



UNIVERSITAS INDONESIA

**APLIKASI *Grandidierella* sp. (AMPHIPODA BENTIK)
SEBAGAI ORGANISME UJI TOKSISITAS SEDIMEN
TELUK JAKARTA**

SKRIPSI

**RACHMAT AFANDI
0606070182**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN BIOLOGI
DEPOK
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**APLIKASI *Grandidierella* sp. (AMPHIPODA BENTIK)
SEBAGAI ORGANISME UJI TOKSISITAS SEDIMEN
TELUK JAKARTA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

**RACHMAT AFANDI
0606070182**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN BIOLOGI
DEPOK
JULI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Rachmat Afandi

NPM : 0606070182

Tanda Tangan : 

Tanggal : 13 Juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

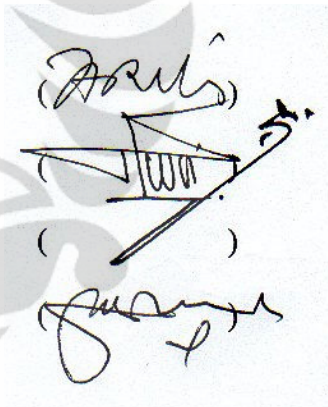
Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Rachmat Afandi
NPM : 0606070182
Program Studi : S1-Biologi
Judul Skripsi : Aplikasi *Grandidierella* sp. (Amphipoda Bentik) sebagai Organisme Uji Toksisitas Sedimen Teluk Jakarta

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Zainal Arifin, Ph.D.
Pembimbing II : Drs. Wisnu Wardana, M.Si.
Penguji I : Drs. Erwin Nurdin, M.Si.
Penguji II : Dr. rer. nat. Yasman, M.Sc.



The image shows four handwritten signatures in black ink, arranged vertically. The first signature is at the top, followed by a second, then a third, and finally a fourth at the bottom. The signatures are somewhat stylized and difficult to read, but they correspond to the names listed in the adjacent text block.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Juli 2011

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirrabbi 'alamin, Segala puji bagi Allah Tuhan semesta alam, kita memuji-Nya, memohon pertolongan dan ampunan kepada-Nya, kita berlandung kepada Allah dari kejahatan diri kita dan kejelekan amalan-amalan kita. Atas rahmat dan kasih sayang-Nyalah penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada suri tauladan kita, Baginda Nabi Muhammad Shallahu 'Alaihi Wasallam.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bimbingan, perhatian, kasih sayang, bantuan, kerjasama, dan doa dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Zainal Arifin, Ph.D. selaku pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, masukan, serta rasa sabar selama masa penyusunan skripsi dan memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian ini.
2. Drs. Wisnu Wardhana, M.Si. selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, perhatian, masukan, serta rasa sabar selama masa penyusunan skripsi ini.
3. Drs. Erwin Nurdin, M.Si. dan Dr.rer.nat Yasman, M.Sc. selaku penguji I dan II atas masukan, kritikan, dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
4. Dr. rer.nat Mufti P. Patria, M.Sc. selaku Ketua Departemen Biologi, FMIPA-UI, Dra. Nining B. Prihantini, M.Sc. selaku Sekretaris Departemen Biologi FMIPA-UI, dan Dra. Titi Soedjiarti, SU. selaku Koordinator Pendidikan Departemen Biologi FMIPA-UI.
5. Rekan-rekan Laboratorium Ekotoksikologi P2O-LIPI, Ancol: Ibu Ir. Dwi Hindarti, M.Sc, Triyoni Purbonegoro, S.Si., Eston Matondang, Amd., Rachma Puspitasari, S.Si., Suratno, S.Si., dan rekan-rekan Laboratorium Pencemaran P2O-LIPI, Ancol yaitu Bapak Abdul Rozak dan Ibu Lestari yang telah banyak membantu dalam proses penelitian ini.
6. Rekan-rekan penelitian di Laboratorium Ekotoksikologi P2O-LIPI, Ancol: Ika Fatmawati, Muthia Amanda, Riana Kuatman, Yeni Kontesa, Saputra, dan Dwi Sekar Arum atas bantuan, kerjasama, motivasi, doa, dan dukungannya selama penelitian berlangsung.

7. Dr. Upi Chairun Nisa, M.Sc. selaku penasehat akademik yang telah memberikan banyak perhatian, kasih sayang, nasehat, motivasi, pengalaman, doa, serta kesabaran dalam membimbing penulis selama lima tahun berkuliah di Departemen Biologi FMIPA UI.
8. Dra. Noverita Dian Takarina, M.Sc. yang telah memberikan kesempatan kepada penulis dalam melakukan Kerja Praktek di Lab. Biologi Kelautan Departemen Biologi FMIPA UI.
9. Seluruh staf pengajar Departemen Biologi FMIPA UI yang telah memberikan ilmunya yang luar biasa kepada penulis dan seluruh karyawan Departemen Biologi FMIPA UI (Ibu Rusmalina, Ibu Ida, Ibu Sofie, Mba Asri, Ibu Siti, Pak Taryana dan Pak Taryono serta karyawan lainnya).
10. Rekan-rekan *ex. '06 Felix* yaitu Teddy, Anjar, Agung, dan Akbar yang telah memberikan semangat, bantuan, doa, dan persahabatan bagi penulis dan teman-teman seperjuangan '06 Felix (Eko, Adit, Andis, Iqbal, Ade, Ana, Ile, Eka, Fido, Betty, Heny, Lia, Rika, Eva, Maulida, Vinda, Vita, Fuji, Galuh, Asma, Nina, Nana) dan semua anak Felix atas pertemanan yang indah dalam kehidupan 5 tahun ini, tak ketinggalan '07 Blossom (Nesti, Wahyu dan Nicky), dan adik-adik '08, '09, dan '010 semuanya.
11. '*Ar Ruhul Jadid 77*' atas persahabatan dan persaudaraan yang tercipta yakni, Adi Rohadi, Gunadi Prabowo, Hairul Anwar, Hilman Qisthi S., M. Amin Purnomo, M. Fiqih Pahlevi, M. Azi Fallah, dan Didi Darul Fadli.

Skripsi ini penulis persembahkan kepada keluarga tercinta, Ayah, Mama, Kakak-kakak tersayang M. Iskandar, SE dan Yulia Mediawati, AMG serta Mba Endang dan juga Mas Herdi yang senantiasa memberikan kasih sayang, dukungan, dan doanya yang tulus selama hidup penulis. Saya menyadari banyaknya kekurangan dalam skripsi ini, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kemajuan dan perkembangan Sains.

Penulis,

2011

*Kupersembahkan karya ini
Untuk kedua orangtuaku tercinta...
Semoga Allahu Ta'ala menyayanginya
seperti mereka menyayangiku...*



*“Dan Dia-lah yang membiarkan dua laut yang mengalir (berdampingan); yang ini tawar lagi segar dan yang lain asin lagi pahit; dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang menghalangi.”
(Al Qur'an Surat Al Furqan Ayat 53).*

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rachmat Afandi
NPM : 0606070182
Program Studi : S1-Biologi
Departemen : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Aplikasi *Grandidierella* sp. (Amphipoda Bentik) sebagai Organisme Uji Toksisitas Sedimen Teluk Jakarta

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 13 Juli 2011
Yang menyatakan



(Rachmat Afandi)

ABSTRAK

Nama : Rachmat Afandi
Program Studi : Biologi
Judul : Aplikasi *Grandidierella* sp. (Amphipoda Bentik) sebagai Organisme Uji Toksisitas Sedimen Teluk Jakarta

Penelitian mengenai aplikasi *Grandidierella* sp. (amphipoda bentik) sebagai organisme uji toksisitas sedimen Teluk Jakarta telah dilakukan di Laboratorium Ekotoksikologi P2O-LIPI Ancol dari bulan Agustus sampai September 2010. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui kelayakan amphipoda bentik tropis jenis *Grandidierella* sp. sebagai organisme uji toksisitas sedimen tercemar dengan melihat tingkat sensitivitas *Grandidierella* sp. terhadap sedimen tercemar dari perairan Teluk Jakarta. Metode yang digunakan adalah uji toksisitas sedimen sistem statik dan akut sesuai metode ASTM 2006. Uji terhadap *Grandidierella* sp. dilakukan selama sepuluh hari pemaparan. Hasil akhir yang diukur adalah persentase jumlah *Grandidierella* sp. yang bertahan hidup. Sedimen diambil dari tujuh stasiun yang berada di dekat tiga muara, yaitu: Muara Kramat Kebo (A2), Muara Sunter (D5, C5, B5), dan Muara Ancol (D3, C3, B3). Uji *reference toxicant* CdCl₂ dilakukan untuk mengetahui tingkat kesensitifan *Grandidierella* sp. terhadap CdCl₂. Nilai LC₅₀-96 jam yang didapat adalah 0,465 mg/L CdCl₂. Pengukuran parameter kualitas air permukaan sedimen meliputi suhu, DO, pH, dan salinitas. Hasil yang diperoleh dari penelitian adalah persentase ketahanan hidup *Grandidierella* sp. pada sedimen Teluk Jakarta stasiun D3, D5, C3, C5, B3, dan B5 signifikan berbeda dengan sedimen Muara Kramat Kebo yaitu stasiun A2. Persentase ketahanan hidup *Grandidierella* sp. terendah sebesar 25%, terjadi pada stasiun D5 yang posisinya <5 km dari Muara Sunter dan tertinggi sebesar 86,25% pada stasiun A2 atau kontrol yang berasal dari Muara Kramat Kebo.

Kata kunci:

Grandidierella sp., Ketahanan Hidup, Organisme Uji, Teluk Jakarta, Uji Toksisitas Sedimen

xiv + 78 halaman; 13 gambar; 14 tabel
Daftar Pustaka : 61 (1971--2011)

ABSTRACT

Name : Rachmat Afandi
Study Program : Biology
Title : Application of *Grandidierella* sp. (Benthic Amphipod) as Jakarta Bay Sediment Toxicity Test Organism

Research on application of *Grandidierella* sp. (benthic amphipod) as sediment toxicity test organism was conducted in the Laboratory of Ecotoxicology P2O-LIPI Ancol from August until September 2010. The aimed of this research was to know the expediency of tropical benthic amphipod *Grandidierella* sp. as contaminated sediment toxicity test organism with observe the level of *Grandidierella* sp. sensitivity to contaminated sediment from Jakarta Bay. The method used in this research was static and acute system in sediment toxicity test appropriate to ASTM 2006 method. Test against *Grandidierella* sp. was conducted during ten days of exposure. The final result measured was percentage survival of *Grandidierella* sp. Sediment was taken from seven stasions near three estuaries, namely: Muara Kramat Kebo (A2), Muara Sunter (D5, C5, B5), and Muara Ancol (D3, C3, B3). Test of CdCl₂ as a reference toxicant was done to know the sensitivity level of *Grandidierella* sp. toward CdCl₂. Value of LC₅₀-96 hours was 0,465 mg/L Cd. Measurement of sediment and surface water quality parameters covered temperature, DO, pH, and salinity. Results obtained from this research were that the survival percentage of *Grandidierella* sp. at sediment from Jakarta Bay on stasions D3, D5, C3, C5, B3, and B5 was different significantly with Muara Kramat Kebo sediment on stasion A2. The lowest survival percentage of *Grandidierella* sp. was 25% in the D5 stasion which position less than 5 km from Muara Sunter and the highest was 86,25% in the A2 stasion or control which from Muara Kramat Kebo.

Keywords:

Grandidierella sp., Jakarta Bay, Sediment Toxicity Test, Survival, Test Organism

xiv + 78 pages; 13 pictures; 14 tables

Bibliography : 61 (1971--2011)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Uji Biologis (<i>Bioassay</i>)	5
2.1.1 Berdasarkan Sifat Pengaruh Toksin terhadap Organisme Uji	6
2.1.2 Berdasarkan Sifat Medium	6
2.2 Uji Toksisitas Sedimen	7
2.2.1 Rekomendasi <i>Assay</i> dan Kondisi Pengujian	7
2.2.2 Persyaratan Umum dalam Pemilihan Organisme Uji	7
2.2.3 Pengujian terhadap Spesies Organisme Laut	8
2.2.4 <i>Quality Assurance</i> dan <i>Quality Control</i> (QA/QC)	9
2.2.4.1 Sedimen Kontrol	9
2.2.4.2 Referensi Sedimen	10
2.2.4.3 <i>Reference toxicant</i> (Kontrol Positif)	10
2.2.4.4 Organisme Uji	11
2.2.4.5 Replika	11
2.2.4.6 Pengukuran Kualitas Air	11
2.2.4.7 Kriteria Keabsahan Hasil Uji	12
2.3 Ordo Amphipoda	12
2.3.1 Morfologi	13
2.3.2 Habitat	14
2.3.3 Anak Bangsa Gammaridea	14
2.4 Amphipoda sebagai Organisme Uji	17
2.5 Sedimen	19
2.6 Pencemaran Sedimen Teluk Jakarta	19
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	23
3.2 Alat	25
3.2.1 Peralatan Lapangan	25
3.2.2 Peralatan Laboratorium	25
3.3 Bahan	26

3.3.1 Sampel dan Bahan Pengambilan Sampel	26
3.3.2 Bahan Laboratorium	26
3.4 Cara Kerja	26
3.4.1 Pengambilan Sampel Amphipoda di Lapangan	26
3.4.2 Pengambilan Sampel Sedimen di Lapangan	27
3.4.3 Aklimasi Amphipoda (<i>Grandidierella</i> sp.) di Laboratorium Basah	29
3.4.4 Penyediaan Amphipoda sebagai Organisme Uji	30
3.4.5 Uji Toksisitas Sedimen terhadap Amphipoda	32
3.4.5.1 Penyiapan Alat dan Bahan	32
3.4.5.2 Penyucian dan Sterilisasi Alat	32
3.4.5.3 Pemberian Sedimen ke dalam Gelas Uji atau <i>Beaker Glass</i>	33
3.4.5.4 Penambahan <i>Overlying Water</i>	33
3.4.5.5 Pemberian Amphipoda	33
3.4.5.6 Proses Pengamatan selama 10 Hari	34
3.4.6 Uji Toksisitas Kadmium ($CdCl_2$) terhadap Amphipoda	34
3.5 Analisis Data	36
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Pengamatan Ukuran dan Aktivitas <i>Grandidierella</i> sp. saat Pengujian	40
4.2 Parameter Kualitas Air Larutan Uji Sedimen	43
4.3 Parameter Kualitas Air Larutan Uji Kadmium (<i>Reference Toxicant</i>)	49
4.4 Karakteristik Sedimen Teluk Jakarta dan Muara Kramat Kebo Tangerang	53
4.5 Uji Toksisitas Sedimen terhadap <i>Grandidierella</i> sp.	55
4.6 Uji Toksisitas Kadmium (<i>reference toxicant</i>) terhadap <i>Grandidierella</i> sp.	59
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR ACUAN	66
LAMPIRAN	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Morfologi Amphipoda	14
Gambar 2.2	Kecenderungan konsentrasi logam berat Cd (atas), Pb (tengah) dan Cu (bawah) dalam sedimen Teluk Jakarta berdasarkan jarak dari garis pantai	21
Gambar 3.1	Peta lokasi stasiun pengambilan sampel sedimen	24
Gambar 3.2	Amphipoda jenis <i>Grandidierella</i> sp. yang ditemukan dan digunakan sebagai organisme uji dalam penelitian	27
Gambar 3.3	Diagram cara kerja pengambilan sampel sedimen dan Amphipoda di lapangan	28
Gambar 3.4	Diagram cara kerja aklimasi Amphipoda di laboratorium basah	30
Gambar 3.5	Diagram cara kerja penyediaan Amphipoda sebagai organisme uji	31
Gambar 3.6	Diagram cara kerja uji toksisitas sedimen terhadap Amphipoda	38
Gambar 3.7	Diagram cara kerja uji toksisitas kadmium terhadap Amphipoda	39
Gambar 4.1	Ukuran panjang tubuh <i>Grandidierella</i> sp. yang digunakan dalam pengujian (kiri) & <i>Grandidierella</i> sp. dewasa yang membawa telur (kanan)	41
Gambar 4.2	Aktivitas <i>burrowing</i> <i>Grandidierella</i> sp. selama pengujian	43
Gambar 4.3	Histogram persentase nilai rata-rata <i>survival</i> <i>Grandidierella</i> sp terhadap sedimen uji selama 10 hari pemaparan dari 4 replika	57
Gambar 4.4	Histogram persentase nilai rata-rata <i>survival</i> <i>Grandidierella</i> sp. terhadap lima konsentrasi kadmium dan satu kontrol selama 96-jam	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kondisi optimum parameter kualitas air dalam uji toksisitas sedimen yang direkomendasikan oleh ASTM 2006	12
Tabel 2.2	Beberapa jenis Gammaridea yang ditemukan dari hasil penelitian yang dilakukan di perairan Indonesia	16
Tabel 2.3	Jenis Amphipoda yang telah digunakan sebagai organisme uji toksisitas sedimen di beberapa negara	18
Tabel 2.4	Konsentrasi logam berat dalam sedimen di Teluk Jakarta dalam jangka waktu 20 tahun	22
Tabel 3.1	Koordinat stasiun pengambilan sampel sedimen	23
Tabel 3.2	Kisaran konsentrasi CdCl ₂ yang digunakan dalam pengujian	36
Tabel 3.3	Kondisi pengujian uji toksisitas sedimen dengan menggunakan Amphipoda sebagai organisme uji	37
Tabel 4.1	Hasil pengukuran panjang tubuh <i>Grandidierella</i> sp	40
Tabel 4.2	Data hasil pengamatan aktivitas <i>burrowing Grandidierella</i> sp. ...	42
Tabel 4.3	Hasil pengukuran parameter suhu, pH, salinitas, dan DO pada larutan uji sedimen	44
Tabel 4.4	Hasil pengukuran parameter DO, suhu, pH, dan salinitas pada larutan uji kadmium	49
Tabel 4.5	Karakteristik sedimen Teluk Jakarta dan Muara Kramat Kebo ...	54
Tabel 4.6	Perolehan data hasil uji toksisitas sedimen terhadap <i>Grandidierella</i> sp.	56
Tabel 4.7	Perolehan data hasil uji toksisitas kadmium (<i>reference toxicant</i>) terhadap <i>Grandidierella</i> sp.	61
Tabel 4.8	Nilai LC ₅₀ 96-jam kadmium terhadap beberapa spesies Amphipoda	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Analisis statistik pengaruh sedimen terhadap ketahanan hidup <i>Grandidierella</i> sp. dengan perangkat lunak TOXSTAT versi 3.2	72
Lampiran 2.	Analisis statistik perolehan nilai LC ₅₀ kadmium 96-jam terhadap <i>Grandidierella</i> sp. dengan perangkat lunak EFFL versi 1.2	76
Lampiran 3.	Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu), Timbal (Pb), dan kadmium (Cd) di sedimen Teluk Jakarta dan Muara Kramat Kebo, Tangerang	77
Lampiran 4.	Tabel perbandingan hasil penelitian uji toksisitas terhadap <i>Grandidierella</i> sp. yang dilakukan di Laboratorium Ekotoksikologi, P2O LIPI Ancol	78

BAB 1

PENDAHULUAN

Pembangunan pabrik-pabrik, pembangkit tenaga listrik, dan perumahan yang cukup pesat di wilayah DKI Jakarta telah memberikan pengaruh terjadinya perubahan kualitas sedimen Teluk Jakarta (Helfinalis 2008: 47). Sedimen merupakan bagian terpenting dari suatu ekosistem laut. Pada satu sisi, sedimen merupakan tempat hidup berbagai macam organisme dan tempat mencari makan bagi organisme tersebut. Di sisi lain sedimen juga memiliki peranan sebagai tempat penampungan berbagai macam zat-zat yang berbahaya seperti logam berat dan bahan kimia organik (Lee *dkk.* 2005: 17; Gómez *dkk.* 2009: 1068).

Menurut DeValls pada tahun 2007 (*lihat Gómez dkk.* 2009: 1068) keterkaitan ekologis dari suatu sedimen dan perannya sebagai penyimpan berbagai macam zat pencemar membuat penelitian mengenai kualitas sedimen menjadi cara yang tepat untuk mengevaluasi kesehatan perairan baik perairan laut maupun estuari. Pada tahun 1992 USEPA (*lihat Lee dkk.* 2005: 17) menyatakan bahwa ada tiga macam pendekatan dalam melakukan suatu penilaian terhadap sedimen tercemar antara lain: (1) analisis konsentrasi kimia dari suatu zat pencemar dalam suatu lingkungan, (2) melakukan survei ekologi dengan menggunakan struktur komunitas benthik, dan (3) uji biologis sedimen. Menurut Lee *dkk.* (2005: 17) masing-masing pendekatan tersebut menyediakan informasi yang saling melengkapi dalam menentukan kualitas suatu sedimen. Namun, diantara ketiga pendekatan tersebut, hanya uji biologis sedimen yang dapat memberikan petunjuk nyata akan adanya pengaruh toksik yang dihasilkan oleh berbagai macam zat pencemar di dalam sedimen. Oleh karena itu, uji biologis sedimen telah dipertimbangkan sebagai komponen penting dalam penilaian kualitas sedimen tercemar secara sistematis.

Penggunaan biota benthik yang dipaparkan terhadap sedimen tercemar dalam uji biologis sedimen menurut DeValls (2007, *lihat Gómez dkk.* 2009: 1068) diakui sebagai salah satu cara tepat untuk menilai kualitas sedimen dan juga untuk menentukan kualitas kesehatan lingkungan dengan melihat efek negatif

terhadap organisme uji selama pemaparan. Hal tersebut dapat memberikan informasi mengenai adanya ketersediaan biologis (*bioavailability*) zat pencemar dalam sedimen. Biota bentik yang hidup di sedimen seringkali mengkonsumsi partikel sedimen berbagai ukuran ataupun partikel sedimen tercemar seperti sedimen yang mengandung karbon organik tinggi (Harkey *dkk.* 1994: 597). Akibatnya organisme yang memiliki kontak secara langsung dengan sedimen seperti biota bentik akan mengakumulasi berbagai macam zat pencemar di dalam tubuhnya baik dengan cara adsorpsi langsung melalui dinding tubuh atau dengan absorpsi melalui integumen atau kulit (Knezovich *dkk.* 1987: 233).

Terdapat sekitar puluhan spesies hewan baik yang hidup di air tawar, estuari maupun air laut yang telah direkomendasikan oleh lembaga lingkungan seperti ASTM (*American Society for Testing and Materials*) dan US. EPA (*United States. Environmental Protection Agency*) sebagai organisme uji dalam uji toksisitas sedimen. Hewan tersebut terbagi atas beberapa kelompok antara lain, ikan, amphipoda, polychaeta, ekinodermata, dan bivalvia (USEPA 2002: 27; Burton *dkk.* 2003: 121). Namun, dari sekian banyak jenis hewan tersebut sebagian besar standarisasi uji toksisitas sedimen di berbagai negara telah menggunakan amphipoda sebagai biota uji. Hal ini dikarenakan amphipoda merupakan salah satu kelompok yang memiliki sifat sangat sensitif diantara kelompok hewan bentik lainnya, adanya keterkaitan secara ekologis, penyebarannya yang sangat luas, tersedia dalam jumlah yang banyak di alam dan mudah dibudidayakan di laboratorium (Lee *dkk.* 2005: 17--18).

Salah satu dari jenis amphipoda yang telah digunakan secara intensif di beberapa negara seperti Australia, Amerika Serikat (khususnya California) dan Jepang sebagai biota uji dalam uji biologis sedimen adalah *Grandidierella japonica*. Kemampuannya yang dapat bertahan dengan baik pada berbagai tipe sedimen membuat *Grandidierella japonica* sangat berguna sebagai organisme uji. *Grandidierella japonica* dapat ditemukan pada sedimen intertidal maupun subtidal dengan ketebalan 2--4 cm. *Grandidierella japonica* betina yang sedang membawa telur tidak dianjurkan untuk digunakan sebagai organisme uji. Pengujian dapat dilakukan dengan kondisi suhu pada *overlying water* antara 15°C dan 19°C serta kondisi salinitas antara 30 sampai 35 ppt (Burton *dkk.* 2003: 132).

Grandidierella japonica menurut Simpson *dkk.* (2005: 39) diklasifikasikan ke dalam anak bangsa Gammaridea dan merupakan salah satu anak bangsa amphipoda yang mempunyai jenis paling banyak, yaitu lebih dari 4.700 jenis yang terangkum dalam 670 marga dan 850 jenis diantaranya hidup di lingkungan bukan laut (Barnard 1981: 3; Pechenik 1996: 407). Beberapa jenis amphipoda yang termasuk ke dalam anak bangsa Gammaridea juga telah banyak ditemukan di perairan Indonesia seperti di Teluk Jakarta (Azis *dkk.* 1998: 64); di Teluk Bayur dan Teluk Bungus, Sumatera Barat (Aswandy 1999: 70); di Muara Sungai Digul dan Arafura, Papua (Aswandy 2002: 84); di Kepulauan Karimun Jawa (Aswandy & Soedibjo 2006: 55) dan di perairan Kramat Kebo, Tangerang Batubara (2010: 6). Hasil identifikasi yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Batubara (2010) menyebutkan bahwa amphipoda yang ditemukan di perairan Kramat Kebo, Tangerang merupakan jenis *Grandidierella* sp. anak bangsa Gammaridea.

Uji toksisitas sedimen dengan menggunakan *Grandidierella japonica* sebagai organisme uji pada umumnya dilakukan oleh beberapa negara yang beriklim subtropis. Penerapan organisme uji tersebut di negara tropis, seperti Indonesia belum tentu sesuai karena faktor perbedaan spesies, tingkat sensitivitas dan aspek fisiologisnya. Oleh karena itu, berdasarkan hasil identifikasi amphipoda yang diperoleh pada penelitian yang dilakukan oleh Batubara (2010: 6), maka penelitian mengenai penggunaan *Grandidierella* sp. sebagai calon organisme uji toksisitas terhadap sedimen tercemar dinilai penting untuk dilakukan karena organisme tersebut berasal dari perairan tropis sehingga sesuai untuk diaplikasikan dalam uji toksisitas sedimen di wilayah tropis seperti Indonesia.

