

ANALISIS PENCEMARAN LOGAM BERAT : TIMBEL DAN
KADAR KONTAMINANTNYA DENGAN KARAKTER EKOLOGI
MAMBAK, TONTOLOS DAN BIOINDIKATOR DI 61 DESA
KOTA BONTOL KABUPATEN BONTOL PROVINSI SULAWESI SELATAN

DISKUSI
DITULIS
Oleh
SITI NURUL HUDA

6-12-07
Fak. K-I.P
Tebis
Hadiah
453
SKR K07
WID-a



JURUSAN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2007

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Pencemaran Logam Berat: Timbel dan Kadmium Kaitannya dengan Karakter Ekologi Makrozoobentos dan Bioindikator di Beberapa Muara Sungai Propinsi Sulawesi Selatan

Nama : Ade Widayari

NIM : L 111 02 058

Skripsi telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Utama



Ir. Shinta Werorilangi, M.Sc
NIP. 131 964 655

Pembimbing Anggota



Prof. Dr. Ir. Chair Rani, M.Si
NIP. 131 992 466

Mengetahui:



Dekan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan



Prof. Dr. W. H. Sudirman M. Pi
NIP. 131 860 849



Ketua Program Studi Ilmu Kelautan



Prof. Dr. Ir. Chair Rani, M.Si
NIP. 131 992 466

Tanggal Lulus: 20 November 2007

ABSTRAK

Ade Widyasari. L 111 02 058 (Analisis Pencemaran Logam Berat Kaitannya dengan Karakter Ekologi Makrozoobentos dan Bioindikator di Beberapa Muara Sungai), di bawah bimbingan Ibu Shinta Werorilangi sebagai Pembimbing Utama dan Bapak Chair Rani sebagai Pembimbing Anggota.

Perairan di sekitar muara sungai merupakan perairan yang dipengaruhi baik dari darat (melalui sungai) maupun dari laut (melalui arus pasang surut). Perairan muara sungai juga dipengaruhi oleh berbagai aktivitas yang dilakukan manusia. Dengan demikian perairan ini sangat rawan terhadap pencemaran, diantaranya adalah pencemaran logam berat akibat adanya buangan limbah industri. Oleh karena itu biota yang dapat hidup di perairan ini harus mampu beradaptasi terhadap fluktuasi yang besar dan tekanan limbah dari lingkungannya. Penelitian ini dirancang untuk mempelajari potensi makrozoobentos yang dapat menjadi bioindikator terhadap pencemaran logam berat terjadi di muara sungai.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengevaluasi kandungan dan status pencemaran logam berat Pb dan Cd pada sedimen di muara Sungai Pangkajene Pangkep, muara Sungai Tallo Makassar, dan muara Sungai Boyong Jeneponto (2) mengetahui karakter ekologi makrozoobentos menurut kandungan dan status pencemaran logam berat muara Sungai Pangkajene Pangkep, muara Sungai Tallo Makassar, dan muara Sungai Boyong Jeneponto (3) menentukan spesies makrozoobentos yang berpotensi menjadi bioindikator pada daerah yang terpolusi logam berat.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei sampai Juli 2007 dengan mengambil sampel sedimen, air, dan makrozoobentos dari perairan muara Sungai Pangkajene Pangkep, muara Sungai Tallo Makassar, dan muara Sungai Boyong Jeneponto. Komposisi dan kelimpahan makrozoobentos disajikan dalam bentuk tabel dan grafik dan dianalisis secara deskriptif. Indeks keanekaragaman, keseragaman dan dominansi dihitung menurut indeks *Shannon-Wiener* dan disajikan dalam bentuk grafik. Penentuan spesies makrozoobentos yang berpotensi menjadi bioindikator dilakukan dengan metode *Correspondent Analysis* (CA) untuk melihat distribusi spasial makrozoobentos. Penentuan spesies indikator ini dibantu dengan melihat data kelimpahan makrozoobentos di setiap lokasi penelitian.

Secara umum kandungan logam berat Pb berdasarkan stasiun di ketiga muara sungai tersebut termasuk dalam status belum tercemar. Berbeda dengan Pb, secara umum kandungan logam berat Cd berdasarkan stasiun di ketiga muara sungai tersebut termasuk dalam status tercemar. Hasil identifikasi terhadap jenis makrozoobentos yang ditemukan di lokasi penelitian, ditemukan sebanyak 22 jenis yang tersebar di empat stasiun di tiga muara sungai. Komposisi jenis makrozoobentos yang ditemukan di muara sungai Pangkajene, muara sungai Tallo dan muara sungai Boyong, hampir sebagian besar didominasi oleh kelas *Bivalvia* dengan persentase lebih besar dari 50%. Berdasar status pencemar, diperoleh nilai kelimpahan dan indeks ekologi makrozoobentos tidak dipengaruhi oleh adanya kandungan logam Cd. Spesies yang potensial digunakan dalam penelitian ini masih langkah awal dan perlu diklarifikasi dengan penelitian-penelitian sebelumnya atau dilakukan kajian yang

lebih mendalam dalam skala ruang dan waktu yang lebih ekstensif. Spesies makrozoobentos yang berpotensi sebagai indikator positif dalam pencemaran logam berat pada penelitian ini, antara lain: *Gafrarium tumidum*, *Tellina* sp., *Balanus* sp, *Nerita* sp, dan *Strombus* sp. Sedangkan yang berpotensi sebagai indikator negatif antara lain: *Donax* sp., dan *Polinices melanostomus*.

Kata kunci: muara sungai, logam berat, makrozoobentos, bioindikator.

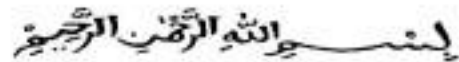
DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Ambon, 21 September 1984, anak ketiga dari empat bersaudara buah hati pasangan **S. A. Yusuf** dan **Nuraini S.**. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar pada tahun 1996, di SD Negeri 1 Rumah Tiga Ambon, dan lulus SLTP Negeri 2 Bau-Bau pada tahun 1999.

Penulis kemudian melanjutkan pendidikannya ke SMA Negeri 16 Makassar, dan lulus pada tahun 2002. Pada tahun yang sama penulis lulus SPMB dan diterima pada Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin Makassar.

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah *rabbi 'alamin*, segala puji hanya bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala penguasa langit dan bumi beserta isinya. Sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW., keluarga, sahabat serta orang-orang yang mengikuti beliau.

Skripsi yang berjudul "Analisis Pencemaran Logam Berat Kaitannya dengan Karakter Ekologi Makrozoobentos dan Bioindikator di Beberapa Muara Sungai " ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin. Dalam masa studi sampai tahap penyusunan skripsi ini banyak dibantu oleh berbagai pihak dalam bentuk bimbingan, nasehat doa, serta bantuan tenaga dan materil. Oleh karena itu izinkan penulis menggoreskan beberapa kalimat sebagai bentuk ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tersayang Papaku **S. A. Yusuf** dan Mamaku **Nuraini S.**, berkat limpahan kasih sayang dan perhatian mereka yang tidak akan pernah usai, segala dorongan, motivasi dan bantuannya baik materil maupun spirituil serta doanya yang tiada habisnya, semoga Allah memberi kesempatan untuk memuliakan dan merawat mereka. Amin.
2. Ir. **Shinta Werorilangi, M. Sc** dan Prof. Dr. Ir. **Chair Rani, M.Si.** selaku pembimbing, yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan dalam menyusun skripsi ini.
3. Bapak **Dr. Ir. M. Farid Samawi, M.Si** , Ibu Dra. **Inayah Yasir, M. Sc.** dan Ibu **Rastina, ST, M.T** yang telah memberikan masukan dan saran dalam penyusunan dan perbaikan skripsi ini.
4. Bapak dan Ibu Dosen serta seluruh Staf dan Karyawan yang telah banyak membantu penulis selama masa kuliah.
5. Kakak **Zul, Adikku Adi, dan pahlawanku Fachri** yang membuatku selalu rindu.

6. **Teman-temanku tersayang Nanni, Umi Niar, Evy,** untuk segala kepedulian, ketulusan, dan kebaikan yang begitu banyak.
7. **"Teman-teman 02** terima kasih telah menjadi teman berbagi suka, duka dan ilmu. **Anak Bonbil, Risma, Ana, Rahmi, Hardin, Achib, Ode, dll** Semoga silaturahmi tetap terjaga.
8. **Akhmad Fadly** untuk kebersamaannya hingga sekarang. Semoga diberikan jalan nantinya menuju kebahagiaan.

