1129	0.000887117			
Residual	3	0.04741526	0.015805087					
Total	4	2.90992						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	7.37278753	0.187610523	39.29836882	3.63E-05	6.775727114	7.969847946	6.775727114	7.969847946
X Variable 1	1.337238117	0.099365147	13.45781853	0.000887	1.021013872	1.653462362	1.021013872	1.653462362

Intercept (b) adalah 7,37
 X Variable 1 adalah 1,34
 $y = ax + b$
 $y = 1,34x + 7,37$
 $5 = 1,34x + 7,37$
 $5 - 7,37 = 1,34x$
 $x = -1,77$
 $LC_{50} = \text{antilog } x$
 $LC_{50} = \text{antilog } -1,77$
 $LC_{50} = 0,017$

Lampiran 5. Tabel perhitungan logam berat Hg pada pH 8,7

Konsentrasi (ppm)	Ulangan	Mortalitas 1x24 jam	Mortalitas 2x24 jam	Total Mortalitas	Rata-rata Mortalitas	% Mortalitas	Log Konsentrasi (X)	Probit %Mortalitas (Y)
0,0025	1	2	2	4	2,67	13%	-2,60	3,87
	2	0	2	2				
	3	1	1	2				
0,0063	1	1	5	6	7,33	37%	-2,20	4,67
	2	3	5	8				
	3	2	6	8				
0,0158	1	5	6	11	10,00	50%	-1,80	5
	2	3	6	9				
	3	5	5	10				
0,0397	1	5	5	10	11,33	57%	-1,40	5,18
	2	6	7	13				
	3	6	5	11				
0,0997	1	8	11	19	18,00	90%	-1,00	6,28
	2	8	7	15				
	3	7	13	20				

SUMMARY OUTPUT									
Regression Statistics									
Multiple R	0.964134115								
R Square	0.929554593								
Adjusted R Square	0.90607279								
Standard Error	0.267907591								
Observations	5								
ANOVA									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>				
Regression	1	2.841276568	2.841276568	39.58616863	0.00810972				
Residual	3	0.215323432	0.071774477						
Total	4	3.0566							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	
Intercept	7.399839193	0.399800906	18.50881045	0.000344184	6.127494276	8.672184111	6.127494276	8.672184111	
X Variable 1	1.332270448	0.211748655	6.291754019	0.00810972	0.658391725	2.006149172	0.658391725	2.006149172	

Intercept (b) adalah 7,40
 X Variable 1 adalah 1,33
 $y = ax + b$
 $y = 1,33x + 7,40$
 $5 = 1,33x + 7,40$
 $5 - 7,40 = 1,33x$
 $x = -1,80$
 $LC_{50} = \text{antilog } x$
 $LC_{50} = \text{antilog } -1,80$
 $LC_{50} = 0,016$

Lampiran 6. Tabel perhitungan logam berat Hg pada pH air laut

Konsentrasi (ppm)	Ulangan	Mortalitas 1x24 jam	Mortalitas 2x24 jam	Total Mortalitas	Rata-rata Mortalitas	% Mortalitas	Log Konsentrasi (X)	Probit %Mortalitas (Y)
0,0025	1	1	3	4	3,00	15%	-2,60	3,96
	2	1	1	2				
	3	0	3	3				
0,0063	1	4	4	8	7,67	38%	-2,20	4,69
	2	3	4	7				
	3	3	5	8				
0,0158	1	7	6	13	12,67	63%	-1,80	5,33
	2	6	5	11				
	3	9	5	14				
0,0397	1	5	7	12	13,67	68%	-1,40	5,47
	2	8	6	14				
	3	8	7	15				
0,0997	1	8	11	19	18,67	93%	-1,00	6,48
	2	9	11	20				
	3	10	7	17				

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0.980304489							
R Square	0.960996892							
Adjusted R Square	0.947995855							
Standard Error	0.214073848							
Observations	5							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	1	3.387437163	3.387437163	73.91695	0.003308244			
Residual	3	0.137482837	0.045827612					
Total	4	3.52492						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	7.806360299	0.319464327	24.43578088	0.00015	6.789682231	8.823038367	6.789682231	8.823038367
X Variable 1	1.454692715	0.16919957	8.597496516	0.003308	0.916224168	1.993161262	0.916224168	1.993161262

Intercept (b) adalah 7,81
 X Variable 1 adalah 1,45
 $y = ax + b$
 $y = 1,46x + 7,81$
 $5 = 1,46x + 7,81$
 $5 - 7,81 = 1,46x$
 $x = -1,94$
 $LC_{50} = \text{antilog } x$
 $LC_{50} = \text{antilog } -1,94$
 $LC_{50} = 0,111$