Tujuan dilakukannya uji toksisitas sedimen adalah untuk mengetahui apakah sedimen yang diujikan bersifat toksik atau tidak terhadap organisme uji seperti biota bentik dan hal tersebut dapat diketahui dengan cara membandingkan respon yang ditunjukkan oleh organisme uji ketika dipaparkan dengan sedimen target dan sedimen kontrol (Lee *dkk.* 2005: 17). Sedimen target yang dimaksud adalah sedimen yang dianggap berpotensi memberikan pengaruh toksik terhadap organisme uji. Sedimen target atau yang lebih dikenal dengan referensi sedimen merupakan sedimen yang diperoleh dari perairan yang tercemar, sedangkan

sedimen kontrol adalah sedimen yang berasal dari perairan yang belum tercemar. Sedimen kontrol diasumsikan tidak mengandung zat kontaminan sehingga tidak dapat memberikan pengaruh toksik terhadap organisme uji (Burton *dkk.* 2003: 139--140; Simpson *dkk.* 2005: 33). Referensi sedimen yang digunakan dalam penelitian adalah sedimen dari perairan Teluk Jakarta. Sedangkan sedimen yang dijadikan sebagai kontrol dalam penelitian adalah sedimen dari perairan Muara Kramat Kebo, Tangerang.

Alasan dipilihnya sedimen dari perairan Teluk Jakarta dikarenakan sesuai dengan pernyataan Anon (2004, *lihat* Lestari & Edward 2004: 53) bahwa Teluk Jakarta merupakan teluk yang paling tercemar di Asia akibat limbah industri dan rumah tangga. Pernyataan tersebut diperkuat oleh Arifin (2008: 216) yang menyatakan bahwa dalam jangka waktu sekitar 20 tahun telah terjadi peningkatan zat kontaminan khususnya logam berat seperti Pb, Cd, dan Cu di sedimen Teluk Jakarta. Perairan Muara Kramat Kebo, Tangerang merupakan habitat dari organisme uji *Grandidierella* sp. yang digunakan dalam penelitian. Menurut ASTM (2006b: 469), habitat dari organisme uji yang diperoleh dari alam harus terbebas dari adanya pencemaran sehingga hal tersebut menjadi alasan untuk digunakannya sedimen Muara Kramat Kebo sebagai sedimen kontrol dalam penelitian. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Batubara pada tahun 2009, kandungan logam berat Cu dan Pb yang diukur pada sedimen di perairan tersebut hanya sebesar 17,96 ppm dan 11,07 ppm (Batubara 2010: 30). Kedua nilai konsentrasi logam berat tersebut berada jauh dibawah nilai ambang batas untuk sedimen yang terkontaminasi logam berat yang ditentukan oleh *Canadian Standard for Contaminated Sediment* yakni Cu sebesar 30 ppm dan Pb sebesar 25 ppm (Takarina *dkk.* 2008: 156--157).

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kelayakan amphipoda bentik tropis jenis *Grandidierella* sp. sebagai organisme uji toksisitas sedimen dengan melihat tingkat sensitifitas *Grandidierella* sp. terhadap sedimen tercemar dari perairan Teluk Jakarta. Apabila terjadi tingginya tingkat sensitivitas *Grandidierella* sp. secara kuantitatif setelah dipaparkan oleh sedimen tercemar dari Teluk Jakarta maka *Grandidierella* sp. berpotensi layak untuk diaplikasikan sebagai organisme uji toksisitas sedimen tercemar.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Uji Biologis (*Bioassay*)

Uji biologis merupakan pengujian yang dilakukan dengan menggunakan organisme hidup sebagai biota uji (Reish & Osida 1986: 1). Uji biologis bertujuan untuk melihat dan menentukan kekuatan dari toksikan yang dipaparkan dengan melihat respon yang ditimbulkan sedikit demi sedikit oleh biota uji, namun tidak bertujuan untuk memperkirakan konsentrasi bahan kimia yang bersifat toksik pada biota uji tersebut (Rand & Petrocelli 1985: 14--15).

Toksikan adalah suatu bahan atau agen yang dapat menimbulkan pengaruh buruk pada sistem biologi, merusak struktur dan fungsi organ tubuh, atau mengakibatkan kematian. Toksisitas adalah ukuran kemampuan (daya) relatif suatu bahan kimia yang dapat memberikan pengaruh merugikan pada organisme hidup (Rand & Petrocelli 1985: 3). Pengaruh toksik terdiri atas dua yaitu pengaruh *lethal* atau kematian dan pengaruh *sublethal* seperti misalnya perubahan pertumbuhan, perkembangan, reproduksi, respon farmakokinetik, patologi, biokimia, fisiologi, dan tingkah laku (Rand & Petrocelli 1985: 1).

Pemaparan merupakan proses kontak antara organisme dan bahan kimia sangat penting perannya dalam uji biologis yang berpengaruh akut. Pengaruh akut adalah pengaruh yang berlangsung cepat sebagai hasil pemaparan jangka pendek suatu bahan kimia. Pengaruh yang berlangsung beberapa jam, beberapa hari, atau beberapa minggu termasuk dalam pengaruh akut (Rand & Petrocelli 1985: 5--7).

Median lethal concentration atau yang dikenal dengan LC50 merupakan suatu konsentrasi zat kimia yang dapat menyebabkan kematian sebanyak 50% dari total populasi organisme uji dalam jangka waktu tertentu. Lamanya pemaparan biasanya berlangsung mulai dari 24 sampai 96 jam, tergantung dari spesies organisme uji yang akan digunakan. Nilai LC50 pada umumnya diperoleh ketika dilakukannya uji toksisitas akut. Selain efek kematian yang dilihat, ada efek lain yang dapat diukur dan biasanya disebut dengan *Median effective concentration*.

EC50 merupakan konsentrasi dari suatu zat kimia yang dapat menghasilkan efek khusus (misal, tingkah laku atau fisiologi) terhadap 50% dari populasi organisme uji dan pengaruh tersebut dapat diketahui dengan lama pemaparan yang spesifik yaitu 24 atau 48 jam. Adapun kriteria dari efek khusus tersebut antara lain adalah perkembangan yang tidak normal, kehilangan keseimbangan, kegagalan dalam merespon terhadap rangsangan dari luar, tidak dapat bergerak dan perilaku yang abnormal (Rand & Petrocelli 1985: 11). Berdasarkan sifat-sifatnya, uji biologis dibedakan menjadi dua tipe, yaitu berdasarkan sifat pengaruh toksin terhadap organisme uji dan berdasarkan sifat medium.

2.1.1 Uji biologis berdasarkan sifat pengaruh toksin terhadap organisme uji:

a. Uji toksisitas akut

Uji toksisitas akut terjadi jika toksikan dapat mematikan 50% atau lebih populasi yang dipapari dalam waktu relatif singkat (beberapa jam sampai 14 hari) (Rand & Petrocelli 1985: 8).

b. Uji toksisitas kronik atau subkronik

Uji toksisitas kronik atau subkronik terjadi jika pemaparan berlangsung lama, letal maupun subletal, menimbulkan perubahan tingkah laku (cara berenang, penghindaran, dan hubungan mangsa-memangsa), perubahan fisiologi (pertumbuhan dan reproduksi), perubahan biokimia (enzim darah, tingkatan ion) dan perubahan histologi (Adams & Rowland 2003: 22).

2.1.2 Uji biologis berdasarkan sifat medium

a. Uji statis (*static test*)

Biasanya uji toksisitas tipe statis merupakan uji jangka pendek, dimana larutan (medium) tempat pemeliharaan tidak diganti (Rand & Petrocelli 1985: 18)

b. Uji air mengalir (*flow-through test*)

Pada uji toksisitas tipe air mengalir, medium (larutan) terus-menerus diganti dengan cara mengalirkannya. Kesulitan dari uji tipe air mengalir adalah membutuhkan tempat lebih besar, lebih banyak air dan sistem pengaliran air yang kompleks (Adams & Rowland 2003: 24).

2.2 Uji Toksisitas Sedimen

2.2.1 Rekomendasi *assay* dan kondisi pengujian

Uji toksisitas sedimen telah dilakukan dengan menggunakan banyak jenis organisme perairan tawar maupun laut. Uji tersebut telah diaplikasikan bagi organisme air, baik yang hidup di kolom air maupun yang hidup sebagai hewan bentik untuk memperoleh hasil akhir berupa pengaruh terhadap ketahanan hidup (*survival*), pertumbuhan, reproduksi, perkembangan larva dan luminesensi. Pemilihan tipe pengaruh tersebut terhadap hasil akhir yang ingin dicapai merupakan hal yang sangat penting dalam proses pengujian. Setiap zat toksik tidak dapat memberikan pengaruh yang sama terhadap proses metabolisme dan begitu juga terhadap hasil akhir yang akan diperoleh. Hal tersebut dikarenakan setiap zat toksik memiliki perbedaan cara pemaparan dan target reseptor yang berbeda-beda (Burton *dkk.* 2003: 120).

2.2.2 Persyaratan umum dalam pemilihan organisme uji

Organisme uji dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti dari hasil budidaya di laboratorium, penyuplai komersil, atau mendapatkan langsung dari alam. Laboratorium yang membudidayakan organisme uji seperti alga, ikan dan amphipoda dapat menyediakan organisme uji yang telah diketahui kualitas umur dan ukuran yang sama sepanjang tahun. Pengujian dengan menggunakan organisme uji yang berasal dari alam harus diperoleh dari wilayah yang bebas akan adanya pencemaran dan seluruh organisme yang akan digunakan pada saat

pengujian nantinya harus berasal dari sumber yang sama dan harus dilakukan proses aklimasi atau pengadaptasian dengan kondisi laboratorium terlebih dahulu (Burton *dkk.* 2003: 120--121).

Penggunaan organisme uji dalam uji toksisitas sedimen akan sangat memengaruhi terhadap hasil yang akan diperoleh pada saat dilakukannya pengujian. Tidak ada satu pun jenis organisme yang benar-benar tepat untuk dijadikan sebagai organisme uji pada uji toksisitas sedimen (Simpson *dkk.* 2005: 31). Oleh karena itu, ASTM (2003, lihat Simpson *dkk.* 2005: 31) telah memberikan tuntunan dalam memilih organisme uji dimana organisme uji idealnya harus memiliki beberapa kriteria, seperti: memiliki *database* toksikologi yang mempertunjukkan tingkat kesensitifan terhadap suatu bahan pencemar yang ada pada sedimen, memiliki kontak langsung dengan sedimen, dapat tersedia kapanpun baik dari hasil budidaya maupun diambil langsung dari alam, mudah dipelihara di laboratorium, mudah diidentifikasi, memiliki nilai ekologi dan ekonomi dan toleran terhadap karakteristik fisika-kimia suatu sedimen (misal ukuran butir sedimen atau *grain size*)

2.2.3 Pengujian terhadap spesies organisme laut

Jenis-jenis organisme perairan payau dan laut yang cukup sering dan berhasil digunakan dalam uji toksisitas sedimen antara lain ikan dari jenis *Cyprinodum variegatus* dan *Menidia beryllina*, amphipoda dari jenis *Rhepoxynius abronius*, *Ampelisca abdita*, *Eohaustorius estuarius*, *Grandidierella japonica* dan *Leptocheirus plumulosus*, bivalvia dari jenis *Haliotis rufescens*, *Crassostrea gigas*, dan *Mytilus* sp., ekinodermata dari jenis *Strongylocentrotus purpuratus*, *Dendraster excentricus*, dan *Arbacia punctulata*, polichaeta dari jenis *Dinophilus gyrociliatus* dan *Neanthea arenaceodentata* dan mysid dari jenis *Americamysis bahia* (Burton *dkk.* 2003: 129--130).

2.2.4 *Quality Assurance* dan *Quality Control* (QA/QC)

Quality assurance (QA) merupakan total program terintegrasi yang diatur dan dirancang untuk memberikan ketelitian dan ketepatan hasil sehingga diperoleh data yang dapat dijamin dan dipercaya. Beberapa program tersebut antara lain adalah prosedur di laboratorium, penanganan dan pengkoleksian sampel, kualitas data objektif, evaluasi data, *quality control* dan kualifikasi serta pelatihan para personil laboratorium. Sedangkan *quality control* (QC) sendiri merupakan tindakan khusus untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan standar yang telah ditentukan sebagai bagian dari program *quality assurance*. Beberapa hal yang termasuk dalam *quality control* antara lain standarisasi, kalibrasi, replika, kontrol dan rekomendasi sampel yang sesuai untuk menghasilkan estimasi nilai statistik dari data kepercayaan (Burton *dkk.* 2003: 139).

2.2.4.1 Sedimen kontrol

Setiap uji toksisitas sedimen harus menggunakan sedimen kontrol atau kadang kala disebut dengan kontrol negatif. Sedimen kontrol merupakan sedimen yang bebas akan adanya zat pencemar dan digunakan untuk menilai diterimanya suatu hasil uji, memberikan keterangan terhadap kesehatan organisme uji dan sebagai rekomendasi dari interpretasi terhadap pengaruh yang timbul pada uji toksisitas sedimen. Ada dua tipe sedimen kontrol yang dapat digunakan yaitu, sedimen yang diperoleh dari alam dan sedimen yang telah dipersiapkan terlebih dahulu seperti sedimen buatan atau sedimen yang telah diformulasikan (*spike sediment*). Sedimen kontrol yang berasal dari alam harus diperoleh dari wilayah perairan yang tidak tercemar dan disimpan di lemari pendingin dengan suhu sekitar 4°C dengan jangka waktu antara 2 hingga 8 minggu (Simpson *dkk.* 2005: 33; ASTM 2006b: 461).

2.2.4.2 Referensi sedimen

Referensi sedimen diperoleh dari wilayah perairan yang mengalami pencemaran dan digunakan untuk menilai pengaruh dari zat pencemar yang terkandung di dalam sedimen. Penggunaan referensi sedimen akan memberikan gambaran mengenai perkiraan terhadap kontribusi alam dan kegiatan manusia dalam menghasilkan suatu zat pencemar atau toksikan. Referensi sedimen yang berasal dari alam harus disimpan di lemari pendingin dengan suhu sekitar 4°C dengan jangka waktu antara 2 hingga 8 minggu (Simpson *dkk.* 2005: 33; ASTM 2006b: 461).

2.2.4.3 *Reference toxicant* (kontrol positif)

Seluruh uji toksisitas harus memiliki kontrol positif atau yang disebut dengan *reference toxicant*. Uji *reference toxicant* (*reftox*) dilakukan untuk mengetahui kinerja laboratorium dan kesehatan biota uji. Uji *reftox* digunakan untuk mengetahui mortalitas atau perubahan kepekaan yang mungkin terjadi sebagai akibat aklimatisasi, penyakit atau penanganan stress. Uji *reftox* yang dilakukan bersamaan dengan uji tertentu, sebaiknya dilakukan secara teratur (misalnya bulanan yang dilakukan di laboratorium), dan terutama untuk setiap biota uji yang diperoleh dari alam sehingga dapat diketahui berapa tingkat sensitivitas biota uji yang didapat di alam apabila dipaparkan dengan suatu bahan pencemar agar dapat digunakan dalam uji toksisitas (ACCPMS II 1995: 6--7).

Uji *reftox* harus dilakukan bersamaan dengan uji sedimen dengan tujuan agar dapat menentukan kemungkinan adanya perubahan kondisi pada saat pengujian dengan biota. *Reference toxicant* seperti kadmium, kuprum atau tembaga, ammonia, dan sodium duodesil sulfat (SDS) merupakan yang cocok dan sering digunakan sebagai *reftox* (ASTM 2006b: 467). Menurut Lee 1980 (*lihat* ASTM 2006b: 467) tidak ada satu pun *reference toxicant* yang dapat dijadikan acuan untuk digunakan dalam mengukur suatu kondisi pada saat pengujian dengan biota karena masing-masing memiliki karakternya sendiri. Oleh karena

itu, dalam suatu laboratorium tidak mungkin dilakukan pengujian *reflex* yang menggunakan lebih dari satu jenis *reference toxicant* secara rutin.

2.2.4.4 Organisme uji

Hanya organisme sehat dengan kriteria ukuran tubuh dan umur yang sama serta siklus hidup yang telah diketahui yang dapat dijadikan sebagai organisme uji dalam uji toksisitas. Identifikasi taksonomi dari organisme uji harus ditetapkan oleh seorang ahli taksonomi yang memenuhi syarat. Organisme yang diperoleh dari hasil budidaya di laboratorium harus diketahui riwayat dari kondisi budidaya, pakan organisme yang digunakan dan kondisi air selama proses budidaya tersebut (Burton *dkk.* 2003: 140--141). Organisme yang diperoleh dari alam harus dilakukan proses aklimasi terlebih dahulu di laboratorium sebelum digunakan dalam pengujian dengan jangka waktu minimal selama satu minggu dan lebih baik jika selama dua minggu (ACCPMS II 1993: 14; Simpson *dkk.* 2005: 34).

2.2.4.5 Replika

Jumlah replika yang akan digunakan harus mencukupi saat perhitungan terhadap variabilitas dalam respon organisme uji. Uji toksisitas sedimen biasanya membutuhkan empat sampai lima replika pada setiap perlakuan (Burton *dkk.* 2003: 141).

2.2.4.6 Pengukuran kualitas air

Pengukuran kualitas air dilakukan minimal saat awal dimulai dan berakhirnya suatu uji, namun lebih baik lagi jika dilakukan setiap 24 jam sekali. Parameter yang diukur dalam uji toksisitas sedimen antara lain oksigen terlarut (DO), salinitas, suhu, dan pH (Burton *dkk.* 2003: 141).

2.2.4.7 Kriteria keabsahan hasil uji

Menurut ASTM (2003, lihat Simpson *dkk.* 2005: 34--35) kriteria untuk menentukan keabsahan suatu hasil uji merupakan komponen yang sangat penting dari prosedur dalam *quality assurance*. Kriteria keabsahan hasil uji pada uji toksisitas sedimen selama 10 hari dengan menggunakan invertebrata sebagai organisme uji adalah tingkat kemampuan organisme uji untuk dapat bertahan hidup (*survival*) pada kontrol minimal mencapai 90 persen. Sebagai tambahan, kondisi kualitas parameter air seperti pH, salinitas, suhu dan DO yang diukur selama berlangsungnya proses pengujian juga tidak melebihi dari batas kondisi optimal (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Kondisi optimum parameter kualitas air dalam uji toksisitas sedimen yang direkomendasikan oleh ASTM 2006

Parameter Kualitas Air	Kondisi Optimum	Referensi
Salinitas (d disesuaikan dengan jenis amphipoda yang digunakan)	28 ppt (<i>Ampelisca abdita</i> dan <i>Rhepoxynius abronius</i>) 20 ppt (<i>Eohaustorius estuarius</i> dan <i>Leptocheirus plumulosus</i>)	ASTM 2006: 486
Suhu (d disesuaikan dengan suhu habitat asal dari jenis amphipoda yang digunakan)	15°C (<i>Eohaustorius estuarius</i> dan <i>Rhepoxynius abronius</i>) 20°C (<i>Ampelisca abdita</i>) 25°C (<i>Leptocheirus plumulosus</i>)	ASTM 2006: 486
pH	7,7	ASTM 2006: 488
<i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	> 60% dari kondisi kejenuhan (> 4,4 mg/L)	ASTM 2006: 488

2.3 Ordo Amphipoda

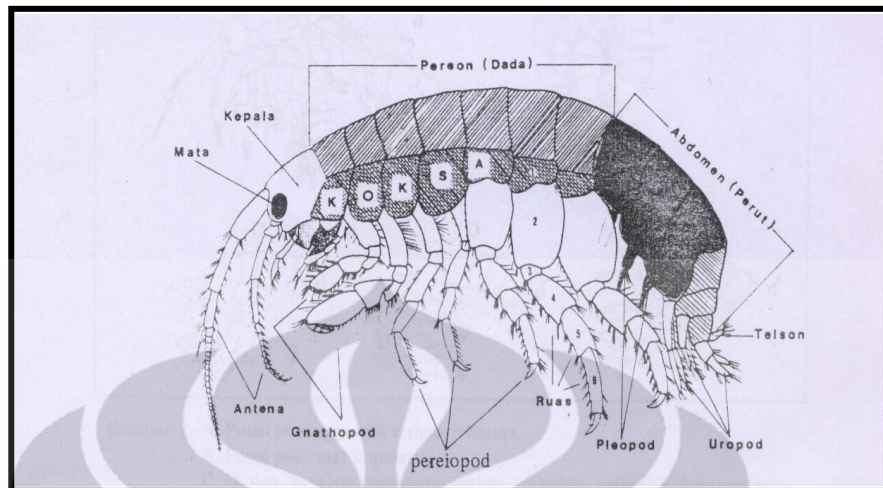
Menurut Mc Laughlin (1980, lihat Aswandy 1984: 124) amphipoda berasal dari kata amphis, yang artinya pada kedua sisi dan pous, yang artinya kaki, sehingga amphipoda berarti hewan yang mempunyai kaki pada kedua sisi tubuhnya dan digolongkan ke dalam krustasea tingkat rendah. Pada umumnya

amphipoda mempunyai ukuran tubuh relatif kecil, yaitu mempunyai kisaran panjang 1 sampai 50 mm (Pechenik 1996: 407). Amphipoda paling besar yang pernah ditemukan adalah anggota suku Lysianassidae dengan panjang tubuh 28 cm, hewan tersebut ditemukan pada tahun 1969 dan berada di kedalaman 5.300 m di perairan Samudera Pasifik (Barnes 1987: 645).

Amphipoda merupakan salah satu bangsa terbesar setelah Isopoda dari tujuh bangsa yang termasuk dalam induk-bangsa Peracarida. Bangsa lainnya adalah Cumacea, Isopoda, Spelaeogriphacea, Mysidacea, Tanaidacea, dan Thermosbaenacea. Lebih dari 6.000 spesies amphipoda telah teridentifikasi dan terangkum dalam \pm 120 suku dan terbagi dalam empat anak bangsa, yaitu Gammaridea, Caprellidea, Ingolfiellidea, dan Hyperidea (Hickman 1973: 551; Pechenik 1996: 407; ITIS 2011: 1).

2.3.1 Morfologi

Amphipoda tidak mempunyai karapas yang menutupi dada (thoraks). Amphipoda umumnya berbentuk gepeng (*laterally compressed*), mempunyai mata majemuk yang tidak bertangkai (sessile) dan biasanya tidak terlalu besar. Tubuh terbagi atas tiga bagian yaitu: kepala, dada dan perut (Gambar 2.1). Dada (thoraks) terdiri dari tujuh segmen yang disebut pereonit dan bagian dada yang selalu disokong oleh delapan pasang umbai-umbai (appendages). Pasangan pertama adalah maksiliped, pasangan kedua dan ketiga selalu bermodifikasi sebagai alat pemegang (*prehensile organ*) yang disebut gnathopod. Gnathopod pada yang jantan disamping berfungsi sebagai alat pemegang makanan juga berfungsi untuk memegang tubuh lawan jenisnya pada waktu kopulasi dan pembuahan. Pasangan lainnya berfungsi untuk merayap atau berjalan disebut pereopod. Pada perut terdapat enam pasang umbai, tiga pasang umbai untuk berenang yang disebut pleopod dan tiga pasang lagi untuk melompat disebut uropod (Aswandy 1984: 125).



Gambar 2.1 Morfologi amphipoda
[Sumber: Barnard (1971, lihat Aswandy 1984: 125).]

2.3.2 Habitat

Amphipoda adalah hewan kosmopolit, yang dapat hidup di daerah tropis, subtropis, dan juga di daerah dingin seperti kutub. Hewan tersebut dapat hidup di air laut, air payau, dan di darat. Pada saat hidup di air laut amphipoda mendiami berbagai macam habitat dengan dasaran pasir atau lumpur di zona intertidal, littoral, dan sublittoral dan ketika hidup di darat, amphipoda dapat ditemukan di sungai, danau, dan di atas tanah yang lembab (Aswandy 1981: 9).

2.3.3 Anak bangsa Gammaridea

Gammaridea merupakan salah satu anak bangsa amphipoda yang mempunyai jenis paling banyak, yaitu lebih dari 4.700 jenis yang terangkum dalam 91 famili, 670 marga dan 850 jenis di antaranya hidup di lingkungan bukan laut dengan panjang tubuh hanya 1 mm sampai dengan 15 mm (Barnard 1981: 3; Pechenik 1996: 407). Anak bangsa Gammaridea dapat hidup di perairan tawar dan laut pada daerah litoral dan abisal, mulai dari wilayah tropik, subtropik hingga wilayah kutub dengan kebiasaan berenang bebas atau juga sebagai peliang (Lincoln 1979: 18).

Beberapa anggota Gammaridea mempunyai kebiasaan membuat liang di dalam sedimen, di bawah rumput laut, atau pada tangkai alga dengan menggunakan anggota tubuh yang disebut dengan pereopod yang merupakan lengan yang dilengkapi dengan duri-duri kuat untuk menggali liang (Barnard 1981: 7). Pola makan anak bangsa Gammaridea juga bervariasi yaitu mulai dari *deposit feeder*, herbivora, karnivora sampai parasit eksternal pada hewan invertebrata dan ikan, namun sebagian besar adalah *deposit feeder*, yaitu memakan endapan berupa lumpur atau sisa dari hewan atau tumbuhan yang telah mati di dalam sedimen (Barnes 1987: 561; Pechenik 1996: 407).

Anak bangsa Gammaridea tidak mengalami stadium larva sehingga setelah ditetaskan, Gammaridea muda (*juvenile*) akan menyerupai induknya dan berada selama beberapa jam atau beberapa hari di dalam kantung telur induknya. Gammaridea muda akan mengalami *molting* selama berada dalam kasang telur induknya, yaitu sehari atau dua hari setelah ditetaskan. Sedangkan pada Gammaridea dewasa, kecepatan *molting* dan pertumbuhan lambat laun akan berkurang. Peristiwa *molting* mungkin hanya akan berlangsung setiap 20--30 hari sekali atau lebih (Barnard 1981: 8).

Beberapa jenis amphipoda yang termasuk ke dalam anak bangsa Gammaridea juga telah banyak ditemukan di perairan Indonesia seperti di Teluk Jakarta (Azis *dkk.* 1998: 64); di Teluk Bayur dan Teluk Bungus, Sumatera Barat (Aswandy 1999: 70); di Muara Sungai Digul dan Arafura, Papua (Aswandy 2002: 84); di Kalimantan Timur (Aswandy (2001, *lihat* Aswandy & Soedibjo 2006: 61)); di Selat Sunda (Aswandy (2006, *lihat* Aswandy & Soedibjo 2006: 61)) dan di Kepulauan Karimun Jawa (Aswandy & Soedibjo 2006: 55) (Tabel 2.2).