Segala hal yang terbaik telah penulis lakukan untuk kesempumaan skripsi ini, tetapi bagaimanapun tiada yang sempurna selain Sang Pencipta. Sebagai manusia yang lemah dan tak luput dari berbagai kekhilafan, tentulah skripsi ini memiliki banyak kekurangan dan masih sangat jauh dari kesempumaannya. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran ataupun kritik yang sifatnya membangun demi perbaikan skripsi ini.

Akhir kata, semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi penulis secara pribadi maupun bagi yang membacanya. Wassalam.

Makassar, November 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan dan Manfaat	2
C. Ruang Lingkup Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Pencemaran Logam Berat di Muara Sungai	4
B. Logam Berat Timbel (<i>Plumbum/Pb</i>) dan Kadmium (<i>Cadmium/Cd</i>)....	5
C. Makrozoobentos	7
D. Indeks Ekologis	8
E. Makrozoobentos Sebagai Indikator Pencemaran Logam Berat	9
F. Parameter Lingkungan yang Mempengaruhi Keberadaaan Makrozoobentos dan Logam Berat di Perairan Pesisir	11
III. METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat	16
B. Alat dan Bahan	16
C. Prosedur Penelitian	16
Tahap Persiapan	17
Penentuan Stasiun	17
Pengambilan Sampel	19
Pengukuran Paramater Lingkungan	20
D. Analisis Data	27
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian	32
B. Kandungan dan Status Pencemaran Logam Berat Pb dan Cd Pada Sedimen	33
C. Karakter Ekologi Makrozoobentos Berdasarkan Status Pencemaran Logam	34
D. Penentuan Spesies Makrozoobentos yang Berpotensi Menjadi Bioindikator Pencemaran Logam Berat	42
V. SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	48
B. Saran	48

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Skala Wenworth untuk mengklasifikasi partikel-partikel sedimen (Holme and McIntyre, 1984).....	14
2. Kisaran dan status kandungan logam Pb dan Cd di sedimen	28
3. Kandungan dan status logam berat Pb dan Cd pada sedimen di lokasi penelitian (Halianah, 2007)	33
4. Sebaran jenis makrozoobentos pada setiap stasiun	36
5. Ringkasan interpretasi <i>Correspondences Analysis</i> (CA)	43
6. Kelimpahan makrozoobentos berdasar muara (4 stasiun) di lokasi Penelitian	44

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Lokasi penelitian di muara Sungai Pangkaje'ne Pangkep	18
2. Lokasi penelitian di muara Sungai Tallo Makassar	18
3. Lokasi penelitian di muara Sungai Boyong Jeneponto	19
4. Grafik suksesi ekosistem (Frontier, 1985)	30
5. Komposisi jenis makrozoobentos yang ditemukan di lokasi penelitian berdasarkan kelas (a. muara Sungai Pangkaje'ne: b. muara Sungai Tallo: c. muara Sungai Boyong)	35
6. Kelimpahan makrozoobentos berdasarkan stasiun di lokasi penelitian (* = tidak tercemar Cd berdasarkan SBM).....	38
7. Nilai indeks keanekaragaman (H'), keseragaman (E), dan dominansi (C) berdasarkan stasiun di lokasi penelitian (* = tidak tercemar Cd berdasarkan SBM).....	40
8. Grafik suksesi ekosistem (Frontier) di lokasi penelitian.....	41
9. Hasil <i>Correspondence Analysis</i> (CA). Distribusi spasial jenis-jenis makrozoobentos menurut stasiun pada sumbu 1 dan sumbu 2 (a) dan sumbu 1 dan sumbu 3 (b). Simbol makrozoobentos dapat dilihat pada Tabel 6).....	42

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Hasil analisis parameter pendukung pada kolom air dan sedimen berdasar stasiun di lokasi penelitian.....	53
2. Nilai parameter pendukung harian di lokasi penelitian	54
3. Ukuran butiran sedimen di lokasi penelitian.....	57
4. Jumlah dan jenis makrozoobentos berdasarkan stasiun di beberapa muara sungai	59
5. Perhitungan indeks keanekaragaman, keseragaman dan dominansi di muara Sungai Pangkaje'ne	60
6. Perhitungan indeks keanekaragaman, keseragaman dan dominansi di muara Sungai Tallo	61
7. Perhitungan indeks keanekaragaman, keseragaman dan dominansi di muara Sungai Boyong.....	62
8. Klasifikasi hewan makrozoobentos yang ditemukan selama penelitian.	63
9. Gambar-gambar makrozoobentos yang ditemukan di lokasi penelitian	64
10. Kategori jenis makrozoobentos untuk metode CA.....	65

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Peningkatan pencemaran di perairan memerlukan pengkajian kualitas perairan baik parameter fisika-kimia maupun biologi. Pengkajian parameter biologi perairan berperan penting, melalui fungsi akumulatifnya yang dapat memperlihatkan adanya perubahan lingkungan perairan. Salah satu komponen biologi yang dijadikan dasar kajian adalah makrozoobentos. Organisme ini mempunyai peranan penting sebagai salah satu mata rantai penghubung dalam aliran energi dan siklus materi dari alga planktonik sampai konsumen tingkat tinggi (Bengen *et al.*, 1995). Selain itu makrozoobentos sangat mudah terpengaruh oleh perubahan suatu lingkungan perairan. Oleh karenanya makrozoobentos dapat digunakan sebagai indikator kualitas perairan.

Hewan bentos relatif hidup menetap dan selalu kontak dengan limbah yang masuk sehingga lebih mencerminkan adanya perubahan faktor-faktor lingkungan. Kelompok hewan bentos ini juga terus-menerus terdedah oleh air yang kualitasnya berubah-ubah (Oey *et al.*, 1978) dan sering mengalami tekanan yang disebabkan oleh sedimen yang terkontaminasi (Rakocinski *et al.*, 2000).

Perairan di sekitar muara sungai merupakan perairan yang dipengaruhi baik dari darat (melalui sungai) maupun dari laut (melalui arus pasang surut). Perairan muara sungai juga dipengaruhi oleh berbagai aktivitas yang dilakukan manusia. Dengan demikian perairan ini sangat rawan terhadap pencemaran, di antaranya adalah pencemaran logam berat akibat adanya buangan limbah industri, domestik dan pertanian. Limbah tersebut dapat mengandung logam berat seperti timbel (Pb) dan kadmium (Cd) dalam kadar yang tinggi sehingga menimbulkan efek toksik yang berpengaruh pada kehidupan organisme akuatik.

Sebagai contoh, perairan muara Sungai Tallo Makassar merupakan muara dengan beban limbah yang cukup besar dari kegiatan domestik dan industri. Limbah sungai Tallo yang masuk umumnya membawa partikel tanah hasil erosi (TSS), bahan organik sukar terurai (COD), limbah pertanian (NO_3) dan logam Cd dari industri. Banyaknya limbah menambah beban pencemaran yang masuk ke dalam perairan pantai Kota Makassar (Samawi, *et al.*, 2006) Oleh karena itu biota yang dapat hidup di perairan ini harus mampu beradaptasi terhadap fluktuasi yang besar dan tekanan limbah dari lingkungannya.

Beberapa penelitian telah mengungkapkan beberapa spesies makrozoobentos yang dapat dijadikan indikator kualitas perairan, terutama yang disebabkan oleh pencemaran bahan organik. Namun untuk kajian makrozoobentos sebagai indikator pencemaran logam berat masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk mempelajari potensi makrozoobentos yang dapat menjadi bioindikator terhadap pencemaran logam berat terjadi di muara sungai.

B. Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengevaluasi status pencemaran logam berat Pb dan Cd pada sedimen di muara Sungai Pangkajene Pangkep, muara Sungai Tallo Makassar, dan muara Sungai Boyong Jeneponto.
2. Mengetahui karakter ekologi makrozoobentos menurut kandungan dan status pencemaran logam berat muara Sungai Pangkajene Pangkep, muara Sungai Tallo Makassar, dan muara Sungai Boyong Jeneponto.
3. Menentukan spesies makrozoobentos yang berpotensi menjadi bioindikator pada daerah yang terpolusi logam berat.