Lampiran 7. Tabel perhitungan logam berat Hg pada pH 7

Konsentrasi (ppm)	Ulangan	Mortalitas 1x24 jam	Mortalitas 2x24 jam	Total Mortalitas	Rata-rata Mortalitas	% Mortalitas	Log Konsentrasi (X)	Probit %Mortalitas (Y)
0,0025	1	3	3	6	7,33	37%	-2,60	4,67
	2	4	5	9				
	3	2	5	7				
0,0063	1	3	8	11	10,67	53%	-2,20	5,08
	2	4	6	10				
	3	3	8	11				
0,0158	1	5	8	13	13,33	67%	-1,80	5,44
	2	4	9	13				
	3	6	8	14				
0,0397	1	8	9	17	14,33	72%	-1,40	5,58
	2	7	5	12				
	3	6	8	14				
0,0997	1	9	8	17	19,00	95%	-1,00	6,64
	2	7	13	20				
	3	9	11	20				

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0.952379255							
R Square	0.907026246							
Adjusted R Square	0.876034994							
Standard Error	0.259523923							
Observations	5							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	1	1.971221999	1.971221999	29.26717073	0.012385153			
Residual	3	0.202058001	0.067352667					
Total	4	2.17328						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	7.480909609	0.387289884	19.31604704	0.000303069	6.24838035	8.713438868	6.24838035	8.713438868
X Variable 1	1.109694436	0.205122376	5.409914115	0.012385153	0.456903489	1.762485384	0.456903489	1.762485384

Intercept (b) adalah 7.48

X Variable 1 adalah 1.11

$y = ax + b$

$y = 1,11x + 7.48$

$5 = 1,11x + 7.88$

$5 - 7,48 = 1,11x$

$x = -2,23$

$LC_{50} = \text{antilog } x$

$LC_{50} = \text{antilog } -2,23$

$LC_{50} = 0.006$

Lampiran 8. Tabel perhitungan logam berat Hg pada pH 6

Konsentrasi (ppm)	Ulangan	Mortalitas 1x24 jam	Mortalitas 2x24 jam	Total Mortalitas	Rata-rata Mortalitas	% Mortalitas	Log Konsentrasi (X)	Probit %Mortalitas (Y)
0,0025	1	7	4	11	10,33	52%	-2,60	5,05
	2	3	6	9				
	3	4	7	11				
0,0063	1	3	7	10	11,00	55%	-2,20	5,13
	2	4	7	11				
	3	5	7	12				
0,0158	1	7	9	16	15,67	78%	-1,80	5,77
	2	6	8	14				
	3	8	9	17				
0,0397	1	9	7	16	16,00	80%	-1,40	5,84
	2	6	11	17				
	3	7	8	15				
0,0997	1	10	9	19	19,67	98%	-1,00	7,05
	2	14	6	20				
	3	8	12	20				

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0.928695806							
R Square	0.907026246							
Adjusted R Square	0.916634535							
Standard Error	0.243323446							
Observations	5							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	1	2.217667035	2.217667035	18.81435851	0.003385153			
Residual	3	0.353612965	0.117870988					
Total	4	2.57128						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	7.888184022	0.512344664	15.3962451	0.000595209	6.25767464	9.518693405	6.25767464	9.518693405
X Variable 1	1.177019913	0.271355796	4.337552134	0.022610287	0.313444662	2.040595164	0.313444662	2.040595164

Intercept (b) adalah 7,88

X Variable 1 adalah 1,18

$$y = ax + b$$

$$y = 1,18x + 7,88$$

$$5 = 1,18x + 7,88$$

$$5 - 7,88 = 1,18x$$

$$x = -2,44$$

$$LC_{50} = \text{antilog } x$$

$$LC_{50} = \text{antilog } -2,44$$

$$LC_{50} = 0,004$$

Lampiran 9. Tabel Probit

Persentase	Probit									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,442	4,45
30	4,48	4,5	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,8	4,82	4,85	4,87	4,9	4,92	4,95	4,97
50	5	5,03	5,05	5,08	5,1	5,13	5,15	5,18	5,2	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,5
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	5,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

(Hubbert, 1979)

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian

Dokumentasi Penelitian



Pembuatan larutan stok



Perlakuan pH



Penetasan *Artemia salina*



Pemasukan bahan toksikan Hg



Media uji



Pengamatan morfologi