Anak bangsa Gammaridea terdiri atas banyak suku, antara lain: Acanthomotozomatidae, Ampeliscidae, Amphilocidae, Ampithoidae, Aoridae, Atylidae, Bateidae, Cheluridae, Corophiidae, Dexaminidae, Eusiridae, Gammaridae, Haustoriidae, Hyalidae, Isaeidae, Ischyroceridae, Lafistiidae, Liljeborgidae, Lysianassidae, Oedicerotidae, Photidae, Pleustidae, Pontogeneiidae, Phoxocephalidae, Stenothoidae, dan Talitridae (Gosner 1971: 493; ITIS 2011: 1).

Tabel 2.2 Beberapa jenis Gammaridea yang ditemukan dari hasil penelitian yang dilakukan di perairan Indonesia

Lokasi	Jenis Gammaridea yang ditemukan	Referensi
Teluk Jakarta	<i>Ampelisca brevicornis</i> , <i>Byblis</i> sp., <i>Cerapus tubularis</i> , <i>Eriopisa</i> sp., <i>Eriopisella</i> sp., <i>Gammaropsis</i> sp., <i>Idunella</i> sp., <i>Jassa</i> sp., <i>Paraphoxus</i> sp., <i>Uroethoe</i> sp.	Azis dkk. 1998: 64
Teluk Bayur dan Teluk Bungus, Sumatera Barat	<i>Ampelisca brevicornis</i> , <i>Eriopisa elongata</i> , <i>Photis</i> sp., <i>Cerapus tubularis</i> , <i>Grandidierella</i> sp. , <i>Idunella</i> sp., <i>Monoculodes</i> sp., <i>Gammaropsis</i> sp., <i>Byblis</i> sp., <i>Jassa</i> sp., <i>Leucothoe hyhelia</i>	Aswandy 1999: 70
Kalimantan Timur	<i>Amphelisca excavate</i> , <i>Amphelisca fusca</i> , <i>Amphelisca miops</i> , <i>Amphitoe</i> sp., <i>Byblis</i> sp., <i>Cerapus tubularis</i> , <i>Eriopisa</i> sp., <i>Gammaropsis</i> sp., <i>Leucothoe</i> sp., <i>Paraphoxus</i> sp., <i>Photis</i> sp., <i>Tiron</i> sp.	Aswandy (2001, lihat Aswandy & Soedibjo 2006: 61)
Digul dan Arafura, Papua	<i>Amphelisca tridens</i> , <i>Byblis</i> sp., <i>Eriopisa elongata</i> , <i>Idunella</i> sp., <i>Monoculodes</i> sp., <i>Photis</i> sp., <i>Synchelidium</i> sp.	Aswandy 2002: 84
Selat Sunda	<i>Ampelisca brevicornis</i> , <i>Gammaropsis</i> sp., <i>Paraphoxus</i> sp., <i>Eriopisa elongata</i>	Aswandy (2006, lihat Aswandy & Soedibjo 2006: 61)
Kepulauan Karimun Jawa, Jawa Tengah	44 jenis dari 16 famili dengan jenis yang dominan adalah <i>Byblis</i> sp., <i>Ampelisca brevicornis</i> , <i>Eriopisa laakona</i> dan <i>Ampelisca cyclops</i>	Aswandy & Soedibjo 2006: 55

Menurut Simpson dkk. (2005: 39) amphipoda jenis *Grandidierella japonica* diklasifikasikan ke dalam anak bangsa Gammaridea dan merupakan hewan infauna dengan karakteristik *tube dweller* atau hidup di dalam tabung yang mendiami berbagai macam jenis sedimen mulai dari sedimen berlumpur hingga berpasir dan hidup di perairan laut hingga estuari pada wilayah beriklim sedang di Australia bagian barat. *Grandidierella japonica* dapat ditemukan pada sedimen dengan ketebalan 3 cm dari lapisan atas sedimen. Hewan tersebut merupakan detritivor dimana memakan sisa-sisa bahan organik dan juga alga yang terdapat pada sedimen melalui aktivitas menggali atau *burrowing* dan memiliki peranan

yang sangat penting yaitu sebagai sumber makanan bagi para hewan muda atau *juvenile* maupun spesies hewan laut lainnya yang memiliki tingkat trofik yang lebih tinggi.

Hewan jantan dapat tumbuh mencapai panjang sekitar 15 mm, sedangkan betinanya mencapai panjang sekitar 12 mm. Terdapat dua cara proses pemaparan terhadap bahan pencemar yang terjadi pada *Grandidierella japonica*, yaitu lewat kontak kulit secara langsung dengan bahan pencemar dan lewat proses pencernaan partikel dimana akan terjadi proses penyerapan bahan pencemar. Proses pencernaan partikel sedimen tersebut merupakan jalan utama untuk masuknya bahan pencemar seperti logam berat (Simpson *dkk.* 2005: 39).

Grandidierella sp. menurut ITIS (2011: 1) merupakan salah satu jenis amphipoda yang masuk ke dalam anak bangsa Gammaridea dari suku Aoridae. Menurut ITIS (2011: 1) taksonomi dari *Grandidierella* sp. yang dijadikan sebagai hewan uji pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Arthropoda
Subfilum	: Crustacea (Brünnich, 1772)
Klass	: Malacostraca (Latreille, 1802)
Subklass	: Eumalacostraca (Grobber, 1892)
Superordo	: Peracarida (Calman, 1904)
Ordo	: Amphipoda (Latreille, 1816)
Subordo	: Gammaridea (Latreille, 1802)
Famili	: Aoridae (Walker, 1908)
Genus	: <i>Grandidierella</i> sp. (Coutière, 1904)

2.4 Amphipoda sebagai Organisme Uji

Sebagian besar, standarisasi uji toksisitas sedimen di berbagai negara telah menggunakan amphipoda sebagai organisme uji (Tabel 2.3). Hal ini dikarenakan amphipoda merupakan salah satu kelompok yang memiliki sifat yang sangat sensitif diantara kelompok hewan bentik lainnya, adanya keterkaitan secara ekologi, penyebarannya yang sangat luas, tersedia dalam jumlah yang banyak di

alam dan mudah dibudidayakan di laboratorium (Ré dkk. 2009: 1323). Selain itu, lembaga lingkungan seperti *American Society for Testing and Materials* dan *Environment Canada* juga telah merekomendasikan beberapa spesies amphipoda bentik seperti *Ampelisca abdita*, *Eohaustorius estuarius*, *Leptocheirus plumulosus*, dan *Rhepoxynius abronius* sebagai biota uji standar dalam uji biologis sedimen (ASTM 2006b: 445).

Pemilihan keempat spesies amphipoda tersebut berdasarkan adanya kriteria utama yang dimiliki. Pertama memiliki *database* toksikologi yang mempertunjukkan tingkat kesensitifan terhadap suatu bahan pencemar yang ada pada sedimen. Kedua memiliki kontak langsung dengan sedimen. Ketiga dapat tersedia kapanpun baik dari hasil budidaya maupun diambil langsung dari alam. Keempat mudah dipelihara di laboratorium. Terakhir toleran terhadap karakteristik fisika-kimia suatu sedimen (misal ukuran butir sedimen atau *grain size*) (ASTM 2006b: 445).

Tabel 2.3 Jenis amphipoda yang telah digunakan sebagai organisme uji toksisitas sedimen di beberapa negara

Jenis Amphipoda	Negara/Lembaga	Referensi
<i>Melita plumulosa</i> <i>Grandidierella japonica</i> <i>Corophium colo</i> <i>Corophium insidiosum</i>	Australia	Simpson dkk. (2005: 30)
<i>Corophium multisetosum</i>	Portugal	Ré dkk. 2007: 89
<i>Ampelisca brevicornis</i>	Spanyol	Gómez dkk. 2009: 1068
<i>Grandidierella japonica</i>	Jepang	Simpson dkk. 2005: 39
<i>Hautorioides indivisus</i> <i>Mandibulophoxus mai</i> <i>Monocorophium acherusicum</i> <i>Haustorioides koreanus</i>	Korea	Lee dkk. 2005: 17
<i>Ampelisca abdita</i> <i>Eohaustorius estuarius</i> <i>Leptocheirus plumulosus</i> <i>Rhepoxynius abronius</i> <i>Hyalella azteca</i> <i>Lepidactylus dytiscus</i> <i>Grandidierella japonica</i>	ASTM (<i>American Society for Testing and Materials</i>)	ASTM 2006b: 445, 447

2.5 Sedimen

Sedimen adalah padatan yang biasanya terdiri dari pasir dan lumpur yang mengendap jika air didiamkan tidak terganggu selama beberapa waktu (Fardiaz 1992: 25--26). Sedimen merupakan bagian alami dan penting dari sistem sungai. Jumlah muatan sedimen di sungai dapat meningkat akibat adanya aktivitas manusia seperti pertanian dan industri. Keberadaan sedimen dalam jumlah yang terlalu banyak dapat menutupi lapisan kerikil yang berada di dasar perairan. Sedimen yang tersapu ke laut dapat menyumbat estuari dan terumbu karang (Cunningham & Cunningham 2002: 237).

Logam berat yang terlarut dalam air akan berikatan dengan partikel organik yang terdapat dalam sedimen tersuspensi sehingga terjadi absorpsi oleh permukaan partikel sedimen. Biota yang mencari makan di dasar perairan akan memiliki peluang yang besar untuk terpapar oleh logam berat yang telah terikat di dasar perairan dan membentuk sedimen. Partikel organik dalam sedimen dan kapasitas penyerapan logam sangat berhubungan dengan ukuran partikel dan luas permukaan penyerapan sehingga konsentrasi logam dalam sedimen biasanya dipengaruhi oleh ukuran partikel (Rahman 2006: 94; Widowati *dkk.* 2008: 184).

Menurut Munir (1994, *lihat* Sahara 2009: 78) semakin kecil ukuran butir sedimen, semakin besar kandungan logam beratnya. Ukuran butir sedimen yang kecil seperti lumpur, memiliki luas permukaan yang besar dengan butir yang lebih rapat untuk mengikat logam dibanding butir sedimen yang berukuran lebih besar. Tipe sedimen pasir berlumpur memiliki pori yang cukup besar sehingga daya adsorpsi sedimen terhadap logam cukup rendah.

2.6 Pencemaran Sedimen Teluk Jakarta

Teluk Jakarta terletak antara Tanjung Pasir di sebelah barat dan Tanjung Karawang di sebelah timur, dan secara administratif terletak di tiga propinsi yaitu Propinsi Banten, DKI Jakarta dan Propinsi Jawa Barat (Arifin 2008: 212). Teluk Jakarta merupakan daerah estuari dengan perairan dangkal dimana kedalaman

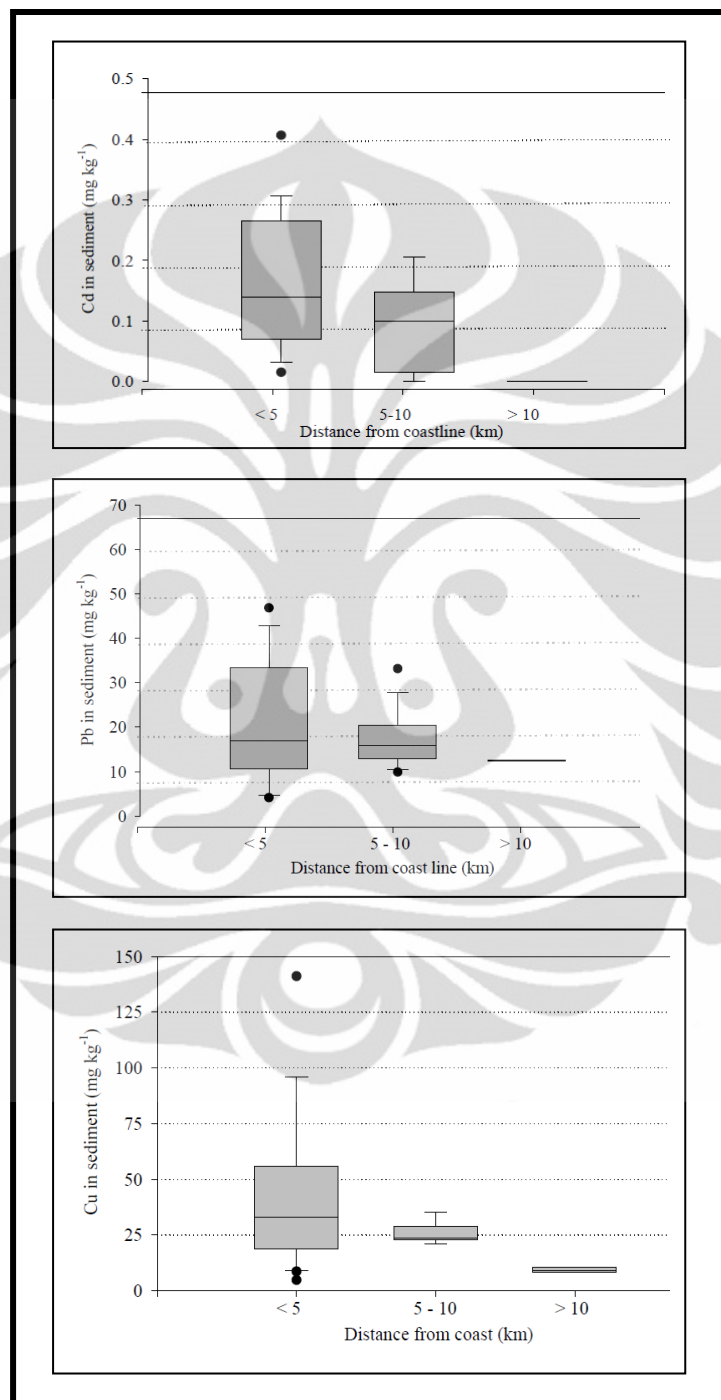
lautnya kurang lebih 30 meter dan dibatasi oleh garis bujur $106^{\circ}43'00''$ BT-- $106^{\circ}59'30''$ BT dan garis lintang $5^{\circ}56'15''$ LS-- $6^{\circ}55'30''$ LS (Muchtart 2008: 102).

Beroperasinya pabrik dan industri di wilayah pesisir Teluk Jakarta dan pelabuhan-pelabuhan seperti di Muara Baru, Sunda Kelapa dan Tanjung Priok memberikan dampak buruk terhadap kualitas sedimen Teluk Jakarta. Akibatnya sedimen memiliki aroma yang sangat tajam, berwarna hitam pekat dan hal tersebut dapat dijumpai di muara-muara sungai Teluk Jakarta dan di dasar perairan sekitar pelabuhan. Penyebab utama dari perubahan kualitas sedimen tersebut adalah adanya buangan limbah pabrik dan industri yang bermuara ke laut dan limbah minyak yang terbuang dari kapal dan perahu motor dan pada akhirnya limbah tersebut lambat laun akan mengendap ke dalam sedimen di dasar perairan Teluk Jakarta (Helfinalis 2008: 54).

Limbah yang masuk ke perairan Teluk Jakarta mengandung bahan beracun dan berbahaya (B3). Salah satu unsur B3 tersebut adalah logam berat (Rochyatun *dkk.* 2006: 35). Menurut Djuaningsih *dkk.* (1982, lihat Rochyatun & Rozak 2007: 29) penyebab utama logam berat menjadi bahan pencemar berbahaya yaitu logam berat tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) oleh organisme hidup di lingkungan dan terakumulasi ke lingkungan, terutama mengendap di dasar perairan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara adsorpsi dan kombinasi. Biota air yang hidup dalam perairan tercemar logam berat, menurut Rai *dkk.* (1981, lihat Rochyatun & Rozak 2007: 29) dapat mengakumulasi logam berat tersebut dalam jaringan tubuhnya. Makin tinggi kandungan logam dalam perairan akan semakin tinggi pula kandungan logam berat yang terakumulasi dalam tubuh hewan tersebut.

Konsentrasi logam berat dalam sedimen di perairan Teluk Jakarta dalam jangka waktu sekitar 20 tahun mengalami peningkatan yang tajam (Tabel 2.4). Hal ini diakibatkan oleh peningkatan pertumbuhan industri yang pesat di kawasan pantai dan kegiatan pelabuhan di wilayah tersebut. Konsentrasi unsur logam (Pb, Cd dan Cu) dalam sedimen umumnya tinggi di sekitar pantai barat dan pantai timur Teluk Jakarta, dan konsentrasi tertinggi terjadi terutama di daerah-daerah muara sungai (estuari) pada jarak <5 km dari garis pantai (Gambar 2.2). Konsentrasi logam Pb, Cd, dan Cu di sedimen cenderung menurun semakin jauh

dari garis pantai sehingga dapat disimpulkan bahwa tingkat pencemaran sedimen di daerah muara lebih tinggi dibandingkan dengan pencemaran sedimen di laut lepas (Arifin 2008: 216).



Gambar 2.2 Kecenderungan konsentrasi logam berat Cd (atas), Pb (tengah) dan Cu (bawah) dalam sedimen Teluk Jakarta berdasarkan jarak dari garis pantai [Sumber: Arifin 2004: 20--21]

Tabel 2.4 Konsentrasi logam berat dalam sedimen di Teluk Jakarta dalam jangka waktu 20 tahun

Lokasi Penelitian	Jumlah Stasiun/Muara	Jenis Logam	Konsentrasi (ppm)	Tahun Penelitian	Referensi
Teluk Jakarta	13 stasiun	Hg	0,13--1,63	1990	Hutagalung (1994, <i>lihat</i> Arifin 2008: 217)
		Pb	79,5--176,5		
		Cd	0,9--2,66		
		Cu	7,2--53,9		
		Cr	10,5--24		
Teluk Jakarta	23 stasiun	Pb	2,65--42,91	2003	Arifin <i>dkk.</i> (2003, <i>lihat</i> Arifin 2008: 217)
		Cd	0,04--0,5		
		Cu	8,62--186,75		
		Zn	51,88--480,5		
		Ni	2,87--28,02		
Teluk Jakarta	23 stasiun	Pb	3,23--57,76	2004	Susianingsih (2005, <i>lihat</i> Arifin 2008: 217)
		Cd	0,01--0,28		
		Cu	4,79--76,78		
		Zn	40,77--408,87		
		Ni	1,909--21,386		
Teluk Jakarta	2 muara (M. Ancol dan M. Sunter)	Pb	21,06--40,98	2009	Batubara 2009: 30
		Cu	12,8--38,91		
Teluk Jakarta	5 muara (Muara Ancol, Muara Bekasi, Muara Sunter, Muara Cakung, Muara Angke)	Zn	97,49--237,47	2009	Fathiyah 2009: 22; Melissa 2009: 29; Yenty 2009: 20; Nurmayanti 2009: 26
		Pb	15,89--40,59		
		Cu	15,94--62,99		
		Cr	15,41--33,43		
Teluk Jakarta	5 muara (Muara Karang, Muara Baru, Muara Tawar, Muara Tiram, Muara Sunda Kelapa)	Cr	278,52--1101,52	2010	Herianto 2010: 26; Septiansa 2010: 36
		Zn	52,83--214,22		
		Pb	12,71--45,55		
		Cu	40,2--150,34		

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

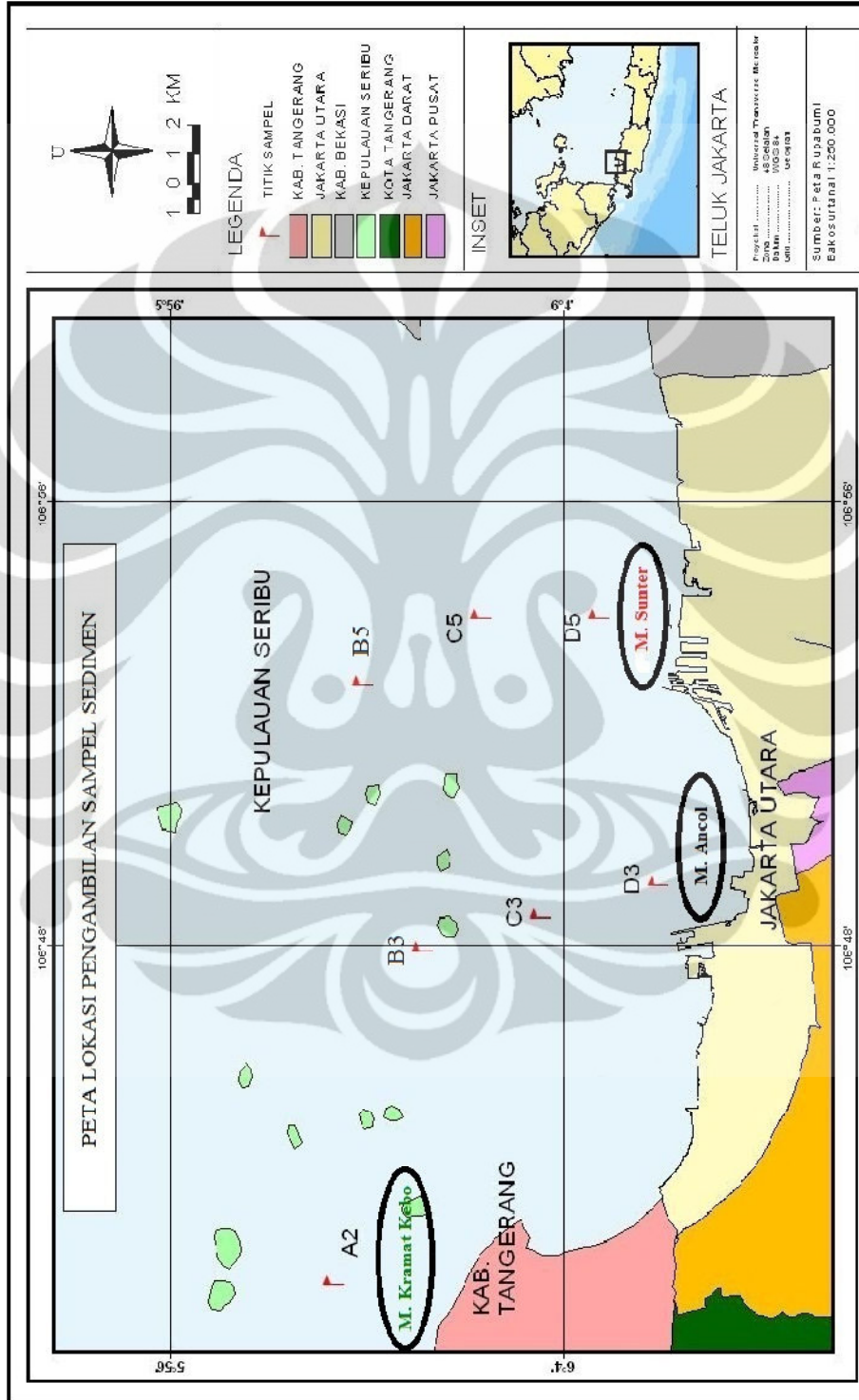
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi pengambilan sampel sedimen kontrol dilakukan di Muara Kramat Kebo, Tangerang (St. A2) pada tanggal 9 Agustus 2010. Sedangkan lokasi pengambilan sampel referensi sedimen dilakukan di perairan Teluk Jakarta yang terdiri atas dua muara yaitu Muara Ancol (St. D3, C3, dan B3) dan Muara Sunter (St. D5, C5, dan B5) pada tanggal 4 Agustus 2010 (Gambar 3.1). Stasiun penelitian masing-masing memiliki jarak yang terbagi atas tiga bagian yaitu, ≤ 5 km dari garis pantai (stasiun A2, D3, dan D5), 5 km dari garis pantai (stasiun C3 dan C5), dan 10 km dari garis pantai (stasiun B3 dan B5). Pengambilan sampel *Grandidierella* sp. sebagai organisme uji dilakukan di perairan Muara Kramat Kebo, Tangerang.

Koordinat masing-masing stasiun pengambilan sampel dicatat dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) (Tabel 3.1). Pemeliharaan atau aklimasi sampel amphipoda dilakukan di laboratorium basah, P2O LIPI Ancol. Sedangkan pelaksanaan uji toksisitas sedimen dilakukan di laboratorium ekotoksikologi, P2O LIPI Ancol.

Tabel 3.1 Koordinat stasiun pengambilan sampel sedimen

Stasiun	Latitude (Lintang)	Longitude (Bujur)	Deskripsi
A2	106°70'33''	5°98'33''	Muara Kramat Kebo (< 5 km dari garis pantai)
D5	106°90'67''	6°07'33''	Muara Sunter (< 5 km dari garis pantai)
D3	106°82'17''	6°09'17''	Muara Ancol (< 5 km dari garis pantai)
C5	106°90'00''	6°03'50''	5 km dari garis pantai
C3	106°80'83''	6°05'50''	5 km dari garis pantai
B5	106°80'00''	6°01'67''	10 km dari garis pantai
B3	106°88'67''	5°99'00''	10 km dari garis pantai



Gambar 3.1 Peta lokasi stasiun pengambilan sampel sedimen

3.2 Alat

3.2.1 Peralatan Lapangan

Peralatan yang digunakan dalam pengambilan sampel biota dan sedimen di lapangan adalah *Grab Smith Mc Intyre* dengan luas bukaan $0,5 \text{ m}^2$, *bowl aluminium*, botol plastik sampel sedimen ukuran 1L [Nalgene], *ice box*, *plastic container* 2 buah, aerator 4 buah, gayung, ember plastik ukuran sedang dan besar, baki plastik, gunting, alat tulis, *GPS (Global Positioning System)* [Garmin GPS Map 76], papan jalan, *cooler box* [Marina cooler], sendok *stainless steel*, tali tambang dan kamera digital [Sony]. Peralatan yang digunakan dalam pengukuran parameter perairan adalah tabung Van Dorn untuk mengambil air, refraktometer [Fisherbrand] untuk mengukur salinitas, pH meter [Eijkelkamp 18.26] untuk mengukur pH dan suhu air serta DO meter [YSI 55] untuk mengukur konsentrasi oksigen terlarut.