Sedangkan manfaat penelitian ini, yaitu sebagai bahan informasi dalam mempelajari strategi organisme untuk bertahan hidup pada lingkungan yang terganggu oleh polutan logam berat.

C. Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi pada konsentrasi logam berat Pb dan Cd yang terdapat pada sedimen serta pengambilan makrozoobentos yang berasal dari muara Sungai Pangkajene Pangkep, muara Sungai Tallo Makassar, dan muara Sungai Boyong Jeneponto. Adapun parameter pendukung yang akan diukur antara lain;

- Pada sedimen: kandungan bahan organik total (BOT), kandungan sulfid, pH, potensial reduksi oksidasi (Eh), kebutuhan oksigen kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*), jenis dan ukuran sedimen.
- Pada air: oksigen terlarut (*Disolved Oxygen/DO*), suhu, salinitas, pH air, padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid/TSS*), kebutuhan oksigen kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*), kedalaman perairan, arah dan kecepatan arus.
- Indeks ekologi: indeks keanekaragaman (H'), indeks keseragaman (E), indeks dominansi (C), komposisi jenis, dan kelimpahan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pencemaran Logam Berat di Muara Sungai

Pada daerah-daerah perindustrian, sungai dan laut di sekitarnya umumnya berangsur-angsur menerima tekanan terus-menerus. Muara sungai umumnya merupakan alur perjalanan bahan cemaran yang dibawa melalui sungai dari aktivitas di darat ke laut. Pada air laut di lautan lepas kontaminasi logam berat biasanya terjadi secara langsung dari atmosfer atau karena tumpahan minyak dari kapal-kapal tanker yang melaluinya, sedangkan di daerah sekitar pantai kontaminasi logam kebanyakan berasal dari mulut sungai yang terkontaminasi oleh limbah buangan industri atau pertambangan (Darmono, 1995).

Di balik kesuburan perairan di daerah estuaria, karena sedimen juga mampu mengabsorpsi logam-logam berat, maka tidak menutup kemungkinan di daerah estuaria juga menjadi "*pollutan trapped*" atau perangkap bahan pencemar. Proses biodeposisi oleh "*filter feeders*" dapat memindahkan dan mengkonsentrasikan segala sesuatu yang terdapat dalam suspensi, termasuk bahan-bahan pencemar. Peristiwa ini kemudian dikenal dengan istilah biomagnifikasi atau meningkatnya konsentrasi bahan pencemar pada tiap tingkatan tropik pada lingkungan akuatik (Supriharyono, 2000).

Kadar logam berat dalam sedimen di perairan pesisir yang cukup tinggi ditemukan di dekat pantai dan semakin menurun ke arah laut. Logam berat yang semula terlarut dalam air sungai diadsorpsi oleh partikel halus (*suspended solid*) dan oleh aliran sungai dibawa ke muara. Di muara, arus air sungai bertemu dengan arus pasang, sehingga partikel halus tersebut diendapkan di muara sungai. Hal inilah yang menyebabkan kadar logam berat dalam sedimen muara lebih tinggi dibandingkan di tengah laut (Rochyatun *et al.*, 2005).

Logam berat yang terlarut dalam air akan berpindah ke dalam sedimen jika berikatan dengan materi organik bebas atau materi organik yang melapisi permukaan sedimen dan penyerapan langsung oleh permukaan partikel sedimen. Materi organik dalam sedimen dan kapasitas penyerapan logam sangat berhubungan dengan ukuran partikel dan luas permukaan penyerapan, sehingga konsentrasi logam dalam sedimen biasanya dipengaruhi ukuran partikel dalam sedimen.

Baku mutu logam berat di dalam lumpur atau sedimen di Indonesia belum ditetapkan, padahal senyawa-senyawa logam berat lebih banyak terakumulasi dalam sedimen (karena proses pengendapan) di mana terdapat kehidupan biota dasar. Biota dasar yang resisten terhadap perubahan kualitas lingkungan (tercemar oleh logam berat) umumnya dijadikan sebagai indikator pencemaran.

Penelitian Samawi *et al.*, (2006), mengatakan bahwa beban limbah ke perairan pantai Kota Makassar yang bersumber dari Sungai Tallo, umumnya membawa partikel tanah hasil erosi (TSS), bahan organik sukar terurai (COD), limbah pertanian (NO_3) dan logam Cd dari industri dan telah melebihi baku mutu air.

B. Logam Berat Timbel (*Plumbum/Pb*) dan Kadmium (*Cadmium/Cd*)

Menurut Palar (2004), logam timbel mempunyai sifat-sifat khusus seperti berikut:

- 1) Merupakan logam yang lunak, sehingga dapat dipotong dengan menggunakan pisau atau dengan tangan dan dapat dibentuk dengan mudah
- 2) Merupakan logam yang tahan terhadap peristiwa korosi atau karat, sehingga logam timbel sering digunakan sebagai bahan *coating*

- 3) Mempunyai titik lebur rendah, yaitu $327,5^{\circ}\text{C}$
- 4) Mempunyai kerapatan yang lebih besar dibandingkan logam-logam biasa, kecuali emas dan merkuri
- 5) Merupakan penghantar listrik yang tidak baik

Secara alamiah, Pb dapat masuk ke badan perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Disamping itu, proses korosifikasi dari batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin, juga merupakan salah satu jalur masuk sumber Pb yang akan masuk ke dalam badan perairan. Di dalam sistem perairan, timbel terdapat dalam bentuk kompleks, dengan gugus organik membentuk larutan koloidal atau dalam bentuk Pb^{2+} dan PbCl .

Timbel yang masuk ke dalam badan perairan sebagai dampak dari aktivitas manusia ada bermacam bentuk. Diantaranya adalah air buangan (limbah) dari industri yang berkaitan dengan Pb, air buangan dari pertambangan bijih timah hitam dan buangan sisa industri baterai. Buangan-buangan tersebut akan masuk ke anak-anak sungai untuk kemudian akan dibawa terus menuju lautan sehingga menjadikan sungai dan alurnya tercemar.

Kandungan logam Pb yang sesuai dengan baku mutu air laut berdasarkan Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (SK.MENKLH) No. 51 Tahun 2004 untuk kepentingan pariwisata yaitu $0,008 \text{ mg/l}$.

Menurut Fabries dan Werner (1994) konsentrasi maksimum Pb yang dapat diterima pada sedimen yaitu 33 mg/kg .

Logam kadmium sangat banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari manusia. Logam ini telah digunakan semenjak tahun 1950 dan total produksi dunia adalah sekitar $15.000\text{-}18.000$ per tahun. Prinsip dasar atau prinsip utama dalam penggunaan kadmium adalah sebagai bahan stabilisasi, bahan pewarna dalam industri plastik dan pada elektroplating (Palar, 2004). Logam berat ini

bergabung bersama timbel dan merkuri sebagai *the big three heavy metal* yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia.

Logam kadmium paling banyak terdapat dalam bentuk Cd^{2+} atau bervalensi dua, yang berikatan dengan gugus anorganik (halida, oksida, sulfida dan sebagainya) dan gugus organik (dialkil dan difenil). Kadmium dengan gugus karbonat, sulfida dan hidroksida mempunyai kelarutan yang sangat rendah, sehingga kadmium di lingkungan perairan banyak terdapat dalam sedimen. Kadmium dalam air biasanya terdapat dalam bentuk ion Cd^{2+} atau dalam ikatan dengan molekul lainnya (Supriharyono, 2007).

Kandungan logam Cd yang sesuai dengan baku mutu air laut berdasarkan Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (SK.MENKLH) No.51 Tahun 2004 untuk kepentingan pariwisata yaitu 0,001 mg/l.

Konsentrasi maksimum Cd yang dapat diterima pada sedimen yaitu 1 mg/kg (Fabries dan Werner, 1994).

C. Makrozoobentos

Zoobentos merupakan hewan yang sebagian atau seluruh siklus hidupnya berada di dasar perairan, baik yang sesil, merayap maupun menggali lubang (Odum, 1993). Bengen *et al.*, (1995) menambahkan organisme bentos mempunyai peranan yang penting dalam komunitas perairan. Peranan tersebut antara lain dibutuhkan dalam proses mineralisasi dan pendaurulangan organik.

Berdasarkan tempat hidupnya, zoobentos dibagi atas dua kelompok, yaitu: (a) epifauna yaitu organisme bentik yang hidup dan berasosiasi dengan permukaan substrat, (b) infauna yaitu organisme bentik yang hidup di dalam sedimen (substrat) dengan cara menggali lubang (Nybakken, 1992).

Supriharyono (2007) menambahkan bahwa pemindahan logam berat ke dalam organisme dapat dipengaruhi pula oleh kebiasaan organisme dalam cara memakan makanannya (*feeding habit*), yaitu sebagai berikut:

- a) *Phytophagus* (misal: gastropoda, crustacea)
- b) *Filter feeding* (misal: zooplankton, teritip, bivalvia)
- c) *Sediment feeding* (misal: polychaeta, oligochaeta)
- d) *Detritus feeding* (misal: gastropoda, isopoda, dan amphipoda larva)
- e) *Carnivorous* (misal: zooplankton, polychaeta, gastropoda, crustacea, larva serangga air tawar, ikan)

D. Indeks Ekologis

a. Indeks Keanekaragaman

Menurut sifat komunitas, keanekaragaman ditentukan dengan banyaknya jenis serta pemerataan kelimpahan individu tiap jenis yang didapatkan (Odum, 1993).

Indeks keanekaragaman (H') yang rendah umumnya mengindikasikan bahwa perairan tersebut memiliki kualitas air yang buruk, namun pernyataan tersebut tidak selamanya berlaku, sebab pada keadaan tertentu, pada indeks keanekaragaman yang rendah dapat pula mempunyai kualitas air yang cukup baik. Hal ini mungkin terjadi karena dasar perairan mempunyai struktur substrat yang keras dan berbatu (Hawkes dalam Nybakken, 1992).

b. Indeks Keseragaman

Keseragaman akan menunjukkan komposisi individu dari spesies yang terdapat dalam suatu komunitas. Nilai indeks keseragaman memiliki nilai berbanding terbalik dengan indeks dominansi spesies dalam suatu komunitas bila adanya keanekaragaman dalam komunitas tersebut (Dahuri, 2003).

Menurut Odum (1993), untuk menggambarkan jumlah spesies atau genus yang mendominasi atau bervariasi maka digunakan indeks keseragaman (E). Nilai indeks keseragaman berkisar antara 0-1. Semakin besar nilai E maka populasi menunjang keseragaman artinya jumlah individu setiap genus atau spesies sama atau hampir sama.

c. Indeks Dominansi

Dominansi individu dalam suatu komunitas dapat diketahui dengan menghitung indeks dominansi (D). Indeks dominansi digunakan untuk memperoleh informasi mengenai jenis organisme yang mendominasi suatu komunitas pada tiap habitat, sebab dalam komunitas tidak semua jenis organisme mempunyai peran yang sama pentingnya dalam komunitas tersebut dan hanya ada sedikit jenis saja yang merupakan pengendali utama (Odum, 1993).

E. Makrozoobentos Sebagai Indikator Pencemaran Logam Berat

Masuknya bahan polutan baik organik maupun anorganik ke perairan sungai akan menyebabkan perubahan kualitas perairan di muara sungai, karena muara sungai merupakan suatu ekosistem, maka setiap perubahan komponen abiotik akan direspon oleh komponen biotik. Komponen biotik (organisme) akan berkembang sebagai respon dari setiap perubahan faktor abiotik, organisme yang mampu bertahan hidup dalam kondisi tersebut dikenal dengan istilah organisme indikator (bioindikator). Bioindikator dapat digunakan dalam monitoring perubahan kualitas lingkungan (Tugiyono, 2006). Bioindikator dapat dibagi dalam 3 kelompok, yaitu:

1. Indikator secara ekologi yang membuktikan adanya pengaruh ekosistem yang tergambarkan dalam struktur komunitas atau yang sederhana ada atau tidak adanya spesies

2. Monitoring organisme yang mengukur kualitas dan kuantitas dari efek negatif bahan kimia dalam lingkungan dan menduga pengaruhnya. Organisme indikator baik berada dalam ekosistem (monitoring secara pasif) maupun organisme yang diujikan dalam pengujian ekotoksikologi yang baku (monitoring secara aktif).
3. Pengujian organisme dengan menggunakan prosedur laboratorium yang baku, seperti penelitian ekotoksikologi secara laboratorium.

Sebagai organisme dasar perairan, bentos mempunyai habitat yang relatif tetap. Karena itu, perubahan-perubahan kualitas air dan substrat mempengaruhi komposisi maupun kelimpahannya. Komposisi maupun kelimpahan makrozoobentos bergantung pada toleransi atau sensitivitasnya terhadap perubahan lingkungan. Setiap komunitas memberikan respon terhadap perubahan kualitas habitat dengan cara penyesuaian diri pada struktur komunitas. Dalam lingkungan yang relatif stabil, komposisi dan kelimpahan makrozoobentos relatif tetap (APHA, 1992).

Phillips (1980) menyatakan bahwa moluska (gastropoda, bivalvia) merupakan indikator yang paling tepat dan efisien untuk pencemaran logam berat, karena dapat mengakumulasi pencemar tanpa ia sendiri mati terbunuh, terdapat dalam jumlah banyak, terikat pada suatu wilayah yang luas sehingga dapat mewakili daerah yang diteliti, hidup dalam waktu yang lama sehingga memungkinkan sampling yang lebih dari satu kali jika dibutuhkan, mempunyai ukuran yang memadai untuk keperluan analisis, mudah diambil serta tidak mudah rusak, mempunyai toleransi terhadap air payau yang memungkinkan penelitian di daerah estuaria, dapat menunjukkan korelasi antara kandungan bahan pencemar dalam air dan dalam tubuh organisme.

Penelitian Banne (2000) di perairan pantai Losari dan sekitarnya, menemukan *Capitella capitata* dari kelas Polychaeta yang merupakan salah

satu organisme indikator pencemaran. Cardell *et. al.*, (1999) melaporkan bahwa sedimen yang mengalami eutrofikasi yang khas, yaitu yang dicirikan oleh hadirnya *Capitella capitata* dengan kelimpahan dan biomas yang tinggi, keanekaragaman spesies yang rendah dan struktur makanan didominasi oleh organisme pemakan deposit permukaan maupun di bawah permukaan.

Hal yang menarik juga ditemukan pada penelitian Herliana (2006), yakni ditemukannya jenis foraminifera yaitu *Elphidium* sp. (kelas Autotractea). Jenis ini merupakan spesies yang umum didapat pada daerah tercemar logam berat seperti yang berasal dari daerah pengeboran minyak lepas pantai. Terdapatnya deformasi cangkang foraminifera akibat adanya pencemaran logam berat yang berasal dari pengeboran minyak pada hasil analisis sedimen permukaan dan sedimen hasil core memperlihatkan bahwa *Elphidium excavatum* lebih tahan terhadap pencemar logam berat dibandingkan dengan *Ammonia beccari*. *Ammonia beccari* cenderung lebih toleran terhadap limbah industri (Praseno, *et al.*, 2000).

Berdasar penelitian di perairan muara Sungai Dadap, diketahui foraminifera sebagai organisme bentik pada suatu perairan memiliki keterikatan dengan faktor lingkungan sekitarnya, termasuk logam berat. Foraminifera bentik merupakan organisme yang cukup responsif terhadap lingkungan. Dari karakteristik yang diperlihatkan oleh foraminifera bentik hidup serta ditemukannya bentuk abnormal pada jenis yang dominan, maka peluang foraminifera bentik dari beberapa jenis indikatif untuk digunakan sebagai bioindikator cukup besar (Rositasari, 1996).

F. Parameter Lingkungan yang Mempengaruhi Keberadaan Makrozoobentos dan Logam Berat di Perairan Pesisir

1. Suhu

Sukarno (1998) mengatakan bahwa suhu yang ditolerir oleh makrozoobentos berkisar antara 25 – 36° C. Nilai kisaran ini mampu mendukung

hidup layak dalam ekosistem dimana mereka hidup. Sedangkan untuk logam berat, semakin tinggi suhu perairan, semakin meningkat kelarutan dan toksisitas logam berat.

2. Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*)

Suatu perairan harus memiliki minimal sekitar 2 mg/l oksigen terlarut untuk menyokong kehidupan organisme tingkat tinggi, bahkan untuk ikan dan spesies tertentu membutuhkan lebih dari 4 mg/l (Levinton, 1982).