3.2.2 Peralatan Laboratorium

Peralatan yang digunakan dalam pemeliharaan biota di laboratorium basah adalah akuarium dengan ukuran $38 \times 15 \times 20 \text{ cm}$, *aerator*, *beaker glass* 1000 ml [Pyrex], alat penghitung (*tally counter*), saringan bentos dengan ukuran $500 \mu\text{m}$ dan $250 \mu\text{m}$, selang plastik dengan ukuran besar dan kecil, ember plastik ukuran sedang dan besar, tutup *beaker glass*, tutup akuarium, gayung, lembar data (*data sheet*) dan alat untuk mengukur kualitas air yang terdiri dari refraktometer [Fisherbrand] untuk mengukur salinitas, pH meter [Eijkelkamp 18.26], dan DO meter [YSI 55 Dissolved Oxygen]. Sedangkan peralatan yang digunakan untuk uji toksisitas di laboratorium ekotoksikologi adalah *beaker glass* 1000 ml [Pyrex], gelas ukur 250 ml dan 1000 ml [Pyrex], labu ukur 1000 ml [Pyrex], batang pengaduk, tutup *beaker glass*, tip dan mikropipet [Eppendorf], pipet *pasteur*, saringan bentos dengan ukuran $250 \mu\text{m}$ dan $500 \mu\text{m}$, aerator, lembar data (*data sheet*), kamera digital [Sony], sarung tangan karet, timbangan digital, lampu UV dan alat untuk mengukur kualitas air yang terdiri dari refraktometer [Fisherbrand]

untuk mengukur salinitas, pH meter [Eijkelkamp 18.26], dan DO meter [YSI 55 Dissolved Oxygen].

3.3 Bahan

3.3.1 Sampel dan Bahan Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan meliputi sampel amphipoda dan sedimen. Sampel amphipoda diambil dari stasiun Muara Sungai Kramat Kebo dan sampel sedimen diambil dari 7 stasiun, yaitu 1 stasiun berasal dari Muara Sungai Kramat Kebo dan 6 stasiun berasal dari perairan Teluk Jakarta. Kedua sampel diambil pada waktu yang berbeda. Sampel amphipoda yang digunakan dalam pengujian ialah spesies *Grandidierella* sp. dengan panjang 3--5 mm. Bahan yang dibutuhkan saat pengambilan sampel adalah aquades, *icepack*, label, dan tisu.

3.3.2 Bahan Laboratorium

Bahan yang digunakan dalam pengujian sampel di laboratorium adalah akuades, air laut yang telah diaerasi dan disterilisasi dengan sinar ultra violet dan stok CdCl_2 (*Cadmium chlorida*) 1000 ppm.

3.4 Cara Kerja

3.4.1 Pengambilan Sampel Amphipoda di Lapangan

Sampel amphipoda (Gambar 3.2) diambil dari Muara Sungai Kramat Kebo, Tangerang. Cara kerja pengambilan sampel amphipoda di lapangan ditampilkan pada diagram Gambar 3.3. Pencarian biota amphipoda dilakukan dengan cara mengambil sejenis alga di dalam perairan sekitar muara dengan menggunakan tangan secara langsung. Berdasarkan observasi sebelumnya, amphipoda banyak ditemukan berada pada alga tersebut, baik yang masih hidup ataupun yang telah mati sehingga tidak perlu mencari amphipoda pada sedimen di

dasar perairan. Selanjutnya sampel amphipoda yang telah didapat bersamaan dengan alga tersebut dimasukkan ke dalam *plastic container* yang berisi air laut. Suhu dan konsentrasi oksigen agar tetap terjaga selama di lapangan dan pada saat perjalanan menuju laboratorium maka diberi aerasi serta *icepack*. Pengambilan sampel diusahakan dilakukan sebanyak mungkin dimaksudkan agar sampel yang didapat mencukupi untuk kebutuhan pengujian di laboratorium. Pengukuran kualitas air yang terdiri atas DO, salinitas, suhu dan pH juga dilakukan ketika pengambilan amphipoda di lapangan.



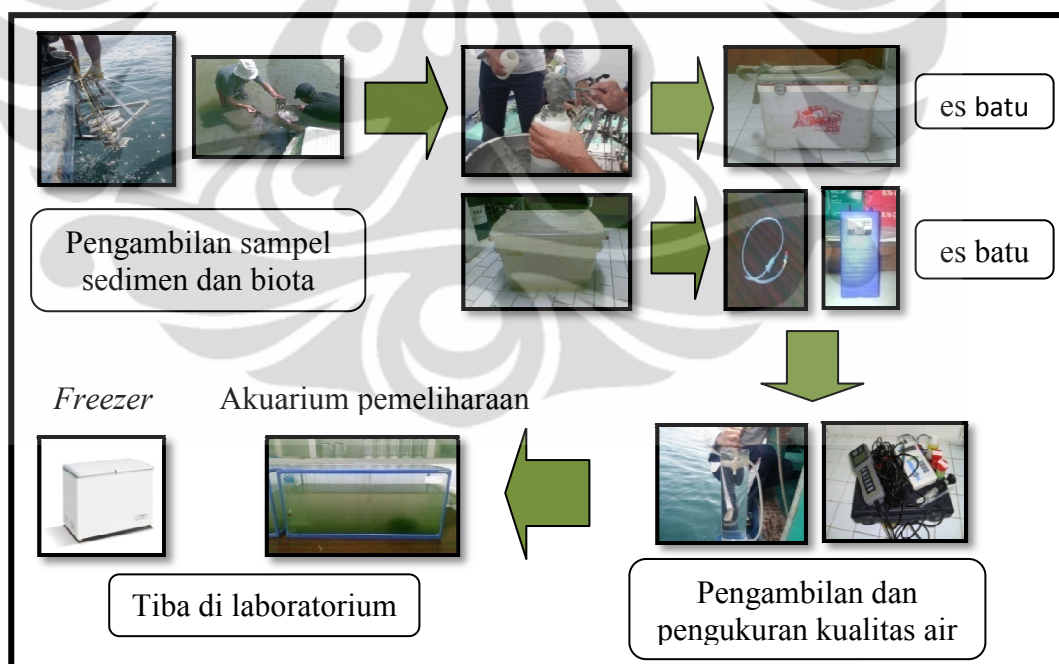
Gambar 3.2 Amphipoda jenis *Grandidierella* sp. yang ditemukan dan digunakan sebagai organisme uji dalam penelitian [Sumber: dokumentasi laboratorium ekotoksikologi 2010]

3.4.2 Pengambilan Sampel Sedimen di Lapangan

Cara kerja pengambilan sampel sedimen di lapangan ditampilkan pada diagram Gambar 3.3. Lokasi pengambilan sedimen berjumlah 7 stasiun, yaitu Muara Kramat Kebo (A2), Muara Sunter (D5, C5, dan B5) dan Muara Ancol (D3, C3, dan B3). Pemilihan stasiun tersebut berdasarkan tingkat pencemaran sedimen di daerah muara dibandingkan dengan pencemaran sedimen ke arah laut lepas.

Pengambilan sampel sedimen menggunakan alat *Grab Smith Mc-Intyre* 0,5 m² sebanyak 3 kali ulangan untuk setiap stasiun. Sampel sedimen yang diambil merupakan lapisan atas saja, yaitu dengan ketebalan kurang lebih 1--3 cm. Sampel diambil dengan menggunakan sendok *stainless steel* dan dimasukkan ke

dalam botol plastik *Nalgene* ukuran 1 L. Selain itu, dilakukan juga pengamatan karakteristik sedimen. Karakteristik sedimen Teluk Jakarta dan Muara Kramat Kebo, Tangerang yang diamati antara lain adalah warna, *grain size*, aroma, *debris* dan kehadiran benthos. Kesemua karakteristik tersebut diamati secara visual kecuali aroma sedimen. Sebelum pengambilan sampel sedimen, dilakukan pengambilan sampel air dengan alat berupa tabung Van Dorn dan diukur kualitas sampel air tersebut yang terdiri atas suhu, DO, salinitas dan pH. Tujuan dari pengukuran parameter kualitas air adalah untuk mengetahui kondisi kualitas air pada lokasi dimana sampel sedimen diambil. Pada saat di lapangan, sampel sedimen disimpan dalam *cooler box* yang berisi *icepack* sebelum dibawa ke laboratorium. Penggunaan *icepack* dapat mengkondisikan suhu di dalam *cooler box* menjadi dingin. Sampel sedimen ketika sampai di laboratorium langsung disimpan di dalam *freezer* dengan suhu sekitar 4°C agar sifat fisika dan kimia yang terkandung di dalam sedimen tidak berubah atau hilang.



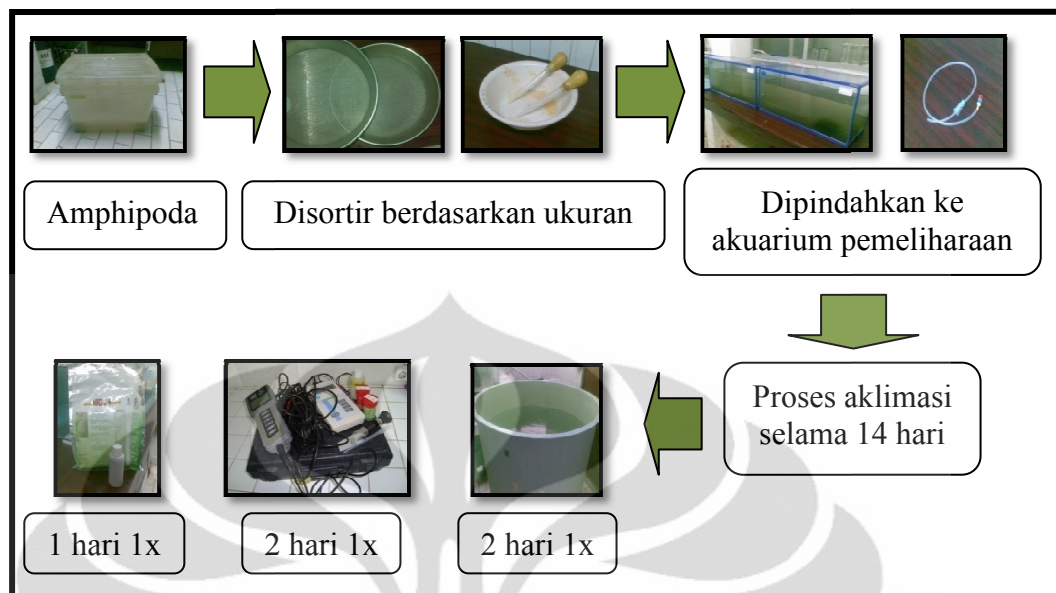
Gambar 3.3 Diagram cara kerja pengambilan sampel sedimen dan amphipoda di lapangan

3.4.3 Aklimasi Amphipoda (*Grandidierella* sp.) di Laboratorium Basah

Proses aklimasi amphipoda di laboratorium basah ditampilkan pada diagram Gambar 3.4. Sampel yang telah terkumpul dari lapangan setelah tiba di laboratorium akan langsung disortir menurut ukurannya. Sampel dipisahkan antara ukuran yang kecil (3--5 mm) dan yang besar (>5 mm) menggunakan saringan bertingkat ukuran 500 μm dan 250 μm . Setelah sampel didapat sesuai dengan ukuran yang diinginkan, selanjutnya sampel langsung dipindahkan ke akuarium. Akuarium yang digunakan berjumlah dua buah, yaitu untuk memelihara amphipoda yang berukuran 3--5 mm dan untuk yang berukuran lebih dari 5 mm. Akuarium itu sendiri diisi dengan air laut yang tersedia di tandon penyimpanan air laut di laboratorium basah dengan volume sekitar $\frac{3}{4}$ dari volume total akuarium dan juga diberi aerasi. Akuarium tersebut harus dipersiapkan terlebih dahulu selama kurang lebih dua hari sebelum pengambilan sampel amphipoda di lapangan.

Aklimasi amphipoda *Grandidierella* sp. dilakukan selama dua minggu. Selama dalam proses aklimasi, ada tiga hal yang dilakukan agar biota yang dipelihara dapat bertahan hidup dan dapat beradaptasi pada lingkungan barunya. Pertama mengganti air sebanyak 80% dari total volume air pada setiap akuarium pemeliharaan. Kedua mengukur kualitas air yang terdiri atas salinitas, pH, DO, dan suhu. Ketiga memberi pakan berupa pellet dengan merk NRD 2/4 yang pada umumnya dipakai untuk membesarkan larva dan *juvenile* ikan laut. Ketiga hal tersebut dilakukan secara rutin selama dalam masa proses aklimasi.

Penggantian air atau menguras akuarium dilakukan tiap dua hari sekali, pengukuran parameter kualitas air juga dilakukan tiap dua hari sekali, dan pemberian pakan diberikan tiap satu kali sehari. Alasan dilakukannya penggantian air dan pengukuran kualitas air tiap dua hari sekali adalah untuk menjaga kualitas air terutama konsentrasi oksigen terlarut di dalam air atau DO. Selain itu juga untuk memantau kualitas air lainnya seperti salinitas, pH, dan suhu agar selalu pada kondisi yang ideal dan stabil.

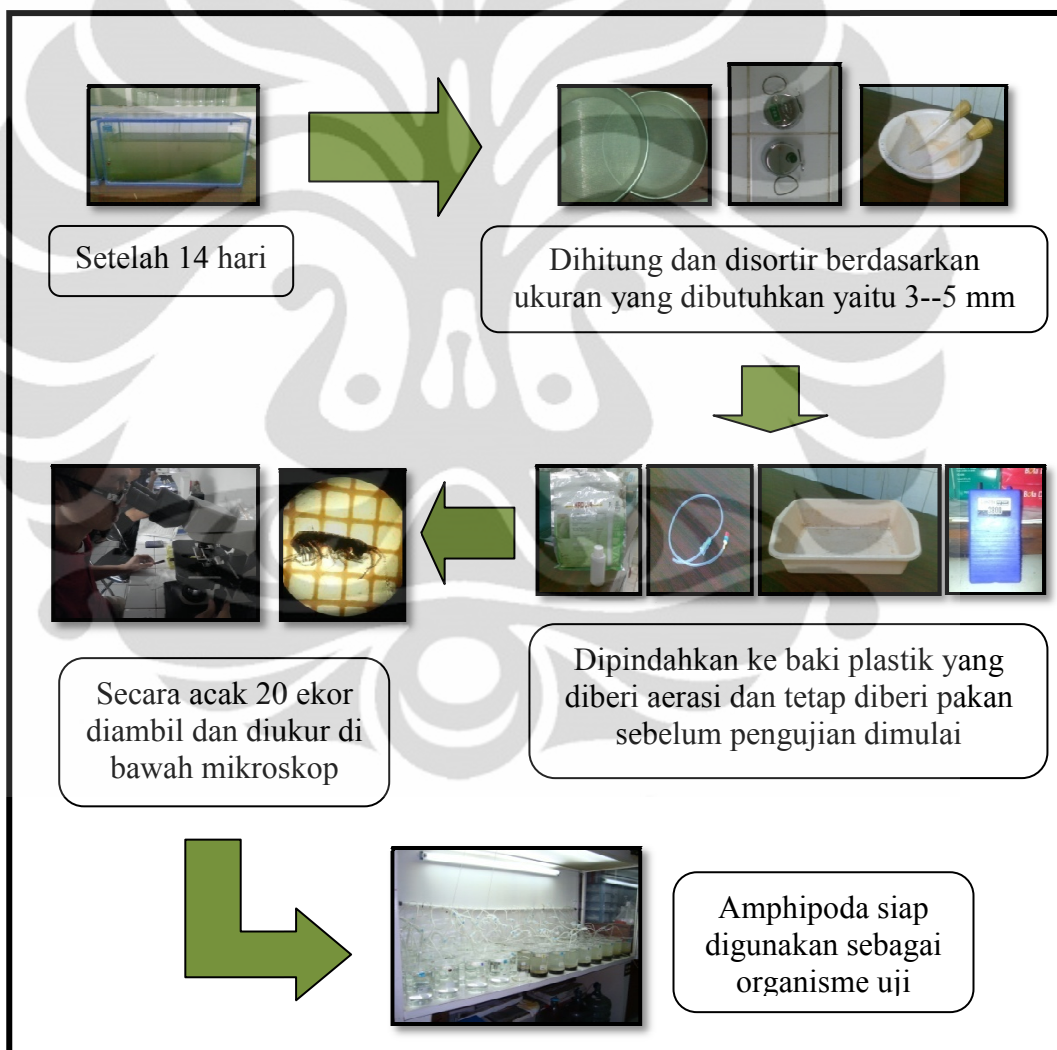


Gambar 3.4 Diagram cara kerja aklimasi amphipoda di laboratorium basah

3.4.4 Penyediaan Amphipoda sebagai Organisme Uji

Cara kerja penyediaan amphipoda sebagai organisme uji ditampilkan pada diagram Gambar 3.5. Penyortiran amphipoda akan dilakukan dua hari sebelum biota digunakan dalam pengujian. Ukuran amphipoda yang tepat untuk dijadikan sebagai organisme uji adalah dengan panjang tubuh sekitar 3--5 mm. Ukuran tersebut dipilih karena selama proses aklimasi biota di laboratorium basah, ukuran lebih dari 5 mm pada amphipoda sudah banyak yang mulai membawa telur. Penyortiran dilakukan dengan menggunakan alat berupa pipet khusus untuk mengambil amphipoda. Oleh karena itu, untuk membuktikan apakah amphipoda yang disortir mempunyai panjang tubuh sesuai dengan kriteria yang diinginkan maka dilakukan proses pengukuran dibawah mikroskop. Amphipoda yang telah disortir kemudian diambil secara acak sebanyak 20 ekor untuk dilakukan pengukuran dibawah mikroskop. Proses pengukuran itu sendiri dilakukan dengan menggunakan alat bantu berupa *sedwick*, yaitu alat yang biasa digunakan untuk menghitung sel alga. Setiap kotak yang ada dalam *sedwick* tersebut memiliki ukuran panjang dan lebar sebesar 1 mm sehingga panjang tubuh amphipoda dapat ditentukan dari banyaknya kotak yang tertutupi oleh tubuh amphipoda tersebut.

Jumlah amphipoda yang dibutuhkan untuk pengujian dengan menggunakan menggunakan sedimen maupun *reference toxicant* adalah sekitar 1200 ekor. Oleh karena itu, untuk menghindari terjadinya kekurangan stok amphipoda apabila ada amphipoda yang mati sebelum digunakan saat pengujian maka jumlah amphipoda yang harus disediakan adalah sekitar 1500 sampai dengan 2000 ekor. Amphipoda yang telah disortir ditempatkan pada sebuah baki plastik yang telah berisi air laut dan diaerasi. Selama kurang lebih dua hari sebelum biota digunakan untuk pengujian, amphipoda tetap harus diberi pakan.



Gambar 3.5 Diagram cara kerja penyediaan amphipoda sebagai organisme uji

3.4.5 Uji Toksisitas Sedimen terhadap Amphipoda

3.4.5.1 Penyiapan alat dan bahan

Cara kerja uji toksisitas sedimen terhadap amphipoda ditampilkan pada diagram Gambar 3.6 dan kondisi pengujian untuk uji toksisitas sedimen dengan menggunakan amphipoda sebagai organisme uji terangkum pada Tabel 3.3. Sebelum dilakukan pengujian, beberapa alat dan bahan harus disiapkan terlebih dahulu. Peralatan yang akan digunakan selama dalam proses pengujian antara lain, *beaker glass* ukuran 1 L sebanyak 35 buah beserta tutupnya dan alat ukur kualitas air yang terdiri atas refraktometer, pH meter, dan DO meter. Bahan yang digunakan selama dalam pengujian antara lain sedimen, air laut yang telah disterilkan dengan sinar ultra violet dan telah diaerasi selama ± 24 jam, dan organisme uji berupa *Grandidierella* sp.

3.4.5.2 Penyucian dan sterilisasi alat

Semua alat yang akan digunakan pada uji toksisitas amphipoda terhadap sedimen akan dicuci terlebih dahulu sesuai dengan standar *Asean Canada Cooperative Programme on Marine Science-II* (ACCPMS 1995: 14) sebagai berikut, peralatan gelas dicuci dengan deterjen non-fosfat (teepol), kemudian dibilas dengan air ledeng hingga bersih, lalu dikeringkan. Setelah peralatan gelas tersebut kering langkah selanjutnya adalah dibilas dengan asam nitrat 10% dan setelah itu dibilas dengan akuades sebanyak 3 kali dan dikeringkan. Tujuan pembilasan dengan asam nitrat 10% adalah agar sisa-sisa logam berat yang masih menempel diperalatan gelas tersebut dapat dihilangkan. Terakhir, setelah peralatan gelas kering dilakukan pembilasan dengan aseton untuk menghilangkan bahan-bahan organik dan setelah itu dibilas kembali dengan akuades sebanyak 3 kali dan dikeringkan. Proses pengeringan dapat dilakukan dengan menggunakan alat yaitu oven atau hanya dengan dikering anginkan saja. Setelah kondisi peralatan gelas kering maka peralatan siap digunakan untuk proses pengujian.

3.4.5.3 Pemberian sedimen ke dalam gelas uji atau *beaker glass*

Setelah selama kurang lebih tiga minggu sedimen disimpan di dalam *freezer* dengan suhu 4°C, maka sedimen siap digunakan untuk pengujian. Pemberian sedimen ke dalam *beaker glass* dilakukan dua hari sebelum proses pengamatan dimulai. Volume sedimen yang dimasukkan ke dalam *beaker glass* adalah sebanyak 175 mL. Setiap sampel sedimen dari masing-masing stasiun memiliki 4 kali pengulangan atau 4 replika sehingga jumlah keseluruhan *beaker* yang terisi sedimen dari tujuh stasiun adalah 28 buah (ASTM 2006a: 486--487). Agar pada saat proses pengukuran kualitas air pada masing-masing *beaker* sampel sedimen dari ketujuh stasiun tidak mengganggu sedimen dan juga biota di dalamnya, maka alternatif cara yang dilakukan adalah dengan menambahkan satu replika lagi pada setiap sampel sedimen dari ketujuh stasiun yang nantinya akan digunakan secara khusus untuk mengukur kualitas air. Penambahan replika yang khusus digunakan untuk mengukur kualitas air tersebut tidak tertera di dalam metode standar yang digunakan yaitu ASTM sehingga replika tersebut pada akhirnya tidak akan masuk dalam perhitungan pada saat analisis data.

3.4.5.4 Penambahan *overlying water*

Pada hari yang sama, setelah sedimen dimasukkan ke dalam *beaker glass*, selanjutnya adalah penambahan air laut atau *overlying water* sebanyak 775 mL. Air laut yang diberikan sebelumnya telah disterilisasi dengan sinar ultra violet. Setelah itu, pemberian aerasi selama 24 jam sebelum diberi biota uji dan pengukuran kualitas air dilakukan pada saat setelah masing-masing *beaker glass* sudah diberi sedimen dan air laut (ASTM 2006a: 486--487).

3.4.5.5 Pemberian amphipoda

Hari berikutnya, *beaker* yang telah terisi sedimen beserta air laut dan juga telah diaerasi siap dimasukkan amphipoda sebanyak 20 ekor. Amphipoda yang digunakan dipilih berdasarkan ukurannya yaitu 3--5 mm dan gerakannya yang

aktif. Selain itu dilakukan juga pengukuran salinitas, DO, pH dan suhu pada *overlying water* di masing-masing sampel sedimen (ASTM 2006a: 486--487). Proses pengukuran kualitas air tersebut dilakukan di *beaker* replika tambahan pada masing-masing sampel sedimen yang khusus digunakan untuk mengukur kualitas air.

3.4.5.6 Proses pengamatan selama 10 hari

Keesokan harinya adalah dimulainya proses pengamatan selama 10 hari. Pengamatan ini dimulai pada hari ke 1 dan berakhir pada hari ke 10. Pada hari ke 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 dan 9 dilakukan pengukuran suhu, salinitas, pH, dan DO pada *overlying water* di masing-masing *beaker*, pengamatan terhadap aktivitas biota uji dan memastikan aerasi tetap berjalan. Pada saat proses pengamatan aktivitas biota uji, hal yang diamati adalah aktivitas *burrowing* atau menggali sedimen. Pada hari ke 10 atau pengamatan terakhir, kegiatan yang dilakukan adalah pengukuran temperatur pada masing-masing *beaker*. Setelah itu proses selanjutnya adalah melakukan pengumpulan amphipoda dari masing-masing *beaker* dengan menggunakan *sieve* atau saringan bertingkat. Tujuan dari perlakuan ini adalah untuk mengetahui dan menghitung jumlah amphipoda yang masih hidup dari setiap sampel sedimen beserta pengulangannya dalam bentuk persen. Selama sepuluh hari pengamatan, biota uji tidak diberi pakan dan pencahayaan dan uji sedimen ini merupakan uji statis dimana tidak adanya pergantian air permukaan sedimen atau *overlying water* selama pengujian berlangsung (ASTM 2006a: 486).

3.4.6 Uji Toksisitas Kadmium (CdCl_2) terhadap Amphipoda

Reference toxicant yang digunakan dalam penelitian adalah kadmium (CdCl_2). Sebelum dilakukan pengujian, ada beberapa hal yang harus dipersiapkan terlebih dahulu seperti peralatan dan bahan. Semua peralatan yang akan digunakan harus dicuci terlebih dahulu sesuai dengan standar *Asean Canada Cooperative Programme on Marine Science-II* (ACCPMS 1995: 14). Peralatan yang akan digunakan dalam pengujian antara lain, *beaker glass* sebanyak 18 buah

(berdasarkan lima konsentrasi *reftox* serta satu kontrol dan masing-masing memiliki tiga pengulangan atau replika) beserta tutupnya, labu ukur (1000 ml), gelas ukur (1000 ml), dan mikropipet. Sedangkan bahan yang akan digunakan antara lain, larutan kadmium *stock* 1000 ppm, air laut yang telah disterilkan dengan sinar UV dan diaerasi selama $24 \pm$ jam, dan amphipoda *Grandidierella* sp. sebagai biota uji.

Cara kerja uji toksisitas kadmium terhadap amphipoda ditampilkan pada diagram Gambar 3.7. Larutan uji yang digunakan dalam uji *reftox* adalah CdCl_2 1000 ppm dengan 5 konsentrasi yaitu, 0,32; 0,56; 1; 1,8; dan 3,2 (Tabel 3.2). Nilai kelima konsentrasi tersebut berdasarkan deret geometrik dan didapatkan setelah sebelumnya dilakukan uji mencari kisaran konsentrasi atau *Range Finder Test*. Sebagai pembanding digunakan satu kontrol menggunakan media hanya dengan pelarut (air laut). Total air laut yang digunakan untuk melarutkan setiap konsentrasi CdCl_2 di dalam labu ukur adalah 1000 mL. Setelah homogen, larutan tersebut dimasukkan ke dalam *beaker glass* ukuran 1L. Selanjutnya, sebanyak 20 ekor *Grandidierella* sp. dimasukkan ke dalam *beaker glass* dengan masing-masing konsentrasi dan juga kontrol. Setiap konsentrasi CdCl_2 dan juga kontrol dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. *Grandidierella* sp. tidak diberi pakan dan juga tidak ada pergantian air selama pengujian. Aerasi diberikan apabila diperoleh kondisi konsentrasi oksigen terlarut atau DO mengalami penurunan yang cukup drastis ketika proses pengukuran kualitas air dilakukan selama pengujian.