Berdasarkan kandungan oksigen terlarut (DO), Lee *et al.*, (1978) mengelompokkan kualitas perairan atas empat yaitu; tidak tercemar (> 6,5 mg/l), tercemar ringan (4,5 – 6,5 mg/l), tercemar sedang (2,0 – 4,4 mg/l) dan tercemar berat (< 2,0 mg/l).

Pada daerah dengan polutan bahan organik, terdapat dua genera yang sensitif terhadap penurunan oksigen. Hanya sebagian kecil dari kelas bivalvia dan polychaeta. Diantaranya bivalvia berukuran kecil, *Theora lubrica* dan beberapa polychaeta seperti *Paraprionospio* sp., *Prionospio cirrifera* dan *Sigambra tentaculata* (Kikuchi, 1982).

3. Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH menunjukkan derajat keasaman atau kebasaan suatu perairan. Effendi (2000) menyatakan sebagian besar biota aquatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai pH sekitar 7,0 – 8,5.

4. Salinitas

Bengen (2004) menyatakan bahwa estuaria memiliki gradien salinitas yang bervariasi tergantung pada masukan air tawar dari sungai dan air laut melalui pasang surut. Daerah estuaria memiliki flutuasi salinitas yang maksimum.

Organisme yang cukup adaptif dan mampu bertahan dengan baik terhadap perubahan salinitas adalah yang berasal dari kelas Polychaeta, Gastropoda, Bivalvia, dan Crustacea (Nybakken, 1992).

5. Padatan Tersuspensi Total (*Total Suspended Solid*/TSS)

Nilai TSS ini erat kaitannya dengan kekeruhan perairan. Nilai TSS yang sangat tinggi berefek negatif bagi organisme makrozoobentos. Effendi (2000) menyatakan peningkatan TSS dapat meningkatkan kekeruhan air, menghambat penetrasi cahaya dan berpengaruh terhadap proses fotosintesis.

6. Bahan Organik

Kandungan bahan organik pada pantai berlumpur dimanfaatkan oleh organisme pemakan deposit (*deposit feeder*). Organisme pemakan deposit antara lain dari jenis bivalvia, gastropoda, dan beberapa jenis polychaeta. Mereka memakan partikel lumpur dan menyerap bahan organiknya. Pada lingkungan yang tenang, memungkinkan pengendapan sedimen lumpur yang diikuti oleh akumulasi bahan-bahan organik dasar perairan, sedangkan pada sedimen kasar mempunyai kandungan bahan organik lebih rendah karena partikel yang lebih halus tidak dapat mengendap (Nybakken, 1992).

7. Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand*/COD)

Menurut Hutagalung dan Rozak (1997), dalam perairan laut yang masih alami, kadar COD umumnya sekitar 1,5 – 2 kali lebih tinggi dibandingkan kadar BOD. Bahan organik mudah urai yang masuk ke lingkungan laut umumnya berasal dari limbah domestik atau pemukiman, sedangkan yang sukar urai umumnya berasal dari limbah industri, pertambangan atau pertanian, sehingga parameter COD merupakan indikator untuk pencemaran limbah industri, pertambangan atau pertanian.

8. Eh – Sedimen

Redoks potensial dapat dijadikan sebagai ukuran kandungan oksigen dalam sedimen (Bengen *et al.*, 1995). Oksidasi atau redoks potensial diukur dengan ukuran millivolt yang disebut skala Eh yang kira-kira sama dengan pH, hanya saja Eh mengukur aktivitas elektron sedangkan pH mengukur aktivitas proton. Pada wilayah redoks yang terputus, Eh akan menurun dengan cepat dan menjadi negatif pada wilayah yang sepenuhnya kosong (Odum, 1993).

9. Substrat/Sedimen

Substrat lumpur, merupakan ciri dari estuaria dan rawa asin. Daerah pesisir dengan pantai berlumpur hanya terbatas pada daerah intertidal yang benar-benar terlindung dari aktivitas gelombang laut terbuka. Pantai berlumpur cenderung untuk mengakumulasi bahan organik, sehingga cukup banyak makanan yang potensial bagi bentos pantai ini. Namun, berlimpahnya partikel organik yang halus yang mengendap di dataran lumpur juga mempunyai kemampuan untuk menyumbat permukaan alat pernafasan organisme bentos (Nybakken, 1992).

Untuk melihat klasifikasi sedimen berdasarkan ukuran partikel dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Skala Wenworth untuk mengklasifikasi partikel-partikel sedimen (Holme and McIntyre, 1984)

Keterangan	Ukuran (mm)
Batu besar (<i>boulder</i>)	>256
Bongkahan batu (<i>cobble</i>)	256-64
Kerakal (<i>pebble</i>)	64-4
Kerikil (<i>granule</i>)	4-2
Pasir sangat kasar (<i>very coarse sand</i>)	2-1
Pasir kasar (<i>coarse sand</i>)	1-0,5
Pasir agak kasar (<i>medium sand</i>)	0,5-0,25
Pasir halus (<i>fine sand</i>)	0,25-0,125
Pasir sangat halus (<i>very fine sand</i>)	0,125-0,0625
Lanau (<i>silt</i>)	0,0625-0,0039
Lempung (<i>clay</i>)	< 0,0039

10. Sulfit (SO₃)

Weis (2006), menjelaskan bahwa terkadang sedimen dari suatu daerah memiliki kandungan logam yang sangat tinggi akan tetapi logam tersebut terikat sangat kuat oleh partikel sedimen atau unsur sulfida sehingga logam tersebut tidak *bioavailable* untuk organisme di daerah tersebut. Fenomena ini terjadi pada penelitian Roem (2006) yang melihat distribusi Pb pada beberapa organ ikan kakap putih. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa meskipun kandungan logam cukup tinggi pada sedimen namun pada beberapa organ biota tidak terdeteksi atau kandungannya sangat kecil.

11. Kedalaman

Kedalaman air mempengaruhi kelimpahan dan distribusi zoobentos. Sehingga terjadi stratifikasi komunitas menurut kedalaman. Pada perairan yang lebih dalam makrozoobentos mendapat tekanan fisiologis dan hidrostatis yang lebih besar. Karena itu makrozoobentos yang hidup di perairan yang dalam ini tidak banyak. Kedalaman dapat mempengaruhi terjadinya perubahan suhu dan kelimpahan serta penyebaran dari organisme yang berbeda (Nybakken, 1992).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei sampai Juli 2007 dengan mengambil sampel sedimen, air, dan makrozoobentos dari perairan muara Sungai Pangkajene Pangkep, muara Sungai Tallo Makassar, dan muara Sungai Boyong Jeneponto. Untuk analisis kandungan logam berat Pb dan Cd pada sedimen dilakukan di Laboratorium Bapedalda Propinsi Sul-Sel. Identifikasi sampel makrozoobentos dan analisis sedimen dilakukan di Laboratorium Ekologi Laut, Laboratorium Geomorfologi Pantai dan Laboratorium Kimia Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin.

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan selama penelitian adalah (a). penentuan stasiun: perahu motor sebagai transportasi, mengambil data dan sampel; GPS (*Global Positioning System*) sebagai penentu posisi titik sampling (b). pengambilan sampel makrozoobentos: *Van Veen Grab* 20 x 20 cm², ayakan bentos 0.5, kantong sampel, alkohol 70%, kertas label secukupnya digunakan untuk sampel bentos; lup digunakan untuk identifikasi bentos (c). pengukuran parameter lingkungan: pada sedimen: *Absorption Spectrophotometer Atomic* (AAS) AA-6200 untuk mendeteksi kandungan logam timbel (Pb) dan kadmium (Cd); tanur; cawan porselen, oven, timbangan untuk kandungan BOT; Eh-pH meter, *sieve net* untuk mengetahui jenis dan ukuran sedimen; pada air: termometer, *handrefraktometer*, pH meter untuk mengukur parameter kualitas air secara in situ; batu duga digunakan untuk mengetahui kedalaman titik sampling; layang-layang arus dan kompas untuk menentukan arah dan kecepatan arus; sedangkan analisis COD, DO, dan TSS dari sampel air yang diambil

menggunakan *Kemmerer Water Sampler* pada kolom air untuk selanjutnya dianalisis di laboratorium.

C. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Tahap Awal/Persiapan

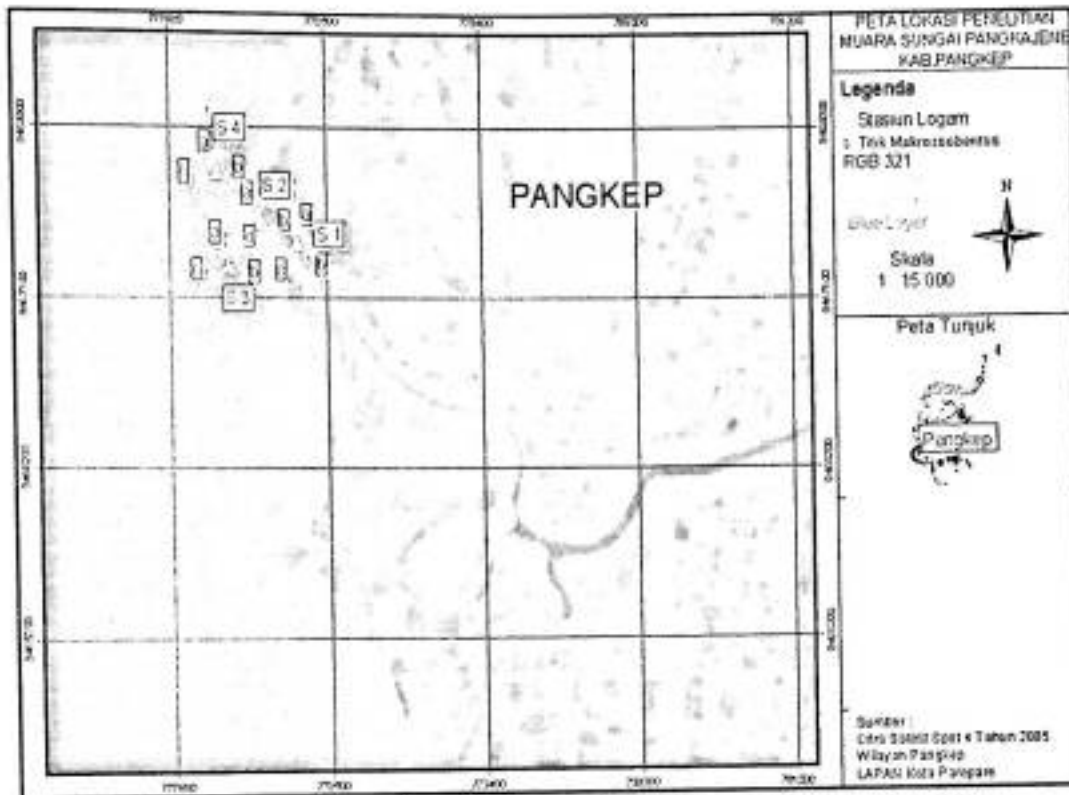
Persiapan penelitian meliputi; studi literatur, konsultasi, observasi awal guna mengidentifikasi permasalahan dan perencanaan penelitian. Selanjutnya penyusunan kerangka metodologi penelitian.

2. Penentuan Stasiun

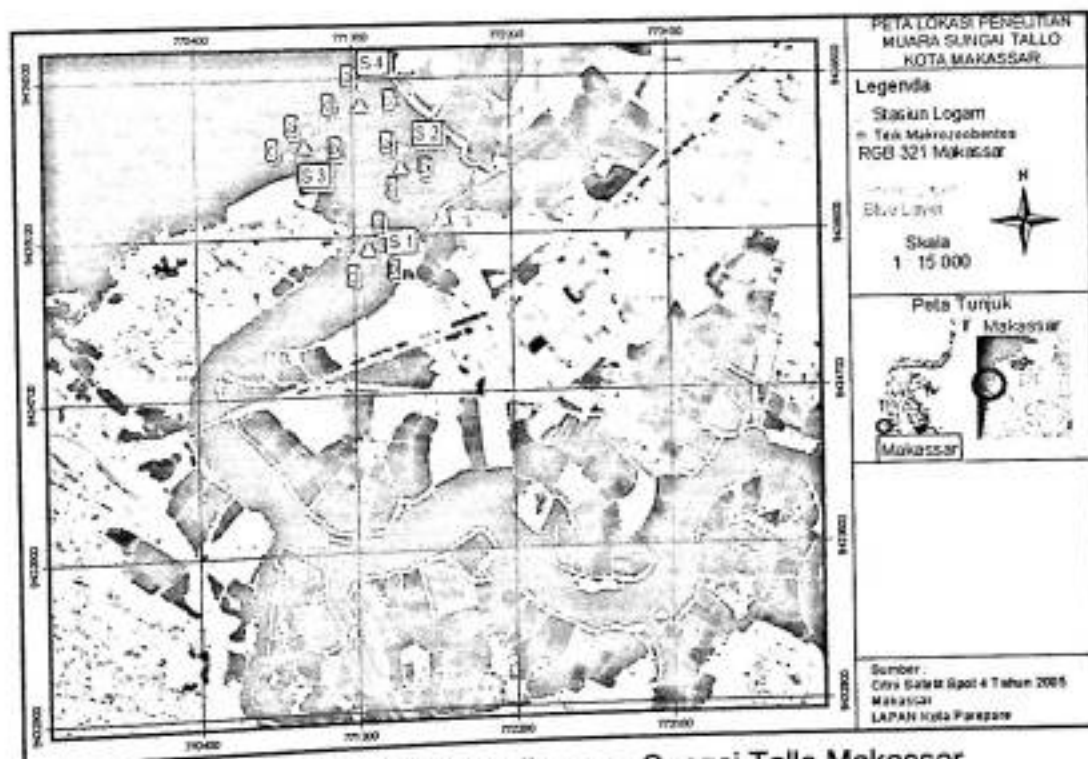
Berdasarkan observasi awal, penentuan stasiun dilakukan berdasarkan keterwakilan lokasi yang dianggap representatif untuk melihat hubungan daerah yang tercemar logam berat dan makrozoobentos. Lokasi penelitian yang dipilih adalah muara sungai. Berdasar data Bapedalda (2003), muara Sungai Tallo memiliki kandungan Pb sebesar 0,016 mg/l pada kolom air. Nilai tersebut telah melampaui standar baku mutu air laut berdasar Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 sebesar 0,008 mg/l.

Pada setiap lokasi muara sungai, terdiri dari empat stasiun pengambilan sampel sedimen untuk logam berat, yang setiap stasiun terdiri atas tiga titik untuk pengambilan sampel makrozoobentos. Adapun deskripsi dari masing-masing lokasi adalah sebagai berikut:

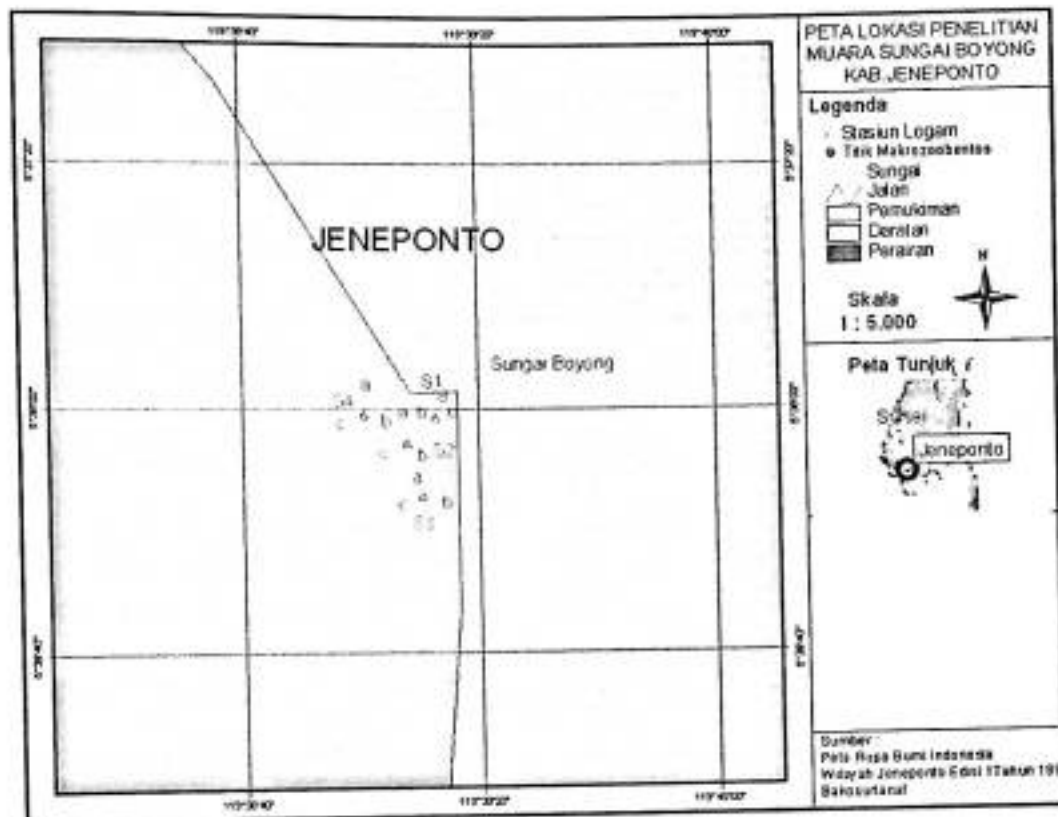
1. Muara Sungai Pangkajene, Pangkep: terdapat aktivitas nelayan, transportasi laut, industri semen TONASA, dan industri keramik (Gambar 1).
2. Muara Sungai Tallo, Makassar: terdapat Kawasan Industri Makassar (KIMA), aktifitas pelabuhan dan galangan kapal (Gambar 2).
3. Muara Sungai Boyong, Jeneponto : kurang aktivitas industri, cukup jauh dari jalan raya/poros, terdapat areal persawahan dan pertambakan (Gambar 3).