Selama proses pengujian, dilakukan pengukuran parameter kualitas air yang terdiri atas salinitas, pH, suhu dan DO. Suhu, DO, dan pH diukur setiap hari selama pengujian, sedangkan salinitas diukur hanya pada saat awal dan akhir selama pengujian berlangsung. Pengujian berlangsung selama 96 jam atau empat hari. Pengamatan yang dilakukan selama pengujian berlangsung antara lain adalah memastikan kondisi aerasi agar tetap berjalan, pengukuran kualitas air, dan mengambil setiap individu *Grandidierella* sp. yang telah mati dengan pipet. Hasil akhir yang ingin dicapai adalah kemampuan biota uji untuk memperoleh nilai LC_{50} logam kadmium terhadap *Grandidierella* sp.. Pengujian dapat diterima

apabila nilai *survival* dari biota uji pada kontrol mencapai 90 persen (ASTM 2006b: 465).

Tabel 3.2 Kisaran konsentrasi CdCl₂ yang digunakan dalam pengujian

Kisaran Konsentrasi CdCl ₂	Volume stock (1000 ppm)	Total Volume
Kontrol (air laut)	-	1000 ml
0,32 ppm	0,32 ml	1000 ml
0,56 ppm	0,56 ml	1000 ml
1 ppm	1 ml	1000 ml
1,8 ppm	1,8 ml	1000 ml
3,2 ppm	3,2 ml	1000 ml

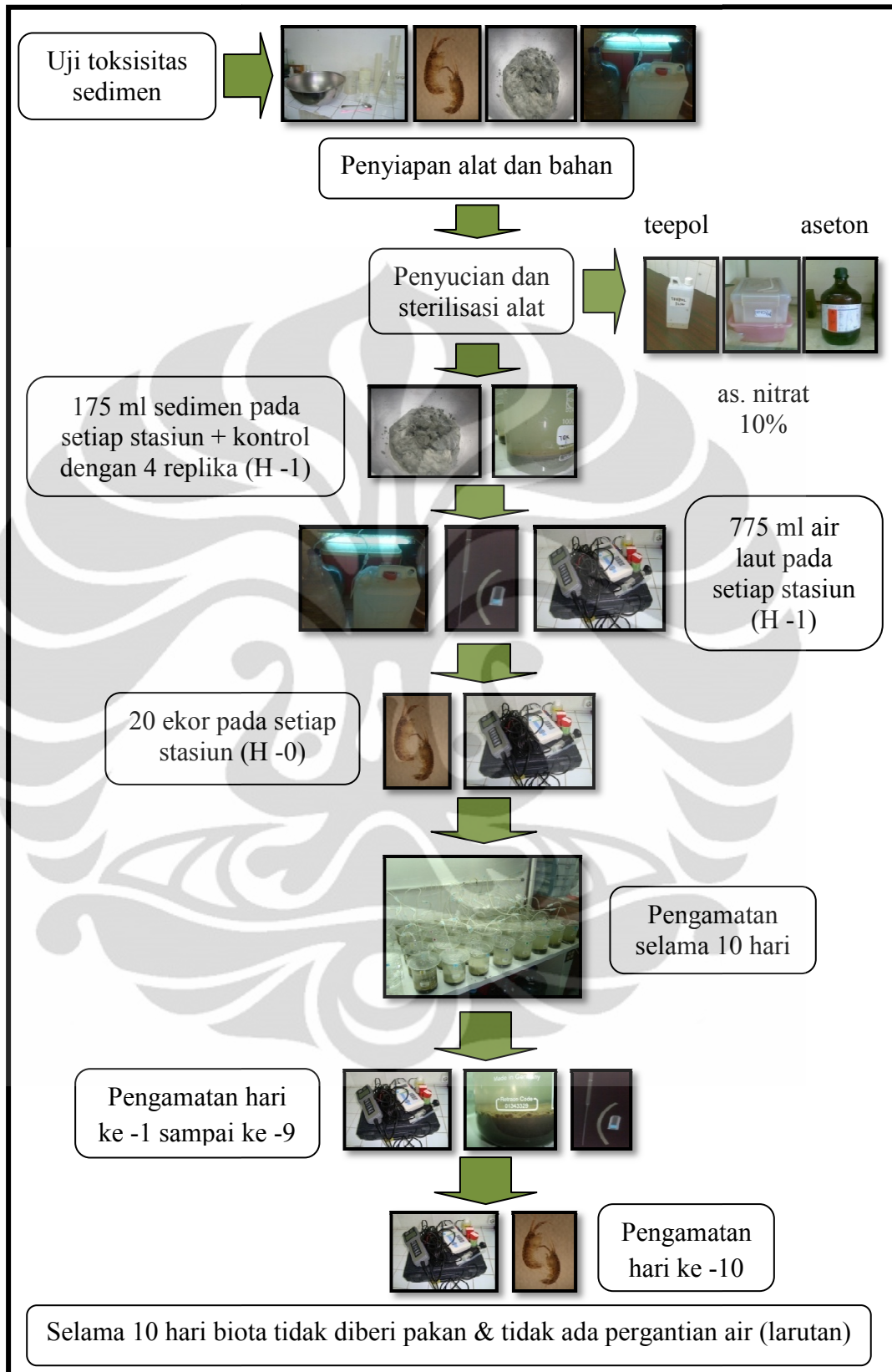
3.5 Analisis Data

Data yang diperoleh selama pengamatan baik pada saat pengujian sedimen maupun *reference toxicant* disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Analisis statistik untuk mengetahui pengaruh sedimen terhadap tingkat kemampuan hidup atau *survival Grandidierella* sp. dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak TOXSTAT versi 3.2. Sedangkan untuk mendapatkan nilai LC₅₀ *Grandidierella* sp. terhadap *reference toxicant* berupa kadmium dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak EFFL versi 1.2. TOXSTAT akan mengidentifikasi konsentrasi perlakuan yang berbeda nyata (signifikan) dari kontrol dengan sebuah tanda bintang (*).

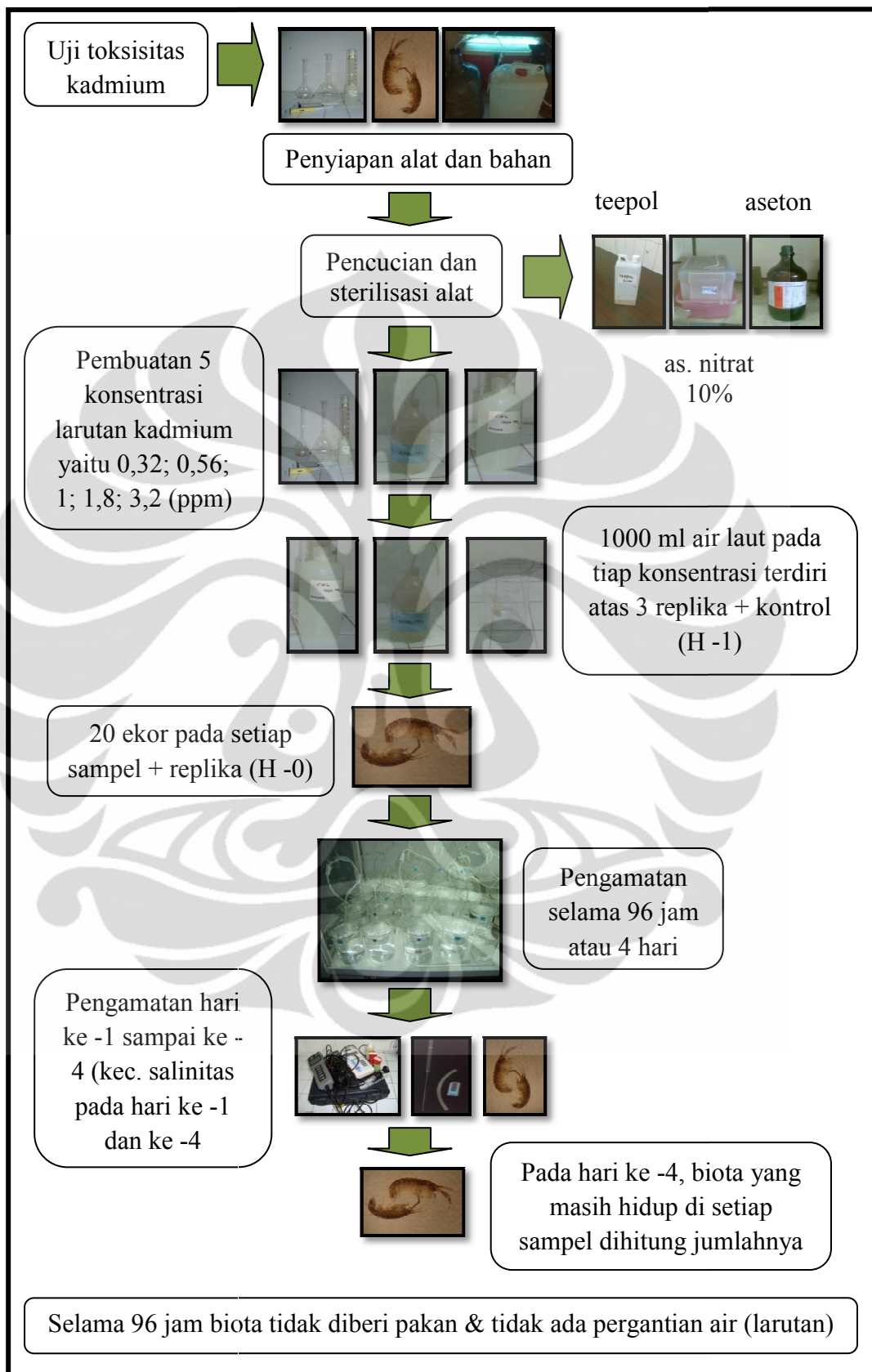
Tabel 3.3 Kondisi pengujian uji toksisitas sedimen dengan menggunakan amphipoda sebagai organisme uji

[Sumber: ACCPMS 1993: 16; ASTM 2006a: 486]

Parameter	Kondisi
1. Tipe uji	Statik
2. Salinitas	30 ± 2 ppt
3. Suhu	27 ± 1°C
4. Penyinaran	Penerangan ambien laboratorium
5. Fotoperiod	24 jam
6. Ukuran wadah uji	Beaker 1000 mL
7. Volume sedimen uji	175 mL
8. Volume air (<i>overlying water</i>)	775 mL
9. Penggantian <i>overlying water</i>	Tidak ada
10. Umur/ukuran biota uji	Juvenile; 3--5 mm
11. Jumlah organisme uji/wadah dan kontrol	20 ekor
12. Jumlah pengulangan wadah/perlakuan	4 pengulangan/perlakuan
13. Pemberian pakan	Tidak ada
14. Aerasi	Semua sampel yang telah terisi sedimen beserta air laut diberi aerasi satu malam penuh sebelum pengamatan dimulai
15. Air pelarut (<i>overlying water</i>)	Air laut yang telah di filter dan disterilisasi dengan sinar UV
16. Kualitas air pelarut (<i>overlying water</i>)	Salinitas, pH, suhu dan DO diukur setiap hari selama pengamatan
17. Durasi pengujian	10 hari
18. Hasil akhir yang diukur	Kelulusan hidup (<i>survival</i>)
19. Kriteria penerimaan hasil uji	Rata-rata kelulusan hidup (<i>survival</i>) pada kontrol minimum 90%



Gambar 3.6 Diagram cara kerja uji toksisitas sedimen terhadap amphipoda



Gambar 3.7 Diagram cara kerja uji toksisitas kadmium terhadap amphipoda

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan Ukuran dan Aktivitas *Grandidierella* sp. saat Pengujian

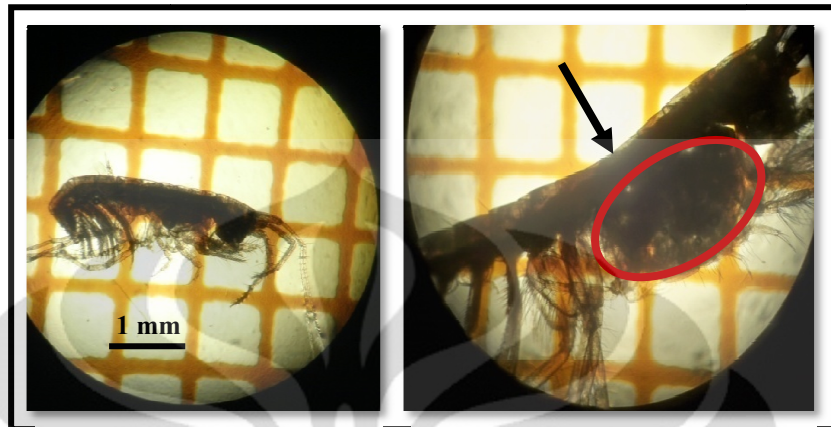
Pengamatan ukuran panjang tubuh *Grandidierella* sp. dilakukan sebelum dimulainya kegiatan uji toksisitas sedimen. Tujuan dari pengamatan tersebut adalah untuk mengetahui apakah *Grandidierella* sp. yang akan digunakan dalam pengujian memiliki ukuran tubuh sesuai dengan yang diinginkan, yaitu sekitar 3--5 mm. Berdasarkan hasil pengukuran secara acak terhadap ukuran *Grandidierella* sp. sebanyak 20 ekor, ukuran *Grandidierella* sp. yang akan digunakan dalam pengujian berkisar antara 3,0--5,5 mm dengan ukuran rata-rata 4,2 mm (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Hasil pengukuran panjang tubuh *Grandidierella* sp.

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Panjang (mm)	4,0	4,0	4,0	5,0	4,0	4,5	4,0	4,0	3,0	5,0
No.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Panjang (mm)	4,0	4,0	3,5	3,5	4,5	4,5	4,5	4,0	5,5	4,5
Rata-rata	4,2 mm									
Kisaran	3,0--5,5 mm									

Digunakannya *Grandidierella* sp. dengan ukuran tubuh sekitar 3,0--5,5 mm dikarenakan berdasarkan pengamatan selama proses aklimasi, *Grandidierella* sp. dengan ukuran tubuh di atas 5,5 mm telah banyak yang membawa telur (Gambar 4.1). ASTM (2006b: 471) menyebutkan bahwa amphipoda yang sedang bertelur tidak dianjurkan untuk dijadikan sebagai organisme uji dikarenakan dapat memengaruhi hasil pengujian. Selain itu, pemilihan organisme uji pada fase *juvenile* akan memengaruhi tingkat sensitifitas terhadap toksikan. Hal tersebut dikarenakan adanya korelasi negatif antara ukuran tubuh dengan tingkat sensitifitas organisme uji yaitu makin besar ukuran tubuh organisme uji maka makin rendah tingkat sensitifitasnya dan sebaliknya. Penyebabnya adalah frekuensi terjadinya peristiwa *molting* atau ganti kulit pada organisme *juvenile* lebih tinggi dibanding organisme dewasa sehingga organisme uji yang sedang

mengalami peristiwa *molting* akan lebih mudah terpapar oleh toksikan (McGee *dkk.* 1998: 36--37).



Gambar 4.1 Ukuran panjang tubuh *Grandidierella* sp. yang digunakan dalam pengujian (kiri) & *Grandidierella* sp. dewasa yang membawa telur (kanan) [Sumber: dokumentasi laboratorium ekotoksikologi 2010]

Menurut Verriopoulos & Moraitou-Apostolopoulou pada tahun 1982 (*lihat* Landa *dkk.* 2008: 551) ada tiga alasan utama yang menyebabkan terjadinya hubungan negatif antara ukuran tubuh organisme uji dengan tingkat sensitifitas terhadap toksikan yaitu, (1) luas permukaan tubuh pada organisme *juvenile* jauh lebih kecil dibanding dengan organisme dewasa sehingga lebih mudah terjadinya proses pemaparan, (2) eksoskeleton atau kerangka luar organisme *juvenile* lebih tipis dibanding organisme dewasa sehingga toksikan lebih mudah masuk ke dalam tubuh organisme, dan (3) organisme *juvenile* belum memiliki mekanisme detoksifikasi yang lebih baik dibanding organisme dewasa.

Pengamatan aktivitas *Grandidierella* sp. dilakukan ketika proses uji toksisitas sedimen berlangsung. Pengamatan aktivitas yang dimaksud adalah mengamati perilaku *burrowing* atau menggali sedimen (Gambar 4.2). Pengamatan tersebut dilakukan selama sembilan hari, dimulai dari hari pertama hingga satu hari sebelum pengujian berakhir. Berdasarkan hasil pengamatan, hampir seluruh *Grandidierella* sp. yang diujikan terhadap sampel sedimen baik kontrol maupun perlakuan melakukan aktivitas *burrowing*.

Tabel 4.2 Data hasil pengamatan aktivitas *burrowing* *Grandidierella* sp.

Sampel	Rep.	Persentase <i>Burrowing</i>								
		H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	H-6	H-7	H-8	H-9
A2	1	100	100	90	100	90	90	95	90	95
	2	100	100	100	100	100	95	95	80	95
	3	100	100	100	90	100	90	90	90	90
	4	100	100	100	100	100	95	95	90	80
D5	1	90	90	90	100	100	100	95	95	100
	2	90	90	90	90	90	95	90	100	100
	3	90	90	90	90	90	90	100	90	95
	4	90	90	90	90	80	90	95	90	90
D3	1	100	100	90	100	100	100	100	100	95
	2	100	90	90	90	90	90	80	90	90
	3	100	90	90	90	100	95	95	95	95
	4	100	90	90	90	60	75	90	90	95
C5	1	100	90	90	90	90	95	95	90	90
	2	90	100	90	100	95	100	90	90	95
	3	100	90	90	90	80	90	80	90	90
	4	100	100	100	100	90	90	90	90	75
C3	1	90	100	90	90	70	90	80	90	90
	2	90	90	90	90	95	100	80	90	100
	3	90	90	90	90	90	90	100	100	95
	4	90	90	90	90	80	95	100	100	100
B5	1	90	100	100	100	100	75	90	90	100
	2	100	90	90	100	95	90	95	95	75
	3	90	100	100	90	100	100	90	100	90
	4	90	90	90	90	100	95	95	95	90
B3	1	90	90	90	90	75	80	90	80	100
	2	90	90	90	90	80	90	90	90	90
	3	100	90	90	100	100	90	80	95	95
	4	90	90	90	90	65	70	90	90	95

Rata-rata persentase aktivitas *burrowing* dua puluh ekor *Grandidierella* sp. pada seluruh sampel sedimen selama sembilan hari adalah 91,5% (Tabel 4.2). Hal tersebut menunjukkan bahwa aktivitas *burrowing* terjadi mulai sejak dihari pertama hingga hari terakhir pengamatan. Berdasarkan hasil pengamatan, aktivitas *burrowing* *Grandidierella* sp. pada setiap sampel sedimen terjadi setelah sepuluh menit sejak organisme uji dimasukkan ke dalam *beaker* pengujian.



Gambar 4.2 Aktivitas *burrowing* *Grandidierella* sp. selama pengujian
[Sumber: dokumentasi pribadi 2010]

Organisme uji yang mengalami *stress* atau kurang sehat tidak akan melakukan aktivitas *burrowing* atau menggali sedimen. Waktu yang dibutuhkan bagi amphipoda yang sehat dalam melakukan aktivitas *burrowing* tergantung dari spesies yang digunakan. Sebagai contoh, *Eohaustorius estuarius*, *Leptocheirus plumulosus*, dan *Rhepoxynius abronius* akan membutuhkan waktu sekitar lima sampai sepuluh menit setelah dimasukkan ke dalam *beaker* uji untuk melakukan aktivitas *burrowing* (ASTM 2006a: 488). Kesimpulannya, *Grandidierella* sp. yang digunakan dalam pengujian berada dalam kondisi yang sehat atau tidak mengalami *stress*. Hal tersebut ditunjukkan dengan tingginya rata-rata persentase aktivitas *burrowing* *Grandidierella* sp. pada seluruh sampel sedimen yang mencapai 91,5% dan dibutuhkannya waktu sekitar sepuluh menit bagi *Grandidierella* sp. untuk melakukan aktivitas *burrowing* setelah dimasukkan ke dalam *beaker* uji.

4.2 Parameter Kualitas Air Larutan Uji Sedimen

Hasil pengukuran suhu (Tabel 4.3) selama masa uji cenderung fluktuatif. Kenaikan suhu mulai terjadi saat pengamatan hari ke-2 dan turun kembali saat pengamatan hari ke-3. Selanjutnya suhu mengalami kenaikan secara bertahap mulai dari pengamatan hari ke-4 sampai hari ke-8.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran parameter suhu, pH, salinitas, dan DO pada larutan uji sedimen

Sampel	Suhu (°C)										pH											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A2	24,9	24,9	25,4	24,3	24,5	25,3	25,9	27,4	27,7	27,2	25,7	7,98	7,85	7,89	7,92	8,1	7,95	8,15	8,05	8,1	8,04	8,05
D5	25	24,9	25,5	24,2	24,3	25,3	25,7	27,2	27,7	27,2	25,1	7,93	7,91	8,03	8,12	8,13	8,02	8,21	8,12	8,14	8,15	7,99
D3	24,9	24,9	25,4	24,2	24,4	25	25,7	26,9	27,4	27	25,4	8,01	7,91	8,03	8,13	8,15	8	8,13	8,11	8,14	8,12	8,08
C5	25	24,7	25,1	24,2	24,4	25	25,3	26,3	26,8	26,7	25,4	7,89	7,87	7,95	8,02	8,05	7,88	8,09	8,04	8,03	7,99	7,93
C3	24,8	24,8	25,4	24,2	24,3	24,9	25,6	26,5	27,1	26,6	25,3	7,82	7,8	7,93	8,04	8,02	7,88	8,03	7,98	8,02	8,02	7,97
B5	24,7	24,5	25	23,9	24,1	24,7	25,1	26,1	26,7	26,4	24,3	7,85	7,87	7,95	8,04	8,02	7,9	8,04	8,05	8,04	8,02	7,91
B3	24,4	24,5	25,1	23,8	24	24,6	25,1	26,1	26,9	26,1	24,8	7,9	7,85	7,59	8,03	8,06	7,9	8,09	8,02	8,04	8,06	8,08
Rata-rata	8																					
Kisaran	24,1--27,7°C																					

Sampel	Salinitas (ppt)										DO (mg/L)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A2	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	5,82	5,74	5,62	6	5,97	5,53	6,26	6,2	5,96	5,7	5,78
D5	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	5,69	5,73	5,9	6,1	6,12	5,5	5,43	6,32	5,95	6,12	5,85
D3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	5,7	5,9	5,96	6,24	6,12	6,11	6,62	6,21	6,03	6,12	6,39
C5	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	5,87	6,11	5,98	6,21	6,19	6,11	5,5	6,24	5,99	5,86	6,16
C3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	5,86	5,99	6,01	6,22	6,19	6,21	6,71	6,27	6,01	6,24	6,42
B5	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	5,8	6,19	6	6,24	6,13	6,27	6,8	6,4	6,26	5,9	6,02
B3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	6,01	6	6,08	6,24	6,26	6,29	5,63	6,39	6,08	6,02	6,56
Rata-rata	6,06 mg/L																					
Kisaran	5,43--6,8 mg/L																					

Pengamatan hari ke-8, semua sampel sedimen mengalami kenaikan suhu yang mencapai titik tertinggi dibanding kondisi suhu pada pengamatan hari lainnya. Nilai suhu tertinggi dimiliki oleh sampel sedimen A2 dan D5. Penurunan suhu kembali terjadi pada saat pengamatan hari ke-9 dan ke-10 dengan kondisi suhu sama seperti ketika pengamatan pada hari ke-0. Selama awal hingga akhir pengamatan, kondisi suhu yang terukur tidak mengalami peningkatan ataupun penurunan yang cukup tajam. Rata-rata suhu yang terukur selama sepuluh hari pengamatan dari tujuh sampel sedimen adalah 25,4°C dengan kisaran terendah 24,1°C pada sampel B5 dan tertinggi 27,7°C pada sampel A2 dan D5.

Menurut ASTM (2006a: 488), suhu pengujian akan tergantung dari spesies amphipoda yang digunakan. Suhu yang dipilih dalam pengujian harus mendekati kondisi suhu maksimum pada saat musim kemarau di habitat aslinya sehingga diharapkan organisme uji masih dapat bertahan pada kondisi tersebut. Sebagai contoh, amphipoda jenis *Ampelisca abdita* dan *Leptocheirus plumulosus* harus diuji pada suhu 20°C dan 25°C dikarenakan sesuai dengan kondisi suhu di habitat aslinya.

Perolehan hasil pengukuran parameter suhu di atas adalah bukan akibat dari pengaturan suhu yang dilakukan untuk menyesuaikan dengan jenis organisme uji yang digunakan yaitu *Grandidierella* sp., melainkan akibat dari kondisi suhu di ruangan tempat pengujian berlangsung, yaitu laboratorium ekotoksikologi yang dilengkapi oleh alat pendingin udara. Kondisi suhu ruangan laboratorium ekotoksikologi yang diberi terukur adalah 24 sampai 27°C. Hal tersebut pada akhirnya memengaruhi hasil pengukuran parameter suhu pada seluruh sampel sedimen sehingga suhu yang terukur tidak jauh berbeda dengan kondisi suhu ruangan pengujian. Selain itu, berdasarkan pengukuran parameter suhu yang dilakukan di lokasi *Grandidierella* sp. diperoleh, suhu yang terukur adalah 31,2°C. Pengukuran tersebut dilakukan saat musim kemarau yaitu pada bulan Agustus. Kesimpulannya, kondisi parameter suhu yang terukur selama pengamatan masih berada pada kondisi yang optimal. Hal tersebut dikarenakan *Grandidierella* sp. di habitat aslinya dapat bertahan hidup pada suhu yang mencapai 31,2°C.

Kondisi oksigen terlarut selama sepuluh hari masa uji sedimen dapat dilihat pada Tabel 4.3. Berdasarkan hasil pengukuran, kondisi oksigen terlarut selama pengamatan cenderung stabil. Rata-rata dari tujuh sampel sedimen adalah 6,06 mg/l dengan kisaran terendah 5,43 mg/l pada sampel D5 dan tertinggi 6,8 mg/l pada sampel B5. Perolehan nilai konsentrasi DO yang tinggi dan stabil selama pengamatan kemungkinan disebabkan oleh pemberian aerasi pada seluruh sampel sedimen sejak dua hari sebelum pengamatan dimulai.