Gambar 1. Lokasi penelitian di muara Sungai Pangkajene Pangkep



Gambar 2. Lokasi penelitian di muara Sungai Tallo Makassar



Gambar 3. Lokasi penelitian di muara Sungai Boyong Jeneponto

Setiap lokasi muara sungai terdiri dari empat stasiun, dengan sebarannya pada masing-masing stasiun, yaitu di tengah muara, depan muara, tepi kanan muara dan tepi kiri muara.

3. Pengambilan Sampel Makrozoobentos

Sampel makrozoobentos dikumpulkan dengan menggunakan *Van Veen Grab* 20 x 20 cm² sebanyak tiga titik pada setiap stasiun. Pengambilan data makrozoobentos dilakukan pada siang hari. Sebelum pencacahan dan identifikasi, sampel dipisahkan dahulu dari lumpur dan sampah, batuan dan atau pasir dengan cara memasukkan lumpur ke saringan. Identifikasi sampel makrozoobentos dengan memeriksa dan mengamati di bawah lup. Selanjutnya hasil yang diperoleh dibandingkan dan dicocokkan dengan gambar dan ciri-ciri yang terdapat dalam buku identifikasi. Identifikasi diusahakan sampai tingkat spesies. Identifikasi jenis-jenis makrozoobentos yang didapatkan dilakukan menurut George dan George (1979), Higgins dan Theil (1988), Dharma (1988).

4. Pengukuran Paramater Lingkungan

Pengukuran parameter lingkungan diusahakan dilakukan pada waktu yang sama di setiap lokasi muara sungai dan pengukuran dilakukan di titik yang sama dengan pengambilan sampel makrozoobentos. Parameter yang tidak dapat diukur langsung di lapangan, maka dilakukan pengambilan sampel air dan sedimen disimpan pada suhu rendah dalam *coolbox* untuk mencegah terjadinya perubahan konsentrasi tiap parameter. Adapun parameter lingkungan yang diukur meliputi :

a. Sedimen

a. 1. Analisis Kandungan Logam Berat Timbel (Pb) dan Kadmium (Cd)

Pengambilan sedimen untuk logam berat dilakukan satu kali pada setiap stasiun. Sampel sedimen diambil menggunakan *Van Veen Grab* 20 x 20 cm². Dari grab, sedimen yang tidak bersinggungan dengan dinding grab diambil dan dimasukkan ke dalam kantong sampel. Pengukuran kandungan logam berat pada sedimen dilaksanakan di laboratorium Bapedalda Propinsi Sul-Sel ditentukan dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) AA-6200*.

Adapun pengukuran parameter pendukung yang diukur pada titik yang sama dengan pengambilan sampel makrozoobentos, yaitu:

a. 2. Potensial Redoks Sedimen (Eh)

Pengukuran potensial redoks dari sampel sedimen dilaksanakan di laboratorium dengan menggunakan Eh-pH meter (Hariyadi, 2003).

a. 3. Kandungan Bahan Organik

Analisis bahan organik total (BOT) pada sedimen dilakukan menggunakan alat tanur dengan metode Gravimetrik (Walckley and Black dalam Wahyu dan Widystuti, 1998). Proses analisis kandungan bahan organik pada sampel sedimen sebagai berikut:

- Cawan porselen dipanaskan dalam oven pada suhu 50°C selama 1 jam, kemudian ditimbang sebagai berat awal/berat cawan kosong (BCK).
- Sampel sedimen yang sebelumnya telah dihaluskan, dimasukkan sebanyak ± 10 gram ke dalam cawan porselen, lalu ditimbang sebagai berat sampel (BS).
- Cawan porselen berisi sampel sedimen tadi dimasukkan ke dalam tanur dengan suhu ± 600° C selama 3 jam, lalu didinginkan dalam desikator selama selama 30 menit kemudian ditimbang sebagai berat akhir/ berat setelah pemijaran (BSP).

Untuk menghitung kandungan bahan organik total pada sedimen adalah:

$$\text{Kandungan bahan organik total (berat BOT) = (BCK + BS) - BSP}$$

Sedangkan persentase kandungan bahan organik total sampel sedimen dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ BOT} = \frac{(\text{BCK} + \text{BS}) - \text{BSP}}{\text{BS}} \quad \text{atau} \quad \frac{\text{Berat BOT}}{\text{BS}} \times 100\%$$

a. 4. Kandungan Sulfit (SO₃)

Pengukuran sulfit menggunakan pengekstrak Morgan-Wolf berdasar metode Sulaeman (2005) dengan prosedur kerja sebagai berikut:

- 20 gram sampel sedimen ditimbang < 2 mm dalam botol kocok 100 ml.
- Ditambahkan 1 ml karbon aktif dan 40 ml pengekstrak Morgan-Wolf, dikocok selama 5 menit dengan mesin pengocok.
- Kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman No. 1 untuk mendapatkan ekstrak yang jernih.
- Dipipet masing-masing 2 ml ekstrak dan deret standar S ke dalam tabung kimia.
- Ditambahkan masing-masing 7 ml asam campur dan 2,5 ml larutan BaCl₂-tween.

- Kemudian dikocok dengan pengocok tabung sampai homogen. Dibiarkan selama 5 menit lalu diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 432 nm.

Persentase kandungan sulfit dihitung dengan formula:

$$\% \text{SO}_3 = \frac{\text{bobot sisa pijar} \times 0.343}{\text{bobot cawan}}$$

a. 5. Derajat Keasaman (pH) Sedimen

Pengukuran derajat keasaman (pH) sedimen dilakukan dengan menggunakan pH Meter (Hariyadi, 2003).

a. 6. Kebutuhan Oksigen Kimiawi/Chemical Oxygen Demand (COD)

Pengukuran COD pada sedimen dilakukan berdasar metode dari Chuan dan Sugahara (1984) dengan prosedur sebagai berikut :

- Standarisasi larutan 0,1 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
 - Dari 10 ml larutan 0,1 N KIO_3 , ditambahkan 50 ml air, 3 ml larutan KI dan 2 ml asam sulfat.
 - Larutan dititrasi dengan 0,1 N larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ hingga warna kuning larutan berubah menjadi pucat kekuning-kuningan.
 - Ditambahkan 1 ml larutan amylum, hingga larutan berubah warna menjadi biru gelap.
 - Prosedur diulangi dua kali dan hitung volume rata-rata dari tiga titrasi berurutan. Faktor f dihitung dengan rumus :

$$f = \frac{1000}{V} \quad \text{Dimana, } V = \text{volume rata-rata } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$$

- Titrasi Sampel

- 1 gram sampel sedimen basah dimasukkan dalam labu erlenmeyer 300 ml.
- Ditambahkan 100 ml 0,1 N KMnO_4 dan 5 ml NaOH ke dalam labu erlenmeyer.