Konsentrasi oksigen terlarut pada larutan uji sedimen dapat terpelihara atau mendekati kejenuhan oleh adanya pemberian aerasi. Gelembung udara yang dihasilkan dari proses aerasi tersebut dapat mempertahankan kondisi konsentrasi oksigen terlarut mencapai lebih dari 90%. Hasil pengujian dapat tidak diterima apabila konsentrasi oksigen terlarut berada dibawah 60% dari kondisi kejenuhan. (ASTM 2006a: 488). Berdasarkan hasil pengukuran parameter DO di atas, dapat disimpulkan bahwa kondisi DO yang terukur selama pengamatan masih berada di atas 60% dari kejenuhan atau dengan kata lain optimal. Hal tersebut terbukti dengan nilai rata-rata konsentrasi DO yang terukur pada seluruh sampel sedimen yang mencapai 6,06 mg/L.

Hasil pengamatan kondisi pH selama sepuluh hari masa uji sedimen dapat dilihat pada Tabel 4.3. Kondisi pH tergolong fluktuatif yaitu terjadi penurunan dan peningkatan pH selama pengamatan. Sampel sedimen B3 mengalami penurunan yang cukup tajam dibanding sampel lainnya. Hal tersebut terjadi saat pengamatan hari ke-2. Sedangkan sampel sedimen D5 mengalami kenaikan tertinggi dibanding sampel lainnya saat pengamatan hari ke-6.

Nilai rata-rata pH dari ke-tujuh sampel sedimen adalah 8,00 dengan kisaran terendah 7,59 pada sampel sedimen B3 saat pengamatan hari ke-2 dan tertinggi 8,21 pada sampel D5 saat pengamatan hari ke-6. Menurut Effendi (2003: 73) kondisi pH yang baik untuk kehidupan organisme akuatik adalah sekitar 7,00--8,50. Oleh karena itu, meskipun terjadi penurunan nilai pH yang cukup signifikan pada sampel sedimen B5 tetapi nilai tersebut masih berada pada kondisi yang baik untuk organisme akuatik hidup. Kesimpulannya adalah hasil pengamatan parameter pH selama pengujian berlangsung masih tergolong dalam kondisi yang optimal.

Hasil pengamatan kondisi salinitas selama sepuluh hari masa uji sedimen dapat dilihat pada Tabel 4.3. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai salinitas selama pengamatan dari tujuh sampel sedimen adalah stabil sebesar 30 ppt dan tidak mengalami perubahan selama pengujian berlangsung. Hal tersebut disebabkan air laut yang digunakan sebagai larutan uji dalam pengujian memiliki nilai salinitas sebesar 30 ppt.

Menurut ASTM (2006a: 488), penentuan salinitas larutan uji sedimen bergantung pada jenis organisme yang digunakan. Sebagai contoh, *Ampelisca abdita* dan *Rhepoxynius abronius* harus diuji dengan kondisi salinitas sebesar 28 sampai 32 ppt karena pada kondisi salinitas tersebut, kedua organisme dapat bertahan hidup dengan baik. Selain itu, dalam uji toksisitas sedimen terdapat dua pilihan untuk menentukan nilai salinitas yang akan digunakan dalam pengujian. Pertama adalah menggunakan nilai salinitas larutan uji yang spesifik sesuai dengan pilihan organisme uji yang akan dipakai. Kedua adalah menyesuaikan dengan kondisi salinitas pada larutan uji atau air laut yang akan digunakan dalam pengujian. Khusus untuk tipe yang kedua, sebelum diterapkan dalam pengujian sebaiknya dilakukan uji coba terlebih dahulu. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui apakah organisme uji yang akan digunakan nantinya mampu bertahan hidup dengan baik atau tidak pada kondisi salinitas yang akan diterapkan (ASTM 2006a: 490).

Berdasarkan kedua tipe di atas, yang diterapkan dalam pengujian adalah tipe pertama yaitu menggunakan nilai salinitas larutan uji yang spesifik sesuai dengan pilihan organisme uji yang akan dipakai. Alasannya, karena berdasarkan hasil pengamatan parameter salinitas pada lokasi *Grandidierella* sp. diperoleh, nilai salinitas yang terukur sebesar 30 ppt. Selain itu, saat dilakukannya proses aklimasi *Grandidierella* sp. selama dua minggu, organisme uji tersebut dipelihara dalam kondisi salinitas sebesar 30 ppt. Hasil dari proses aklimasi selama dua minggu tersebut menunjukkan bahwa *Grandidierella* sp. dapat bertahan hidup dan beradaptasi dengan baik.

Hasil pengukuran parameter kualitas air larutan uji sedimen secara keseluruhan menunjukkan bahwa diperoleh kondisi yang optimal dan sesuai dengan kondisi parameter kualitas air yang diajukan oleh ASTM. Hampir semua

parameter kualitas air yang diukur mengalami kondisi yang stabil. Hanya parameter suhu dan pH yang menunjukkan terjadinya fluktuasi namun masih dalam rentang nilai yang tidak terlalu jauh. Parameter suhu yang fluktuatif lebih disebabkan oleh kondisi suhu pada ruangan pengujian. Hal tersebut dikarenakan tidak dilakukannya pengaturan suhu yang disesuaikan dengan jenis organisme uji yang digunakan melainkan suhu pengujian mengikuti dan menyesuaikan dengan kondisi suhu ruangan pengujian. Meskipun parameter pH mengalami fluktuatif namun rentang nilai yang terukur pada masing-masing sampel sedimen tidak terlalu jauh. Hanya sampel sedimen B3 yang mengalami penurunan cukup jauh dari sampel sedimen lainnya yaitu mencapai 7,59. Namun, nilai tersebut masih berada dalam kondisi pH yang baik untuk kehidupan organisme akuatik.

Sedimen yang digunakan dalam pengujian baik kontrol maupun referensi sedimen diasumsikan memengaruhi terhadap hasil pengamatan parameter kualitas air yang terukur. Akan tetapi, pengaruh sedimen tersebut tidak terlalu besar. Hal tersebut dibuktikan dari perolehan nilai seluruh parameter kualitas air yang cukup stabil dan tergolong dalam kondisi optimal. Menurut ASTM (2006a: 490), parameter kualitas air yang dapat dipengaruhi oleh kondisi sedimen yang digunakan dalam pengujian adalah amoniak. Sedimen yang diperoleh dari alam pada umumnya mengandung konsentrasi amoniak yang dapat bersifat toksik terhadap organisme uji seperti amphipoda. Sebagai contoh, amphipoda jenis *Ampelisca abdita* dan *Eohaustorius estuarius* memiliki batas toleransi terhadap konsentrasi amoniak total yang terkandung dalam larutan uji sebesar <30 mg/L dan <60 mg/L. Apabila konsentrasi amoniak berada di atas nilai toleransi tersebut maka kemungkinan kematian yang terjadi selama sepuluh hari pengujian disebabkan oleh pengaruh tingginya konsentrasi amoniak (ASTM 2006a: 488). Namun, pengukuran parameter amoniak pada larutan uji sedimen dalam penelitian tidak dilakukan. Oleh karena itu, dapat diasumsikan jika pengaruh sedimen baik kontrol maupun referensi sedimen terhadap hasil pengukuran ke-empat parameter kualitas air yang diukur yaitu suhu, DO, pH, dan salinitas tidaklah besar kecuali parameter amoniak.

4.3 Parameter Kualitas Air Larutan Uji Kadmium (*Reference Toxicant*)

Tabel 4.4 Hasil pengukuran parameter DO, suhu, pH, dan salinitas pada larutan uji kadmium

konsentrasi (mg/L)	DO (mg/L)										Suhu (°C)									
	0	24	30	36	42	48	72	96	0	24	30	36	42	48	72	96				
kontrol	6,17	6,26	5,98	5,87	6,17	6,21	6,39	6,34	24,4	24,7	25,3	25,3	24,8	25,1	24,1	24,5				
0,32	5,84	6,34	6,12	6,05	6,21	6,25	6,24	6,34	24,7	24,5	25,1	25,3	24,8	24,9	24,2	24,3				
0,56	6,29	6,34	6,11	5,97	6,03	6,18	6,34	6,38	24,3	24,7	25,1	25,1	24,9	25,1	24,2	24,4				
1,00	6,25	6,23	6,08	5,96	6,04	6,06	6,33	6,36	24,3	24,8	25,3	25,4	24,9	25,1	24,2	24,3				
1,80	6,21	6,11	6,01	6	6,08	6,09	6,37	6,26	24,7	24,9	25,7	25,4	24,9	25,4	24,2	24,4				
3,20	5,9	6,18	5,99	6	6,14	6,13	6,37	6,33	24,8	24,8	25,5	25,4	25	25,4	24,3	24,4				
Rata-rata	6,16 mg/L																			
Kisaran	5,84--6,39 mg/L																			
	24,1--25,7°C																			
	24,8°C																			

konsentrasi (mg/L)	pH										Salinitas (ppt)		
	0	24	30	36	42	48	72	96	0	96	30 ppt		
kontrol	7,88	7,81	7,93	8,03	7,75	7,91	8	8,04	30	30			
0,32	7,89	7,84	7,85	8,03	7,71	7,86	7,87	7,96	30	30			
0,56	7,85	7,79	7,89	8,03	7,77	7,92	8,02	8,05	30	30			
1,00	7,89	7,79	7,87	8,05	7,79	7,84	8,01	8	30	30			
1,80	7,88	7,82	7,93	8,03	7,8	7,87	7,94	8,02	30	30			
3,20	7,89	7,81	7,92	8,08	7,81	7,89	7,94	7,98	30	30			
Rata-rata	7,9												
Kisaran	7,71--8,08												

Hasil pengukuran parameter kualitas air larutan uji kadmium dari ke-enam sampel (kontrol, 0,32 ppm, 0,56 ppm, 1 ppm, 1,8 ppm, dan 3,2 ppm) selama 96-jam secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.4. Parameter kualitas air yang diukur selama uji kadmium (*reference toxicant*) adalah sama dengan yang diukur selama uji sedimen yaitu suhu, oksigen terlarut (DO), derajat keasaman (pH) dan salinitas. Hasil pengukuran suhu larutan uji kadmium selama 96-jam mengalami fluktuatif.

Pengamatan parameter suhu dijam ke-30, semua sampel mengalami kenaikan. Konsentrasi kadmium 1,8 ppm mengalami kenaikan suhu tertinggi dibanding sampel lainnya. Pada pengamatan 72 jam, suhu kembali turun namun sebelumnya terjadi kenaikan terlebih dahulu. Sampel yang mengalami kondisi suhu terendah pada pengamatan 72 jam adalah kontrol. Kenaikan suhu kembali terjadi saat pengamatan terakhir, yaitu jam ke-96 yaitu kondisi suhu sama seperti saat awal pengamatan dijam ke-0. Meskipun hasil pengamatan suhu cenderung fluktuatif, namun nilai suhu yang terukur dari awal hingga akhir masa uji tidak memiliki rentang nilai yang cukup jauh. Nilai rata-rata suhu yang terukur selama empat hari masa uji dari ke-enam sampel adalah 24,8°C. Kisaran suhu terendah adalah 24,1°C pada kontrol dan tertinggi 25,7°C pada konsentrasi kadmium 1,8 ppm.

Menurut ASTM (2006a: 488), suhu pengujian akan tergantung dari spesies amphipoda yang digunakan. Suhu yang dipilih dalam pengujian harus mendekati kondisi suhu maksimum pada saat musim kemarau di habitat aslinya sehingga diharapkan organisme uji masih dapat bertahan pada kondisi tersebut. Sebagai contoh, amphipoda jenis *Ampelisca abdita* dan *Leptocheirus plumulosus* harus diuji pada suhu 20°C dan 25°C dikarenakan sesuai dengan kondisi suhu di habitat aslinya.

Perolehan hasil pengukuran parameter suhu di atas adalah bukan akibat dari pengaturan suhu yang dilakukan untuk menyesuaikan dengan jenis organisme uji yang digunakan yaitu *Grandidierella* sp.. Melainkan akibat dari kondisi suhu di ruangan tempat pengujian berlangsung, yaitu laboratorium ekotoksikologi yang dilengkapi oleh alat pendingin udara. Kondisi suhu ruangan laboratorium ekotoksikologi yang terukur adalah 24 sampai 27°C. Hal tersebut pada akhirnya

memengaruhi hasil pengukuran parameter suhu pada seluruh sampel sehingga suhu yang terukur tidak jauh berbeda dengan kondisi suhu ruangan pengujian. Selain itu, berdasarkan pengukuran parameter suhu yang dilakukan di lokasi *Grandidierella* sp. diperoleh, suhu yang terukur adalah 31,2°C. Pengukuran tersebut dilakukan saat musim kemarau yaitu pada bulan Agustus.

Kesimpulannya, kondisi parameter suhu yang terukur selama pengamatan masih berada pada kondisi yang optimal. Hal tersebut dikarenakan *Grandidierella* sp. di habitat aslinya dapat bertahan hidup pada suhu mencapai 31,2°C.

Kondisi oksigen terlarut selama 96-jam pada uji *reference toxicant* kadmium dapat dilihat pada Tabel 4.4. Kondisi DO selama pengamatan cenderung fluktuatif. Namun, rentang nilai konsentrasi DO yang terukur tidak terlalu jauh. Perolehan nilai konsentrasi DO yang tinggi selama pengamatan kemungkinan disebabkan oleh pemberian aerasi pada ke-enam sampel sejak dimulainya pengamatan dijam ke-0.

Nilai rata-rata konsentrasi oksigen terlarut dari ke-enam sampel adalah 6,16 mg/L. Kisaran nilai DO terendah mencapai 5,84 mg/L pada konsentrasi kadmium 0,32 ppm dan tertinggi mencapai 6,39 mg/L pada kontrol. Berdasarkan hasil pengukuran nilai rata-rata oksigen terlarut dari ke-enam sampel di atas, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi DO yang terukur tergolong tinggi dan optimal. Kondisi tersebut sesuai dengan ketentuan USEPA-USACE 2001 (*lihat* ASTM 2006b: 465) yang menyatakan bahwa konsentrasi oksigen terlarut yang direkomendasikan saat uji *reference toxicant* adalah >60% dari kejenuhan atau di atas 4,4 mg/L.

Kondisi pH selama 96-jam pada uji *reference toxicant* kadmium dapat dilihat pada Tabel 4.4. Berdasarkan tabel, kondisi pH mengalami fluktuatif yaitu terjadi kenaikan pada seluruh sampel pada pengamatan jam ke-36 dan turun kembali saat pengamatan jam ke-42. Sampel yang mengalami kenaikan tertinggi adalah pada konsentrasi kadmium 3,2 ppm dan terendah pada konsentrasi kadmium 0,32 ppm. Pada pengamatan jam ke-48 sampai dengan jam ke-96, seluruh sampel kembali mengalami kenaikan secara bertahap.

Perolehan nilai rata-rata pH dari ke-enam sampel adalah 7,90 dengan kisaran terendah sebesar 7,71 pada konsentrasi kadmium 0,32 ppm dan tertinggi

sebesar 8,08 pada konsentrasi kadmium 3,2 ppm. Meskipun kondisi pH selama pengamatan cenderung fluktuatif, namun rentang nilai pH yang terukur tidak terlalu jauh dan masih berada dalam kondisi optimal. Hal tersebut dikarenakan kondisi pH yang baik untuk kehidupan organisme akuatik adalah sekitar 7,00 sampai dengan 8,50 (Effendi 2003: 73).

Kondisi salinitas selama 96-jam uji *reference toxicant* kadmium dapat dilihat pada Tabel 4.4. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai salinitas selama masa uji dari ke-enam sampel adalah stabil yaitu 30 ppt dan tidak mengalami perubahan selama pengujian berlangsung. Hal tersebut disebabkan air laut yang digunakan sebagai larutan uji memiliki nilai salinitas sebesar 30 ppt.

Pengukuran salinitas hanya dilakukan saat awal dan akhir pengamatan karena pada akhirnya nilai salinitas yang terukur selama pengamatan adalah stabil. Menurut ASTM (2006b: 465), dalam mengukur parameter kualitas air uji *reference toxicant*, khusus parameter salinitas hanya diukur saat awal dan akhir pengujian. Hal tersebut dikarenakan kondisi salinitas tidak akan berubah baik pada awal maupun akhir pengujian.

Berdasarkan pengamatan parameter kualitas air larutan uji kadmium secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran parameter kualitas air larutan uji kadmium berada pada kondisi yang optimal. Meskipun hasil pengukuran parameter kualitas air secara keseluruhan mengalami fluktuasi (kecuali salinitas), namun rentang nilai yang terukur secara keseluruhan tidak terlalu jauh. Parameter suhu yang fluktuatif lebih disebabkan oleh kondisi suhu pada ruangan pengujian. Hal tersebut dikarenakan tidak dilakukannya pengaturan suhu yang disesuaikan dengan jenis organisme uji yang digunakan melainkan suhu pengujian mengikuti dan menyesuaikan dengan kondisi suhu ruangan pengujian. Sedangkan salah satu kemungkinan yang menyebabkan terjadinya fluktuasi nilai pada pengukuran parameter DO dan pH adalah akibat dari adanya aktivitas metabolisme yang dihasilkan oleh organisme uji selama pengujian berlangsung. Menurut Edward & Pulumahuny (2003: 27), salah satu faktor yang menyebabkan berkurangnya konsentrasi oksigen terlarut adalah adanya proses respirasi organisme perairan. Oleh karena itu, terjadinya fluktuasi pada konsentrasi DO yang terukur selama pengamatan kemungkinan disebabkan oleh

adanya pemanfaatan oksigen terlarut oleh organisme uji dalam melakukan proses respirasi.

Apabila dibandingkan antara hasil pengukuran parameter kualitas air larutan uji sedimen dengan larutan uji kadmium akan terlihat adanya perbedaan. Kedua hasil pengukuran parameter kualitas air tersebut sama-sama mengalami fluktuasi. Uji kadmium yang hanya menggunakan air laut sebagai larutan uji dan ditambah berbagai konsentrasi kadmium sebagai perlakuan mempunyai hasil pengukuran yang berbeda dengan uji sedimen yang menggunakan air laut sebagai larutan uji dan ditambah berbagai jenis sedimen sebagai perlakuan. Perbedaan hasil pengukuran tersebut kemungkinan besar dipengaruhi oleh jenis perlakuan pada kedua uji masing-masing yaitu perlakuan berbagai konsentrasi kadmium maupun berbagai jenis sedimen.

4.4 Karakteristik Sedimen Teluk Jakarta dan Muara Kramat Kebo, Tangerang

Karakteristik sedimen Teluk Jakarta dan Muara Kramat Kebo, Tangerang yang diamati antara lain adalah warna, tipe sedimen, aroma, *debris* dan kehadiran benthos (Tabel 4.5). Karakteristik tersebut diamati secara visual kecuali aroma sedimen. *Debris* merupakan kumpulan dari sisa-sisa bahan organik yang membusuk atau bagian tubuh makhluk hidup yang telah mati dan mengendap di dalam sedimen.

Karakteristik warna pada semua sampel sedimen baik di Teluk Jakarta maupun Muara Kramat Kebo, Tangerang hampir sama yaitu abu-abu, kecuali pada sampel D5 yang berwarna hitam dan berminyak. Sampel D5 merupakan sedimen yang berasal dari Muara Sunter, dimana dekat dengan Pelabuhan Tanjung Priok. Ongkosongo *dkk.* (1980: 44--46) menyatakan bahwa warna sedimen pada umumnya adalah abu-abu kehijauan. Sedangkan sedimen dasar Teluk Jakarta di beberapa muara yang tercemar limbah minyak industri dan buangan sampah, berwarna hitam dan kecoklatan dalam keadaan basah.

Tabel 4.5 Karakteristik sedimen Teluk Jakarta dan Muara Kramat Kebo

Stasiun	Karakteristik Sedimen				
	Warna	Tipe Sedimen	<i>Debris</i>	Aroma	Benthos
A2	Abu-abu kecoklatan	Berpasir dan berlumpur	Detritus berupa daun	Tidak berbau	Amphipoda
B3	Abu-abu	Berlumpur	Cangkang kerang	Tidak berbau	Polychaeta
B5	Abu-abu	Berlumpur	Cangkang kerang	Tidak berbau	Tidak ada
C5	Abu-abu kecoklatan	Berlumpur	Cangkang kerang	H ₂ S	Tidak ada
D5	Hitam dan berminyak	Berlumpur	Tidak ada	H ₂ S	Tidak ada
C3	Abu-abu	Berlumpur	Cangkang kerang	Tidak berbau	Tidak ada
D3	Abu-abu kehitaman	Berlumpur	Tidak ada	H ₂ S	Tidak ada

Warna hitam yang teramati pada sampel sedimen D5 dari Muara Sunter merupakan akibat dari tingginya tingkat pencemaran limbah industri yang berada di wilayah tersebut. Menurut data yang diperoleh dari BPS DKI Jakarta (2004), sepanjang aliran dan sekitar Muara Sunter dipadati oleh industri-industri, di antaranya adalah industri perakitan kendaraan (*manufacturing*), bahan bakar kendaraan, makanan, logam, dan elektronik. Selain itu, adanya kandungan minyak pada sedimen Muara Sunter diakibatkan oleh lokasi Muara Sunter yang dekat dengan Pelabuhan Tanjung Priok. Lokasi tersebut merupakan tempat pembuangan limbah dari air bilas dan minyak dari kapal-kapal yang berlabuh/bersandar dan bongkar muat barang-barang (Rochyatun & Rozak 2007: 32).

Karakteristik *debris*, benthos, dan aroma yang diamati pada sampel sedimen Teluk Jakarta dan Muara Kramat Kebo, Tangerang hanya diperoleh pada beberapa sampel saja. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, ditemukan *debris* pada sampel A2, B3, B5, C5, dan C3. Jenis *debris* yang ditemukan pada sampel A2 adalah detritus berupa daun dan selebihnya cangkang kerang. Benthos

hanya ditemukan pada sampel A2 dan B3 saja yaitu amphipoda pada sampel A2 dan polychaeta pada sampel B3. Sedangkan adanya aroma H₂S pada sedimen hanya ditemukan pada sampel C5, D5, dan D3. Keberadaan benthos berupa amphipoda dan polychaeta pada stasiun A2 dan B3 merupakan pengaruh dari tipe sedimen pada kedua stasiun tersebut. Menurut Odum 1971 (*lihat* Azis 2008: 183) keberadaan fauna makrobentos salah satunya dipengaruhi oleh tipe substrat atau sedimen.

Sedimen yang memiliki aroma H₂S pada umumnya adalah sedimen yang diperoleh dekat dengan muara sungai. Sampel D5 dan C5 merupakan sampel sedimen yang diperoleh di dekat Muara Sungai Sunter dan sampel D3 merupakan sampel yang diperoleh di dekat Muara Sungai Ancol. Menurut Helfinalis (2008: 54), sedimen yang dijumpai di muara sungai Teluk Jakarta pada umumnya beraroma H₂S pekat dan berwarna hitam pekat. Penyebabnya adalah pengaruh buangan limbah pabrik yang bermuara ke laut dan limbah minyak yang terbuang dari kapal dan perahu motor yang pada akhirnya mengendap ke dalam sedimen.

4.5 Uji Toksisitas Sedimen terhadap *Grandidierella* sp.

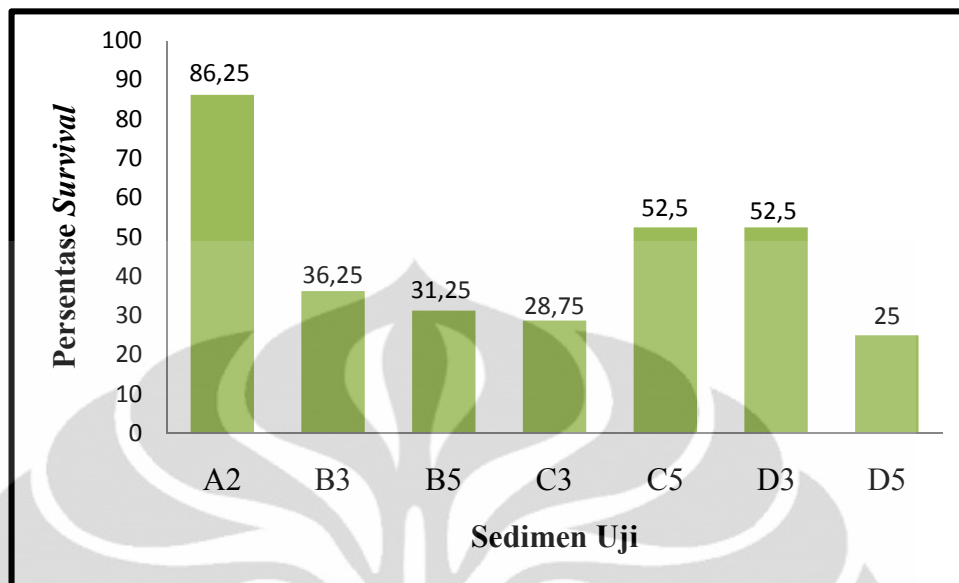
Berdasarkan Tabel 4.6, nilai rata-rata persentase tingkat ketahanan hidup organisme uji *Grandidierella* sp. tertinggi berada pada sedimen A2 dan terendah pada sedimen D5. Nilai rata-rata ketahanan hidup *Grandidierella* sp. pada sedimen A2 mencapai 86,25% (Gambar 4.3). Tingginya tingkat ketahanan hidup *Grandidierella* sp. pada stasiun tersebut dikarenakan sedimen A2 merupakan sedimen yang dijadikan sebagai kontrol dalam pengujian.

Menurut Simpson *dkk.* (2005: 33) dan ASTM (2006b: 451), sedimen kontrol merupakan sedimen yang bebas dari zat pencemar dan digunakan untuk menilai diterimanya suatu hasil uji. Pernyataan di atas sesuai dengan hasil analisis kandungan logam berat Pb dan Cd dalam sedimen A2 yang dilakukan oleh Laboratorium Pencemaran, P2O LIPI, Ancol. Logam berat Pb dan Cd dipilih untuk dianalisis atas dasar tingkat toksisitas kedua logam berat tersebut terhadap organisme akuatik. Menurut Widowati (2008: 2), tingkat toksisitas logam berat Cd dan Pb terhadap organisme akuatik berada di urutan tertinggi kedua dan

keempat setelah logam Hg dan Zn. Kandungan logam berat timbal (Pb) yang terukur hanya 6,59 ppm dan kadmium (Cd) 0,07 ppm. Kedua nilai logam berat tersebut merupakan yang paling rendah diantara sampel sedimen lainnya. Nilai ambang batas logam berat Pb yang terkandung dalam sedimen tercemar menurut *Canadian Standard for Contaminated Sediments* adalah 25 ppm (Takarina dkk. 2008: 156--157). Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai logam berat Pb yang terkandung dalam sedimen A2 berada jauh di bawah nilai ambang batas yang telah ditetapkan.

Tabel 4.6 Perolehan data hasil uji toksisitas sedimen terhadap *Grandidierella* sp.

Tanggal Pengujian : 25 Agustus 2010		Spesies : <i>Grandidierella</i> sp.									
Jumlah organisme : 20		Lama pengujian : 10 hari									
Stasiun Sedimen	Rep.	Persentase <i>survival</i> (hari ke-10)									
		H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	H-6	H-7	H-8	H-9	H-10
A2	1										80%
	2										85%
	3										90%
	4										90%
D5	1										35%
	2										25%
	3										15%
	4										25%
D3	1										65%
	2										55%
	3										50%
	4										40%
C5	1										50%
	2										40%
	3										60%
	4										60%
C3	1										30%
	2										35%
	3										25%
	4										25%
B5	1										20%
	2										30%
	3										35%
	4										40%
B3	1										50%
	2										20%
	3										25%
	4										50%



Gambar 4.3 Histogram persentase nilai rata-rata *survival* *Grandidierella* sp. terhadap sedimen uji selama 10 hari pemaparan dari 4 replika

Nilai rata-rata ketahanan hidup *Grandidierella* sp. terendah terdapat pada sampel sedimen D5 yakni sebesar 25%. Sampel sedimen D5 merupakan sedimen yang berasal dari Muara Sunter, Teluk Jakarta dan berjarak <5 km dari garis pantai. Berdasarkan hasil analisa Laboratorium Pencemaran P20 LIPI Ancol terhadap kandungan logam berat Pb, Cd, dan Cu pada sedimen D5, nilai konsentrasi ketiga logam berat tersebut merupakan yang tertinggi diantara stasiun lainnya. Konsentrasi logam berat Pb yang terukur sebesar 37 ppm, Cd 0,39 ppm dan Cu 42,7 ppm. Hasil pengukuran logam berat tersebut sesuai dengan pernyataan Arifin (2004: 17), bahwa konsentrasi unsur logam berat seperti Pb, Cd, dan Cu dalam sedimen umumnya tinggi di sekitar pantai barat dan pantai timur Teluk Jakarta dan konsentrasi tertinggi terjadi terutama di daerah-daerah muara sungai pada jarak kurang dari 5 km dari garis pantai. Tingginya konsentrasi logam berat Pb dan Cu tersebut sudah melampaui nilai ambang batas untuk logam berat Pb dan Cu yang terkandung dalam sedimen tercemar. Menurut *Canadian Standard for Contaminated Sediments*, nilai ambang batas logam berat Cu dan Pb yang terkandung dalam sedimen tercemar sebesar 30 ppm dan 25 ppm (Takarina dkk. 2008: 156--157).

Tingginya tingkat pencemaran yang terjadi pada sedimen D5 sudah terlihat pada karakteristik sedimen yang teramati seperti warna, aroma, benthos, dan *debris*. Warna sedimen D5 yang diperoleh adalah hitam pekat dan berminyak, memiliki aroma H₂S, serta tidak ditemukan benthos dan juga *debris*.

Karakteristik sedimen tercemar tersebut sesuai dengan pendapat Pearson & Rosenberg 1978 (*lihat* Azis 2008: 182) yang menyatakan bahwa lokasi perairan yang tercemar berat biasanya ditandai dengan sedimen yang berwarna hitam pekat, beraroma kuat H₂S dan tidak ditemukan kehidupan organisme benthos. Selain itu, kondisi sedimen yang berminyak juga sangat memengaruhi kemampuan *Grandidierella* sp. untuk dapat bertahan hidup pada sedimen D5. Menurut Gesteira & Dauvin (2000: 1024), krustasea kelompok amphipoda sangat sensitif terhadap adanya pencemaran minyak (*oil spil*) terutama pada marga *Amphelisca*.

Faktor selain logam berat yang dapat memengaruhi tingkat kemampuan ketahanan hidup *Grandidierella* sp. adalah amoniak. Sedimen yang diperoleh dari alam pada umumnya mengandung konsentrasi amoniak yang dapat bersifat toksik terhadap organisme uji seperti amphipoda (ASTM 2006b: 490). Amoniak tidak hanya berperan sebagai nutrisi penting bagi sel alga dan beberapa jenis mikroba, namun juga dapat berperan sebagai toksikan bagi organisme akuatik. Pada umumnya sedimen yang tercemar memiliki kandungan amoniak yang sangat tinggi (Lee *dkk.* 2005: 22). Walaupun demikian, pengukuran konsentrasi amoniak pada larutan uji sedimen tidak dilakukan selama pengujian berlangsung. Hal tersebut dikarenakan berdasarkan pernyataan Burton 1992 (*lihat* Lee *dkk.* 2005: 22), uji toksisitas sedimen bukan ditujukan untuk menentukan toksisitas dari amoniak dalam sedimen, melainkan sebagian besar untuk menentukan toksisitas dari logam berat atau senyawa organik terhadap organisme uji yang nantinya berguna dalam mengetahui tingkat pencemaran bahan kimia yang terkandung dalam sedimen yang diujikan.

Secara keseluruhan persentase nilai rata-rata *survival Grandidierella* sp. pada masing-masing stasiun dari yang tertinggi ke terendah berturut-turut adalah A2 (86,25%), C5 (52,5%), D3 (52,5%), B3 (36, 25%), B5 (31,25%), C3 (28,75%), dan D5 (25%). Berdasarkan data di atas, dapat disimpulkan bahwa

sampel sedimen yang berasal dari perairan Teluk Jakarta dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan bertahan hidup organisme uji. Hal tersebut terbukti dari persentase nilai rata-rata *survival Grandidierella* sp. yang dipaparkan terhadap sedimen Teluk Jakarta yang berada dibawah 55%. Berdasarkan hasil pemaparan dari ke-enam stasiun yaitu B5, B3, C5, C3, D5, dan D3, seluruhnya menunjukkan nilai *survival* yang rendah yaitu berkisar antara 25 sampai dengan 52,5%. Nilai tersebut masih berada jauh di bawah persentase nilai rata-rata ketahanan hidup *Grandidierella* sp. pada sedimen kontrol yaitu A2 yang mencapai 86,25%. Oleh karena itu, untuk membuktikan adanya pengaruh sedimen Teluk Jakarta terhadap tingkat ketahanan hidup atau *survival Grandidierella* sp., maka data persentase nilai rata-rata *survival* yang diperoleh selanjutnya dianalisa dengan perangkat lunak TOXSTAT versi 3.2.

Hasil analisis perangkat lunak TOXSTAT versi 3.2 menunjukkan bahwa adanya pengaruh sedimen Teluk Jakarta terhadap tingkat ketahanan hidup *Grandidierella* sp.. Berdasarkan hasil uji Dunnet, diperoleh enam sampel sedimen yang menunjukkan signifikan, dimana ditandai dengan adanya tanda bintang (*). Sampel sedimen tersebut adalah D5, D3, C5, C3, B5, dan B3 yang kesemuanya berasal dari Teluk Jakarta. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa tingkat ketahanan hidup *Grandidierella* sp. pada ke-enam sampel sedimen dari Teluk Jakarta signifikan berbeda dengan tingkat ketahanan hidup *Grandidierella* sp. pada sampel sedimen kontrol (sampel A2) yang berasal dari Muara Kramat Kebo, Tangerang. Hal tersebut membuktikan bahwa *Grandidierella* sp. memiliki tingkat sensitifitas yang tinggi terhadap sedimen tercemar Teluk Jakarta sehingga *Grandidierella* sp. berpotensi layak untuk dijadikan sebagai organisme uji toksisitas sedimen tercemar.

4.6 Uji Toksisitas Kadmium (*reference toxicant*) terhadap *Grandidierella* sp.

Hasil akhir yang ingin dicapai dalam melakukan uji toksisitas kadmium terhadap *Grandidierella* sp. adalah untuk memperoleh nilai LC_{50} dari *reftox* yang dipaparkan terhadap organisme uji (ASTM 2006b: 465). Persentase nilai *survival Grandidierella* sp. yang dipaparkan terhadap lima konsentrasi kadmium dan satu

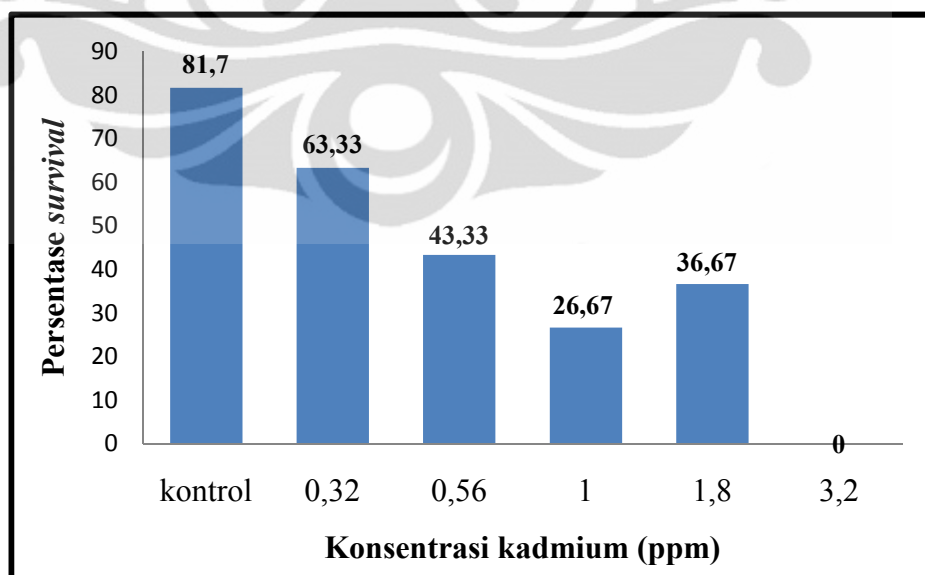
kontrol selama 96-jam dapat dilihat pada Tabel 4.7. Berdasarkan perolehan persentase nilai *survival* tersebut, nilai rata-rata tingkat ketahanan hidup *Grandidierella* sp. pada pengamatan ke-96 jam tertinggi berada pada kontrol dan terendah pada konsentrasi kadmium 3,2 ppm (Gambar 4.4). Tingginya persentase *survival* pada kontrol dikarenakan pada sampel tersebut hanya terdiri atas larutan berupa air laut saja.

Meskipun nilai *survival* *Grandidierella* sp. pada kontrol tergolong tinggi yaitu mencapai 81,67%, tetapi nilai tersebut tidak memenuhi kriteria standar dalam melakukan uji *reference toxicant*. Menurut ASTM (2006b: 465), hasil uji *reference toxicant* dapat diterima apabila nilai rata-rata *survival* organisme uji pada kontrol minimal 90%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian *reference toxicant* berupa kadmium terhadap *Grandidierella* sp. belum dapat memenuhi kriteria sesuai dengan yang diajukan oleh ASTM (2006b: 465) tersebut.

Kemungkinan, penyebab tidak terpenuhinya nilai *survival* *Grandidierella* sp. mencapai 90% adalah karena belum dipahami lebih rinci mengenai perilaku *Grandidierella* sp. yang digunakan sebagai organisme uji. Tidak adanya substrat berupa sedimen sebagai tempat untuk melakukan aktivitas *burrowing* atau menggali sedimen bagi *Grandidierella* sp. dalam uji toksisitas kadmium sepertinya memengaruhi terhadap kemampuan *survival* hewan tersebut. Sedimen selain berperan sebagai habitat dari *Grandidierella* sp. juga berperan dalam menyediakan kebutuhan makanan bagi hewan tersebut. Menurut Simpson *dkk.* (2005: 39), amphipoda jenis *Grandidierella japonica* merupakan detritivor dimana memakan sisa-sisa bahan organik dan juga alga yang terdapat pada sedimen melalui aktivitas menggali atau *burrowing*. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa dalam pengujian dengan kadmium, *Grandidierella* sp. tidak dapat memperoleh makanan akibat dari tidak adanya sedimen sebagai substrat. Hal tersebut dikarenakan dalam uji toksisitas kadmium hanya terdiri atas pelarut berupa air laut saja. Akibatnya, organisme uji akan mengalami kematian lebih awal dan pada akhirnya hal tersebut akan memicu terjadinya aktivitas kanibalisme saat pengujian berlangsung.

Tabel 4.7 Perolehan data hasil uji toksisitas kadmium (*reference toxicant*) terhadap *Grandidierella* sp.

Organisme uji : <i>Grandidierella</i> sp.		Tanggal pengujian : 25 Agustus 2010									
Jumlah organisme/volume : 20/1000 mL		Lama pengujian : 96 jam									
Conc. (mg/L)	Rep.	Persentase <i>Survival</i> 96 jam									
		1	2	4	24	30	36	42	48	72	96
kontrol	1	95	95	95	95	90	90	90	90	90	85
	2	100	100	100	95	95	85	85	85	85	80
	3	100	100	95	90	85	85	85	85	80	80
0,32	1	100	100	100	100	100	100	95	95	85	80
	2	100	100	100	95	95	90	85	85	70	55
	3	100	100	100	90	90	75	75	75	65	55
0,56	1	100	100	100	85	85	80	80	80	65	55
	2	100	100	100	100	100	85	85	80	55	45
	3	100	100	95	95	90	80	80	75	40	30
1,00	1	100	100	100	80	75	60	45	45	25	25
	2	100	100	100	90	85	75	70	65	45	35
	3	100	100	100	100	90	80	80	75	45	20
1,80	1	100	100	100	90	85	65	65	50	35	25
	2	100	100	100	80	75	40	25	25	10	5
	3	100	100	95	85	80	80	80	80	80	80
3,2	1	100	100	100	70	55	40	30	20	15	0
	2	100	100	100	70	50	40	35	25	10	0
	3	100	100	100	45	30	20	15	10	5	0



Gambar 4.4 Histogram persentase nilai rata-rata *survival* *Grandidierella* sp. terhadap lima konsentrasi kadmium dan satu kontrol selama 96-jam

Secara keseluruhan, persentase nilai rata-rata *survival Grandidierella* sp. semakin menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi kadmium. Pada konsentrasi kadmium tertinggi yaitu 3,2 ppm, nilai rata-rata *survival* pada pengamatan jam ke-96 adalah 0 atau dengan kata lain pada konsentrasi tersebut tidak ada satu pun organisme uji yang mampu bertahan pada pengamatan jam ke-96. Persentase nilai rata-rata *survival Grandidierella* sp. pada sampel konsentrasi kadmium 1,8 ppm saat pengamatan ke-96 jam lebih tinggi dibanding konsentrasi di bawahnya, yaitu 1 ppm. Semestinya persentase nilai rata-rata *survival Grandidierella* sp. pada konsentrasi 1,8 ppm lebih rendah dibanding konsentrasi 1 ppm. Jika melihat nilai persentase *survival Grandidierella* sp. pada konsentrasi 1,8 ppm dimasing-masing replika, maka nilai *survival* pada replika ketiga sangat tinggi yaitu mencapai 80%. Tingginya persentase nilai *survival* pada replika tersebut kemungkinan disebabkan oleh kesalahan teknis dalam pembuatan larutan kadmium konsentrasi 1,8 ppm. Oleh karena itu, dapat diasumsikan jika tingginya nilai *survival* pada konsentrasi 1,8 ppm yang mencapai 80% disebabkan oleh kesalahan teknis sehingga konsentrasi kadmium yang terkandung pada replika ketiga tidak sebesar 1,8 ppm melainkan dibawah 1,8 ppm atau mungkin tidak mengandung logam kadmium sama sekali.

ASTM (2006b: 479--480), menyatakan bahwa hasil uji toksisitas sedimen tidak dapat dianggap belum diterima apabila persentase *survival* organisme uji dalam uji *reference toxicant* kurang dari 90%. Penerimaan suatu hasil uji toksisitas sedimen dapat bergantung pada pengalaman dan juga keputusan dari peneliti serta peraturan dari para ahli. Oleh sebab itu, meskipun persentase nilai rata-rata *survival Grandidierella* sp. pada kontrol hanya mencapai 81,67% tetapi hal tersebut tidak menghalangi dalam menentukan dan mengetahui nilai LC_{50} 96-jam kadmium terhadap *Grandidierella* sp. dalam uji *reference toxicant*.

Penentuan nilai LC_{50} 96-jam kadmium terhadap *Grandidierella* sp. menggunakan metode Spearman-Kärber analisis yang terangkum dalam perangkat lunak berupa EFFL versi 1.2. Hasil dari analisis tersebut diperoleh nilai LC_{50} 96-jam kadmium terhadap *Grandidierella* sp. sebesar 0,465 mg/L. Data yang dimasukkan ke dalam perangkat lunak EFFL versi 1.2 hanya data mortalitas organisme uji terhadap ke-lima konsentrasi kadmium yang dipaparkan saja

sedangkan data mortalitas yang diperoleh pada kontrol tidak dimasukkan. Oleh karena itu, perolehan nilai LC_{50} tidak bergantung pada nilai *survival* atau mortalitas yang diperoleh pada kontrol.

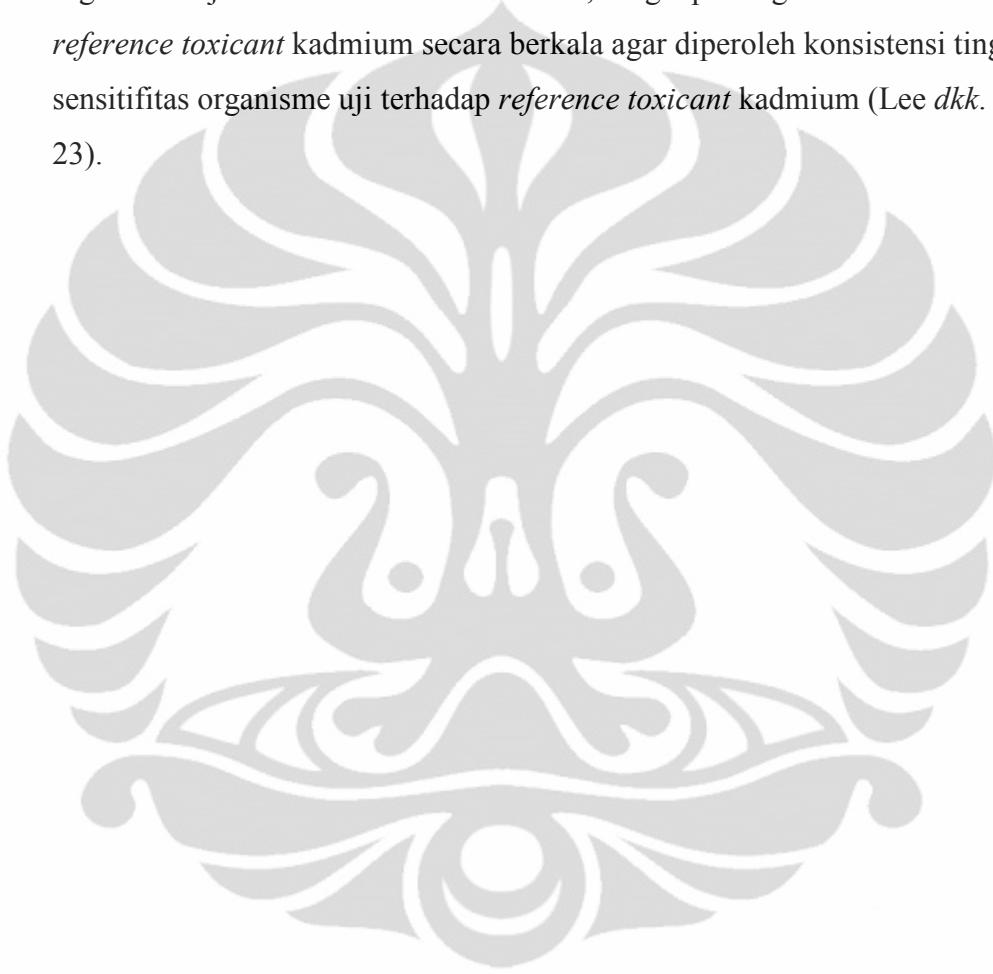
Hasil uji toksisitas kadmium selama 96-jam menunjukkan bahwa nilai LC_{50} kadmium terhadap ketahanan hidup *Grandidierella* sp. berada pada nilai 0,465 mg/L kadmium. Nilai LC_{50} kadmium tersebut menunjukkan bahwa pada konsentrasi kadmium 0,465 mg/L telah dapat mengakibatkan kematian 50% dari populasi *Grandidierella* sp. yang diujikan. Apabila nilai LC_{50} 96-jam kadmium yang diperoleh dibandingkan dengan nilai LC_{50} 96-jam kadmium terhadap spesies amphipoda yang lain, maka diperoleh nilai yang berbeda satu sama lain (Tabel 4.14).

Tabel 4.8 Nilai LC_{50} 96-jam kadmium terhadap beberapa spesies amphipoda

Spesies	LC_{50} kadmium	Referensi
<i>Eohaustorius estuarius</i>	12,5 mg/L	Boese <i>dkk.</i> (1997: 392)
<i>Leptocheirus plumulosus</i>	1,45 mg/L	Boese <i>dkk.</i> (1997: 392)
<i>Grandidierella japonica</i>	(a) 1,47 mg/L (b) 0,34 mg/L (c) 1,17 mg/L (d) 3,14 mg/L	(a) Lee <i>dkk.</i> (2005: 64); (b) Boese <i>dkk.</i> (1997: 392); (c) ASTM 1999 (<i>lihat</i> Lee <i>dkk.</i> 2005: 64) (d) Kohn (1994: 10)
<i>Rhepoxynius abronius</i>	1,5 mg/L	Boese <i>dkk.</i> (1997: 392)
<i>Ampelisca abdita</i>	0,63 mg/L	Kohn (1994: 10)
<i>Grandidierella</i> sp.	0,465 mg/L	Afandi (2011)

Berdasarkan tabel di atas, *Eohaustorius estuarius* merupakan spesies amphipoda yang sangat toleran terhadap konsentrasi kadmium dibanding jenis lainnya. Hal itu terbukti dengan tingginya nilai LC_{50} 96-jam kadmium terhadap amphipoda tersebut yang mencapai 12,5 mg/L. Perbedaan nilai LC_{50} kadmium terhadap beberapa jenis amphipoda di atas pada masing-masing penelitian disebabkan oleh banyak faktor. Menurut McCahon & Pascoe 1988 (*lihat* Lee *dkk.* 2005: 23), terjadinya perbedaan sensitifitas organisme uji terhadap suatu toksikan

disebabkan oleh beberapa faktor seperti perbedaan musim, kesehatan organisme uji, dan kondisi pengujian itu sendiri. Selain itu, Kater *dkk.* (2000: 3034) serta McGee *dkk.* (1998: 36) juga menambahkan bahwa terjadinya perbedaan sensitifitas organisme uji terhadap suatu toksikan juga disebabkan oleh faktor seperti aktivitas metabolisme, ukuran tubuh, jenis kelamin, dan siklus *molting* dari organisme uji itu sendiri. Oleh karena itu, sangat penting untuk melakukan uji *reference toxicant* kadmium secara berkala agar diperoleh konsistensi tingkat sensitifitas organisme uji terhadap *reference toxicant* kadmium (Lee *dkk.* 2005: 23).



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perolehan hasil uji toksisitas sedimen terhadap *Grandidierella* sp. selama sepuluh hari, dapat disimpulkan bahwa *Grandidierella* sp. berpotensi layak untuk dijadikan sebagai organisme uji toksisitas sedimen tercemar. Hal tersebut dapat dibuktikan dari tingginya tingkat sensitifitas *Grandidierella* sp. ketika dipaparkan dengan sedimen tercemar dari perairan Teluk Jakarta. Nilai rata-rata *survival Grandidierella* sp. terhadap ke-enam stasiun sedimen Teluk Jakarta yaitu D5, D3, B5, B3, C5, dan C3 memiliki kisaran antara 25 sampai dengan 52,5%. Persentase nilai rata-rata *survival Grandidierella* sp. terendah berasal dari sedimen di stasiun D5 (25%) yang memiliki jarak <5 km dari Muara Sunter. Nilai rata-rata *survival Grandidierella* sp. tersebut berbeda signifikan dengan perolehan persentase nilai rata-rata *survival Grandidierella* sp. terhadap sedimen kontrol (A2) yang mencapai 86,25%.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian serupa namun dengan menggunakan *Grandidierella* sp. yang berasal dari hasil budidaya di laboratorium sehingga diperoleh kualitas umur dan ukuran organisme uji yang sama. Selain itu, sedimen yang digunakan sebagai kontrol diharapkan berasal dari wilayah yang sebelumnya sudah pernah teruji atau menjadi standar untuk dijadikan sebagai sedimen kontrol sehingga tidak memengaruhi terhadap kemampuan ketahanan hidup organisme uji. Kedepannya, *Grandidierella* sp. diharapkan dapat digunakan sebagai organisme uji toksisitas sedimen yang aplikatif melalui berbagai macam pendekatan seperti: melihat kemampuan *survival* berdasarkan perbedaan *grain size* sedimen dan melihat tingkat toleransi terhadap berbagai macam perlakuan parameter kualitas perairan seperti salinitas, suhu, dan amoniak.

DAFTAR ACUAN

- ACCPMS II (=Asean Canada Cooperative Programme on Marine Science - Phase II). 1993. *A generic protocol for conducting tropical acute toxicity test with fish and invertebrates. Regional workshop on acute toxicity testing.* Institute of Marine Science, Burapha University: iii + 29 hlm.
- ACCPMS II (=Asean Canada Cooperative Programme on Marine Science - Phase II). 1995. *Draft protocol for sublethal toxicity test using tropical marine organism. Regional workshop on chronic toxicity testing.* Institute of Marine Science, Burapha University: iii + 29 hlm.
- Adams, W.J. & C.D. Rowland. 2003. Aquatic toxicology test methods. *Dalam: Hoffman, D.J., B.A. Rattner, G.A. Burton, Jr & J. Cairns, Jr (eds). 2003. Handbook of ecotoxicology. 2nded. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida: 19--44 hlm.*
- Arifin, Z. 2004. Trend of coastal pollution in Jakarta Bay, Indonesia: its implication for fishery and recreational activities. *Proceedings of Bilateral Workshop on Coastal Resources Exploitation and Conservation: Indo-German Experiences, Bali: 61--66.*
- Arifin, Z. 2008. Kajian kecenderungan perubahan kontaminan logam berat di perairan Teluk Jakarta. *Dalam: Ruyitno (ed). 2008. Kajian perubahan ekologis perairan Teluk Jakarta. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, Jakarta: 211--228.*
- ASTM (=American Society for Testing and Materials). 2006a. Procedure for conducting a 10-d sediment survival test with amphipods. E 1367 - 03. *Dalam: Annual Book of ASTM Standard, Water and Environmental Technology. Philadelphia, Pennsylvania: 485--505 hlm.*
- ASTM (=American Society for Testing and Materials). 2006b. Standard test method for measuring the toxicity of sediment-associated contaminants with estuarine and marine invertebrate. E 1367 - 03. *Dalam: Annual Book of ASTM Standard, Water and Environmental Technology. Philadelphia, Pennsylvania: 444--484 hlm.*
- Aswandy, I. 1981. Apakah Amphipoda itu?. *Oseana 7(1): 7--10.*

- Aswandy, I. 1984. Pembiakan dan perkembangan Amphipoda. *Oseana* **9**(4): 124--131.
- Aswandy, I. 1999. Komunitas krustasea bentik di Teluk Bayur dan Teluk Bungus - Sumatera Barat. *Dalam: Supangat, I., Ruyitno & B.S. Soedibjo (eds). 1999. Pesisir dan Pantai Indonesia II.* Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi-LIPI, Jakarta: 67--71.
- Aswandy, I. 2002. Keanekaragaman fauna krustasea bentik di perairan Muara Sungai Digul dan Arafura, Irian Jaya. *Dalam: Nuchsin, R., M. Muchtar & I. Supangat (eds). 2002. Pesisir dan Pantai Indonesia VII.* Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, Jakarta: 77--87.
- Aswandy, I & Soedibjo, B.S. 2006. Struktur komunitas fauna gammaridea dan hubungannya dengan parameter lingkungan di perairan Kepulauan Karimun Jawa-Jawa Tengah. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia.* **41**: 55--70.
- Aziz, A. 2008. Fauna bentos di perairan Teluk Jakarta. *Dalam: Ruyitno (ed). 2008. Kajian perubahan ekologis perairan Teluk Jakarta.* Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, Jakarta: 177--192.
- Azis, A., I. Aswandy & Giyanto. 1998. Pengamatan komunitas ktustasea dan ekhinodermata bentik di Teluk Jakarta. *Lingkungan dan Pembangunan.* **18**(1): 61--73.
- Barnard, J.L. 1981. *The families and genera of marine gammaridean amphipoda.* Smithsonian Institution Press, Washington D.C.: iii + 134 hlm.
- Barnes, R.D. 1987. *Invertebrate zoology.* 5thed. Saunders College Publishing, Philadelphia: ix + 893 hlm.
- Batubara, E. 2010. *Pengaruh pencemaran sedimen Teluk Jakarta terhadap mortalitas Grandidierella sp. (Crustacea: Amphipoda).* Skripsi S1 Jurusan Biologi FMIPA Universitas Padjadjaran. Jatinangor: x + 58 hlm.
- Boese, B.L., J.O. Lamberson, R.C. Swartz & R. J. Ozretich. 1997. Photoinduced toxicity of fluoranthene to seven marine benthic crustaceans. *Arch. Environ. Contam. Toxicol* **32**: 389--393.
- BPS DKI Jakarta. 2004. *Direktori industri besar-sedang DKI Jakarta: Menurut Kotamadya dan nama perusahaan aktif.* BPS Propinsi DKI Jakarta,

- Jakarta: ix + 71 hlm.
- Burton Jr., G.A., D.L. Denton, K. Ho & D.S. Ireland. 2003. Sediment toxicity testing: issues and methods. *Dalam*: Hoffman, D.J., B.A. Rattner, G.A. Burton, Jr & J. Cairns, Jr (eds). 2003. *Handbook of ecotoxicology*. 2nded. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida: 111--150 hlm.
- Cunningham, W.P. & M.A. Cunningham. 2002. *Principle of environmental science*. Mc-Graw Hill Companies, Inc., Boston: xxi + 418 hlm.
- Edward & Pulumahuny, F.S. 2003. Kadar oksigen terlarut di perairan Raha Pulau Muna, Sulawesi Tenggara. *Dalam*: Ruyitno, Pramudji & I. Supangat (eds). 2003. *Pesisir dan Pantai Indonesia VIII*. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, Jakarta: 25--31.
- Effendi, H. 2003. *Telaah kualitas air*. Kanisius, Yogyakarta: 258 hlm.
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi air dan udara*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta: 190 hlm.
- Fathiyyah, F.F. 2009. *Kandungan logam berat seng (Zn) pada polychaeta dan sedimen di perairan Teluk Jakarta*. Skripsi S1 Jurusan Biologi FMIPA Universitas Indonesia. Depok: ix + 65 hlm.
- Fatmawati, I. 2010. *Sensitifitas organisme bentik terhadap amoniak*. Skripsi S1 Jurusan Ilmu dan Teknologi Kelautan FPIK Institut Pertanian Bogor. Bogor: xii + 56 hlm.
- Gesteira, J.L.G. & J.C. Dauvin. 2000. Amphipods are good bioindicators of the impact of oil spills on soft-bottom macrobenthic communities. *Marine Pollution Bulletin* **40**(11): 1017--1027.
- Gómez, J.R., M.L. Martín-Díaz & T.A. DelValls. 2009. Acute toxicity measured in the amphipod *Ampelisca brevicornis* after exposure to contaminated sediments from Spanish littoral. *Ecotoxicology* **18**: 1068--1076.
- Gosner, K.L. 1971. *Guide to the identification of marine and estuarine invertebrates*. John Wiley & Sons, New York: xix + 693 hlm.
- Harkey, G.A., P.F. Landrum & S.J. Klaine. 1994. Preliminary studies on the effect of feeding during whole sediment bioassays using *Chironomus riparius* larvae. *Chemosphere* **28**: 597--606.

- Helfinalis. 2008. Perubahan endapan sedimen di dasar perairan Teluk Jakarta. *Dalam: Ruyitno (ed). 2008. Kajian perubahan ekologis perairan Teluk Jakarta. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, Jakarta: 45--58.*
- Herianto, A. 2010. *Kandungan logam berat seng (Zn) dan kromium (Cr) pada sedimen dan mollusca kaitannya dengan struktur komunitas mollusca di lima muara sungai Teluk Jakarta pada bulan Maret dan April 2010.* Skripsi S1 Jurusan Biologi FMIPA Universitas Indonesia. Depok: xiii + 55 hlm.
- Hickman, C.P. 1973. *Biology of the invertebrates*. 2nd ed. The Mosby Company, Saint Louis: x + 757 hlm.
- Integrated Taxonomic Information System (ITIS). 2011. *Grandidierella* Coutiere, 1904. 1 hlm. http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=93641 5 April 2011. pk. 13.00.
- Kater, B.J., A. Hannewijk, J.F. Postma & M. Dubbeldam. 2000. Seasonal changes in acute toxicity of cadmium to amphipod *Corophium volutator*. *Environ. Toxicol. Chemistry* **19**: 3032--3035.
- Knezovich, J.P., F.L. Harrison & R.G. Wilhelm. 1987. The bioavailability of sediment-sorbed organic chemicals: A review. *Water Air Soil Pollut* **32**: 233--245.
- Kohn, N.P., J.Q. Word, D.K. Niyogi, L.T. Ross, T. Dillon & D.W Moore. 1994. Acute toxicity of ammonia to four species of marine amphipod. *Mar. Environ. Res* **38**: 1--15.
- Landa, V.P., M.J. Belzunce & J. Franco. 2008. The effect of seasonality and body size on the sensitivity of marine amphipods to toxicants. *Bull Environ Contam Toxicol* **81**: 548--552.
- Lee, J.S., K.T. Lee, D.H. Kim, C.K. Kim, J.H. Lee, K.H. Park & G.S. Park. 2005. Application of indigenous benthic amphipods as sediment toxicity testing organism. *Ocean Science Journal* **40**(1): 17--24.
- Lee, J.S., K.T. Lee & G.S. Park. 2005. Acute toxicity of heavy metals, tributyltin, ammonia and polycyclic aromatic hydrocarbons to benthic amphipod *Grandidierella japonica*. *Ocean Science Journal* **40**(2): 61--66.

- Lestari & Edward. 2004. Dampak pencemaran logam berat terhadap kualitas air laut dan sumberdaya perikanan (studi kasus kematian massal ikan-ikan di Teluk Jakarta). *Makara Sains* **8**(2): 52--58.
- Lincoln, R.J. 1979. *British marine amphipoda: gammaridea*. British Museum (Natural History), London: vi + 658 hlm.
- Mc.Gee, B.L., D.A. Wright & D.J. Fisher. 1998. Biotic factors modifying acute toxicity of aqueous cadmium to estuarine amphipod *Leptocheirus plumulosus*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol* **34**: 34--40.
- Melissa, F. 2009. *Kandungan logam berat timbal (Pb) pada polychaeta dan sedimen di perairan Teluk Jakarta*. Skripsi S1 Jurusan Biologi FMIPA Universitas Indonesia. Depok: ix + 76 hlm.
- Muchtar, M. 2008. Fluktuasi kandungan zat hara fosfat, nitrat dan silikat di Teluk Jakarta. *Dalam*: Ruyitno (ed). 2008. *Kajian perubahan ekologis perairan Teluk Jakarta*. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, Jakarta: 101--111.
- Nurmayanti, I. 2009. *Kandungan logam berat kromium (Cr) pada polychaeta dan sedimen di perairan Teluk Jakarta*. Skripsi S1 Jurusan Biologi FMIPA Universitas Indonesia. Depok: viii + 70 hlm.
- Ongkosongo, O. S. R, Subardi, Susmita, P. Hamidjojo & A. Suwardi. 1980. Pengamatan sedimen dasar Teluk Jakarta. *Dalam*: Praseno, D. P. & W. Kastoro (eds). 1980. *Evaluasi hasil pemantauan kondisi perairan Teluk Jakarta, 1975--1979*. Lembaga Oseanografi Nasional-LIPI, Jakarta: 43--48.
- Pechenik, J.A. 1996. *Biology of the invertebrates*. 3rd ed. McGraw-Hill Companies, Boston: xvii + 554 hlm.
- Rahman, A. 2006. Kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada beberapa jenis krustasea di Pantai Batakan dan Takisung Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Bioscientiae* **3**(2): 93--101.
- Rand, G.M. & S.R. Petrocelli. 1985. *Fundamentals of aquatic toxicology*. Hemisphere Publishing Corporation, Washington D.C.: xviii + 659 hlm.
- Ré, A., A.M. Rodrigues & V. Quintino. 2007. Acute toxicity testing with the European estuarine amphipod *Corophium multisetosum*. *Hydrobiologia* **587**: 89--99.

- Ré, A., R. Freitas, L. Sampaio, A.M. Rodrigues & V. Quintino. 2009. Estuarine sediment acute toxicity testing with the European amphipod *Corophium multisetosum* Stock, 1952. *Chemosphere* **76**: 1323--1333.
- Reish, D.L. & P.S. Oshida. 1986. *Manual methods in aquatic environment research. Part 10. Short-term static bioassay*. FAO Fisheries Technical Paper No. 247. California State University, Long Beach: viii + 58 hlm.
- Rochyatun, E. & A. Rozak. 2007. Pemantauan kadar logam berat dalam sedimen di perairan Teluk Jakarta. *Makara Sains* **11**(1): 28--36.
- Sahara, E. 2009. Distribusi Pb dan Cu pada berbagai ukuran partikel sedimen di Pelabuhan Benoa. *Jurnal Kimia* **3**(2): 75--80.
- Septiansa, T. 2010. *Kandungan logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada sedimen dan mollusca kaitannya dengan struktur komunitas mollusca di lima muara sungai Teluk Jakarta pada bulan Maret dan April 2010*. Skripsi S1 Jurusan Biologi FMIPA Universitas Indonesia. Depok: xiv + 69 hlm.
- Simpson, S.L., G.E. Batley, A.A. Chariton, J.L. Stauber, C.K. King, J.C. Chapman, R.V. Hyne, S.A. Gale, A.C. Roach & W.A. Maher. 2005. *Handbook for sediment quality assessment*. CSIRO, Bangor, NSW: viii + 117 hlm.
- Takarina, D.N., Yasman, Sunardi & R.R. Rasyid. 2008. Spesiasi logam berat di sedimen muara dan perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Kimia Lingkungan*. **9**(2): 153--160.
- USEPA (=United States Environmental Protection Agency). 2002. *Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms*. 5thed. Pennsylvania Avenue, Washington D.C.: viii + 266 hlm.
- Widowati, W., A. Sastiono & R. Jusuf. 2008. *Efek toksik logam pencegahan dan penanggulangan pencemaran*. Andi, Yogyakarta: xviii + 410 hlm.
- Yenty. 2009. *Kandungan logam berat tembaga (Cu) pada polychaeta dan sedimen di perairan Teluk Jakarta*. Skripsi S1 Jurusan Biologi FMIPA Universitas Indonesia. Depok: vii + 59 hlm.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisis statistik pengaruh sedimen terhadap ketahanan hidup *Grandidierella* sp. dengan perangkat lunak TOXSTAT versi 3.2

Tujuan:

Mengetahui ada tidaknya pengaruh sedimen Teluk Jakarta terhadap ketahanan hidup *Grandidierella* sp. sebagai organisme uji.

Hipotesis:

Ha: Ada pengaruh yang signifikan antara sedimen Teluk Jakarta terhadap ketahanan hidup *Grandidierella* sp. sebagai organisme uji.

Ho: Tidak ada pengaruh yang signifikan antara sedimen Teluk Jakarta terhadap ketahanan hidup *Grandidierella* sp. sebagai organisme uji.

Hasil analisis ANOVA menunjukkan adanya pengaruh sedimen yang berbeda nyata terhadap *survival Grandidierella* sp.. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai F hitung (19.909) lebih besar dari nilai F tabel (2,57) pada taraf uji $\alpha = 0,05$ sehingga Ho ditolak. Selanjutnya, data kembali dilakukan uji lanjutan yaitu uji Dunnet. Hasil uji Dunnet menunjukkan bahwa diperoleh enam sampel sedimen yang menunjukkan signifikan, dimana ditandai dengan adanya tanda bintang (*) yaitu sampel sedimen D5, D3, C5, C3, B5, dan B3. Berdasarkan hasil analisis uji Dunnet tersebut dapat disimpulkan bahwa sampel sedimen D5, D3, C5, C3, B5, dan B3 yang berasal dari Teluk Jakarta signifikan berpengaruh terhadap kemampuan *survival Grandidierella* sp. dibanding sedimen kontrol (A2) yang berasal dari Muara Kramat Kebo, Tangerang.

TOXSTAT Data Transformation

Transformation: **ARC SINE(SQUARE ROOT(Y))**

Chi-square test for normality: NO
 Shapiro-Wilks test for normality: YES

Hartley test for homogeneity of variance: NO
 Bartlett test for homogeneity of variance: YES

Send output to: SCREEN

Use ↑ ↓ ← → keys to move between boxes.
 Use spacebar to choose selections within a box.
 Form feeds are OFF - Press Alt-F to turn on form feeds.

== CURRENT FILE: SEDRACH == TRANSFORM: ARC SINE(SQUARE ROOT(Y)) ==

FILE 2 TRANSF 3 STAT 4 DATA 5 RUN 6 M. MENU 7 T-TEST 8 QUIT

Sediment to Amphipod
 File: SEDRACH Transform: ARC SINE(SQUARE ROOT(Y))

Shapiro Wilks test for normality

D = 0.225
 W = 0.956

Critical W (P = 0.05) (n = 28) = 0.924
 Critical W (P = 0.01) (n = 28) = 0.896

Data PASS normality test at P=0.01 level. Continue analysis.

Press any key to continue or Esc to return to menu

```

Sediment to Amphipod
File: SEDRACH      Transform: ARC SINE(SQUARE ROOT(Y))

Bartlett's test for homogeneity of variance
-----
Calculated B statistic = 4.32
Table Chi-square value = 16.81 (alpha = 0.01)
Table Chi-square value = 12.59 (alpha = 0.05)

Average df used in calculation ==> df (avg n - 1) = 3.00
Used for Chi-square table value ==> df (#groups-1) = 6
-----

Data PASS homogeneity test at 0.01 level. Continue analysis.

NOTE: If groups have unequal replicate sizes the average replicate size is
used to calculate the B statistic (see above).

Press any key to continue or Esc to return to menu

```

```

TOXSTAT
-----
Statistics

Fishers Exact Test:      NO
List Data:              NO
Summary Statistics:     NO
ANOVA - Dunnetts Test:  YES Ho: Control<Treatment
ANOVA - Bonferroni T-Test: NO Ho: Control<Treatment
ANOVA - Tukeys Test:    NO
Williams Test:          NO
Steels Many-one Rank Test: NO Ho: Control<Treatment
Wilcoxon Rank Sum:      NO Ho: Control<Treatment
Kruskal-Wallis Test:    NO p = 0.05

Send output to: SCREEN

Use ↑ ↓ ← → keys to move between boxes.
Use spacebar to choose selections within a box.
Form feeds are OFF - Press Alt-F to turn on form feeds.

===== CURRENT FILE: SEDRACH ===== TRANSFORM: ARC SINE(SQUARE ROOT(Y)) =====
1 FILE  2 TRANSP  3 STAT  4 DATA  5 RUN  6 M. MENU  7 T-TEST  8 QUIT

```

```

Sediment to Amphipod
File: SEDRACH      Transform: ARC SINE(SQUARE ROOT(Y))

ANOVA TABLE
-----
SOURCE      DF      SS      MS      F
-----
Between     6      1.312   0.219   19.909
Within (Error) 21     0.225   0.011
Total       27     1.537

Critical F value = 2.57 (0.05,6,21)
Since F > Critical F REJECT Ho:All groups equal

Press any key to continue or Esc to return to menu

```


Sediment to Amphipod
File: SEDRACH Transform: ARC SINE(SQUARE ROOT(Y))

DUNNETTS TEST - TABLE 1 OF 2 Ho:Control<Treatment

GROUP	IDENTIFICATION	TRANSFORMED MEAN	MEAN CALCULATED IN ORIGINAL UNITS	T STAT	SIG
1	Control	1.195	0.863		
2	D5	0.519	0.250	9.103	*
3	D3	0.811	0.525	5.174	*
4	C5	0.811	0.525	5.178	*
5	C3	0.565	0.288	8.490	*
6	B5	0.590	0.313	8.149	*
7	B3	0.640	0.363	7.485	*

Dunnett table value = 2.46 (1 Tailed Value, P=0.05, df=20,6)

Press any key to continue

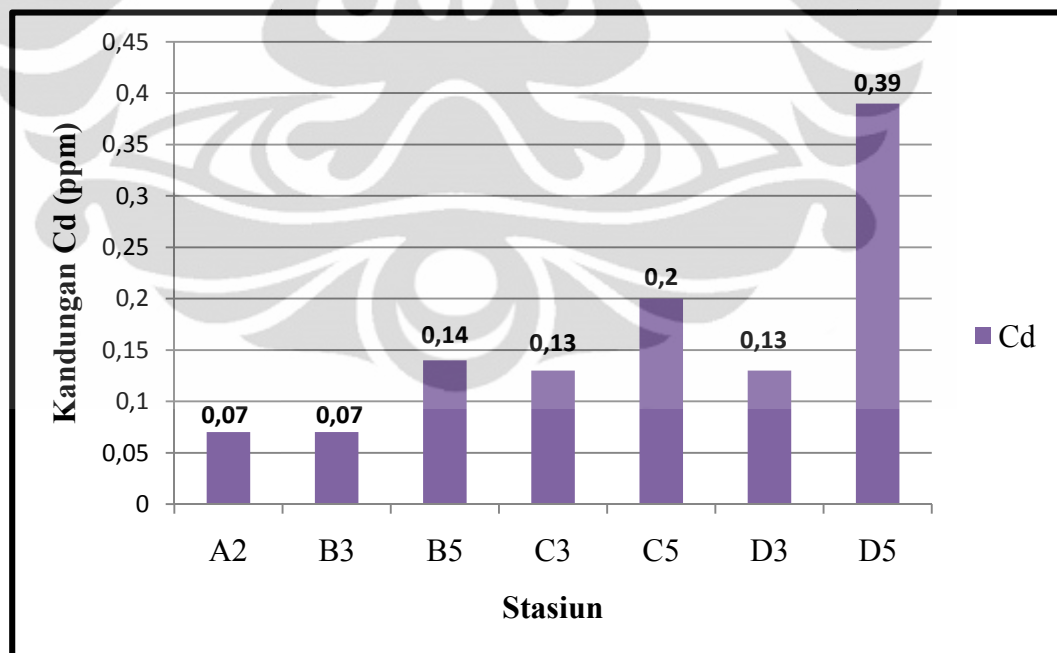
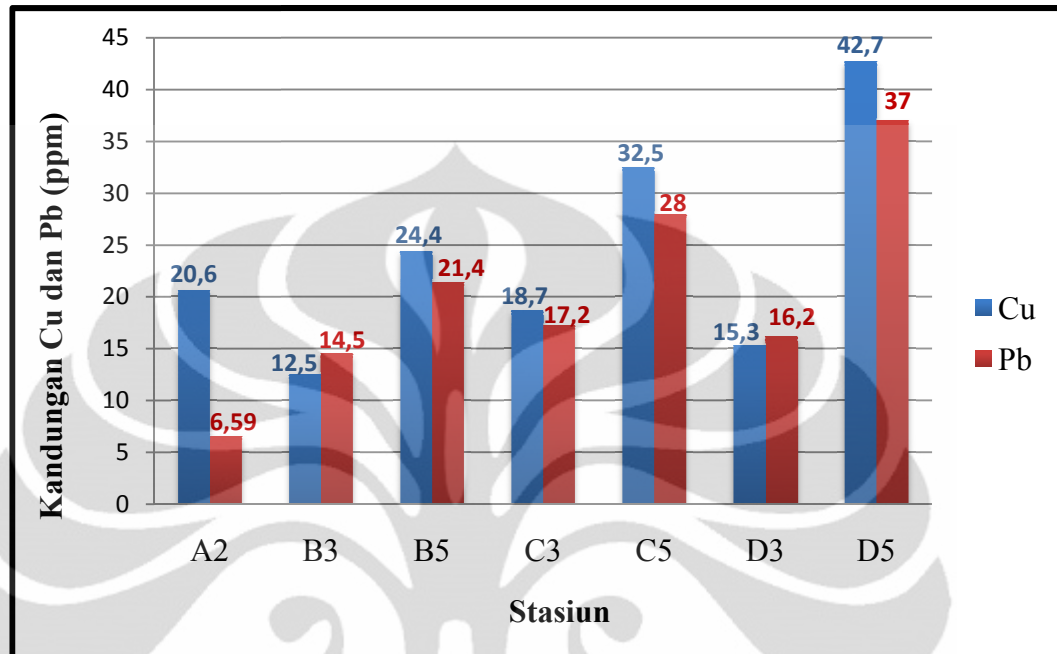
Sediment to Amphipod
File: SEDRACH Transform: ARC SINE(SQUARE ROOT(Y))

DUNNETTS TEST - TABLE 2 OF 2 Ho:Control<Treatment

GROUP	IDENTIFICATION	NUM OF REPS	Minimum Sig Diff (IN ORIG. UNITS)	% of CONTROL	DIFFERENCE FROM CONTROL
1	Control	4			
2	D5	4	0.146	16.9	0.613
3	D3	4	0.146	16.9	0.338
4	C5	4	0.146	16.9	0.338
5	C3	4	0.146	16.9	0.575
6	B5	4	0.146	16.9	0.550
7	B3	4	0.146	16.9	0.500

Press any key to continue or Esc to return to menu

Lampiran 3. Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) di sedimen Teluk Jakarta dan Muara Kramat Kebo, Tangerang
 [Sumber: Laboratorium Pencemaran, P2O LIPI Ancol]



Lampiran 4. Tabel perbandingan hasil penelitian uji toksisitas terhadap *Grandidierella* sp. yang dilakukan di Laboratorium Ekotoksikologi, P2O LIPI Ancol

Parameter	Batubara (2009)	Fatmawati (2010)	Afandi (2010)
Tipe uji	<i>Whole sediment (acute and static)</i>	<i>Whole effluent (acute and static)</i>	<i>Whole sediment (acute and static)</i>
Jenis toksikan	Sedimen Teluk Jakarta	Amoniak	Sedimen Teluk Jakarta
Jenis kontrol	Sedimen Kramat Kebo	Air Laut Steril	Sedimen Kramat Kebo
Durasi pengujian	10 hari	96-jam	10 hari
Waktu aklimasi	4 hari	10 hari	14 hari
<i>Reference toxicant</i>	Kadmium	Kadmium	Kadmium
Konsentrasi <i>reftox</i> (ppm)	0,32; 0,56; 1; 1,8; 3,2	0,56; 1; 1,8; 3,2; 5,6	0,32; 0,56; 1; 1,8; 3,2
Kontrol <i>reftox</i>	Air Laut Steril	Air Laut Steril	Air Laut Steril
Nilai LC ₅₀ kadmium	LC ₅₀ -30 jam 1,26 mg/L	Tidak diperoleh *	LC ₅₀ -96 jam 0,465 mg/L
Salinitas (uji sedimen dan amoniak)	30 ppt	30 ppt	30 ppt
Suhu (uji sedimen dan amoniak)	25,3--31°C	23,2--27°C	24,1--27,7°C
DO (uji sedimen dan amoniak)	4,2--6,13 mg/L	3,79--7,25 mg/L	5,43--6,8 mg/L
pH (uji sedimen dan amoniak)	7,76--8,41	7,20--7,93	7,59--8,21
Nilai <i>survival</i> (uji sedimen dan amoniak) pada kontrol	61, 25%	96,25%	86,25%
Nilai <i>survival</i> (uji sedimen dan amoniak) pada toksikan	23,75--50%	0--52,5%	25--52,5%
Nilai <i>survival reftox</i> (uji sedimen dan amoniak) pada kontrol	80%	96,25%	81,7%
Nilai <i>survival reftox</i> (uji sedimen dan amoniak) pada toksikan	1,7--68,3%	0--43,75%	0--63,33%

*(tidak tersedianya data minimal satu perlakuan yang menunjukkan persentase mortalitas kurang dari 50% dan lebih dari 50% kecuali kontrol)