- Dipanaskan selama 15 menit dalam wadah pada suhu mendidih. Diusahakan agar air mendidih tidak masuk ke dalam labu. Setelah dipanaskan, ditambahkan segera 100 ml 0,1 N asam oksalik dan 10 ml asam sulfur, kemudian labu didinginkan dalam air es.
- Dipindahkan dengan dicuci, diisi ke dalam labu 500 ml dan dibuat volume dengan air kemudian disaring dengan kertas saring kering.
- Untuk 100 ml saringan, ditambahkan 10 ml 0,1 N KMnO_4 . dicampur dan dibiarkan bahan bereaksi selama beberapa menit, kemudian ditambahkan lagi 5 ml KI.
- Dititrasi dengan 0,1 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ hingga warna kuning berubah menjadi pucat. Ditambahkan 1 ml amylum untuk merubah larutan menjadi biru gelap. Dititrasi lagi hingga larutan menjadi tanpa warna, diulangi dari tahap (ii) untuk larutan blanko 50 ml.

Nilai COD sedimen dihitung dengan formula:

$$\text{COD (mg O}_2\text{/g)} = \frac{400 f (b - s)}{w (100 - c)}$$

Dimana, f = faktor koreksi thiosulphate

b = volume thiosulphate yang digunakan larutan blanko (ml)

s = volume thiosulphate yang digunakan larutan sampel (ml)

w = berat basah sedimen yang digunakan dalam analisis (g)

c = isi air dari sedimen basah (%)

a. 7. Jenis dan Ukuran Sedimen

Metode ini digunakan untuk mengklasifikasi substrat pasir dan lumpur dengan prosedur sebagai berikut:

- Sampel sedimen yang telah kering ditimbang sebanyak ± 100 gram, lalu diayak menggunakan *sieve net* bertingkat selama 15 menit dengan gerakan konstan sehingga didapatkan pemisahan partikel sedimen

berdasarkan masing-masing ukuran ayakan (2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,063 mm dan <0,063 mm).

- Sampel dipisahkan dari masing-masing ukuran ayakan hingga bersih lalu ditimbang.

Untuk menghitung % berat sedimen pada metode ayakan kering digunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ Berat} = \frac{\text{berat hasil ayakan}}{\text{berat total hasil ayakan}} \times 100\%$$

b. Kolom Air

b. 1. Kebutuhan Oksigen Kimiawi/*Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pengukuran COD dilakukan dengan metode titrimetri (Hariyadi, 2003) dan dilaksanakan di laboratorium. Langkah-langkah pengukuran terdiri dari :

- Erlenmeyer 125 mL dicuci bersih hingga bebas bahan organik.
- 5 mL air sampel dipipet ke dalam erlenmeyer.
- Ditambahkan 2,5 mL $K_2Cr_2O_7$ kemudian diaduk.
- Ditambahkan 7,5 mL H_2SO_4 pekat.
- Erlenmeyer ditutup dan dibiarkan selama sekitar 30 menit.
- Ditambahkan 5 mL akuades kemudian diaduk.
- Ditambahkan 2-3 tetes indikator Ferroin, kemudian dititrasi dengan FAS hingga terjadi perubahan warna dari kuning-oranye atau biru kehijauan menjadi merah kecoklatan.
- Dibuatkan larutan blanko.

Perhitungan COD air dilakukan dengan formula:

$$\text{COD (mg/l)} = \frac{(B - S) \times N \times 8 \times 1000}{\text{mL sampel}}$$

B = Volume FAS yang digunakan dalam larutan blanko (mL)

S = Volume FAS yang digunakan dalam sampel (mL)

N = Normalitas FAS

b. 2. Oksigen Terlarut/*Dissolved Oxygen* (DO)

Pengukuran oksigen terlarut dengan metode titrimetri (Hariyadi, 2003) dan dilaksanakan di laboratorium. Langkah-langkah pengukuran terdiri dari :

- Sampel air dimasukkan ke dalam botol sampel.
- Ditambahkan 1 ml *sulfamic acid* dengan dipipet di bawah permukaan, botol ditutup kemudian sampel diaduk dengan cara botol dibolak-balik.
- Ditambahkan 2 ml mangan sulfat ($MnSO_4$) dan 2 ml NaOH + KI kemudian ditutup dan botol sampel dibolak-balik sampai terbentuk endapan coklat.
- Ditambahkan lagi 2 ml H_2SO_4 pekat, botol sampel ditutup dan dibolak-balik.
- 100 ml air diambil dari botol sampel, dimasukkan ke dalam erlenmeyer, diusahakan tidak terjadi aerasi.
- Ditambahkan 5 ml akuades kemudian diaduk.
- Dititrasi dengan Na-thiosulfat hingga terjadi perubahan warna dari kuning tua ke kuning muda. Ditambahkan 5-8 tetes indikator amylum hingga terbentuk warna biru. Dilanjutkan titrasi dengan Na-thiosulfat sampai bening.
- Dibuatkan larutan blangko

Perhitungan DO dilakukan dengan formula:

$$\frac{mg\ O_2}{l} = \frac{ml\ titran \times 0.16 \times 1000}{ml\ sampel}$$

b. 3. Suhu Air

Pengukuran suhu perairan dilakukan secara insitu dengan menggunakan termometer.

b. 4. Salinitas

Pengukuran salinitas perairan dilakukan secara insitu dengan menggunakan *Handrefraktometer* (Hariyadi, 2003).

b. 5. Derajat Keasaman (pH) Air

Pengukuran derajat keasaman (pH) air dilakukan dengan menggunakan pH Meter (Hariyadi, 2003).

b. 6. Padatan Tersuspensi Total/Total Suspended Solid (TSS)

Penentuan total padatan tersuspensi dari sampel air dilaksanakan di laboratorium dengan prosedur kerja meliputi :

- Kertas saring dikeringkan dengan tungku pada suhu 105° C dan cawan pada suhu 500° C selama 2 jam.
- Cawan dan kertas saring didinginkan di dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan dan kertas saring ditimbang sebagai berat awal dengan menggunakan neraca analitik, diulangi tiga kali hingga diperoleh berat tetap.
- Sampel diambil sebanyak 500 mL.
- Erlenmeyer ditutup dan dibiarkan selama sekitar 30 menit.
- Sampel disaring dengan menggunakan kertas saring yang telah dikeringkan.
- Kertas saring dikeringkan dengan oven pada suhu 105° C dan cawan pada suhu 500° C selama 15 menit, kemudian didinginkan di dalam desikator.
- Berat akhir kertas saring ditimbang dengan menggunakan neraca analitik, diulangi tiga kali hingga diperoleh berat tetap.

Perhitungan TSS dilakukan dengan menggunakan formula:

$$\text{TSS (pmm)} = \frac{(a - b) \times 1000}{c}$$

a = Berat kertas saring setelah penyaringan

b = Berat kertas saring sebelum penyaringan

c = mL sampel air laut

b. 7. Kedalaman Perairan

Kedalaman perairan diukur menggunakan batu duga yang dilengkapi dengan tali berskala.

b. 8. Arah dan Kecepatan Arus

Arah dan kecepatan arus ditentukan dengan menggunakan kompas, *stopwatch* dan layang-layang arus. Secara teknis alat ini dilepaskan di perairan dan dibiarkan hanyut hingga tali menegang. Kecepatan arus dihitung dengan membandingkan antara panjang tali dan waktu yang dibutuhkan hingga tali menegang. Selisih waktu pada saat pelepasan alat dan pada saat tali dilepas dihitung dengan menggunakan *stopwatch*. Arah arus ditentukan dengan menggunakan kompas geologi yang diarahkan setelah tali tegang.

Untuk menghitung kecepatan arus yang diukur di lapangan menggunakan persamaan :

$$V = \frac{s}{t}$$

Keterangan:

V = kecepatan arus (m/s)

s = panjang tali (m)

t = waktu pengamatan (s)

D. Analisis Data

1. Kandungan dan Status Pencemaran Logam Berat Pb dan Cd Pada Sedimen

Penentuan status tingkat pencemaran logam berat ditentukan menurut petunjuk baku mutu logam Pb dan Cd pada sedimen berdasar Fabries dan Werner (1994) yang terlihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. Kisaran dan status kandungan logam Pb dan Cd di sedimen

Elemen	Kisaran	Status	Keterangan
Pb	0-33 mg/kg	Tidak tercemar	Fabries dan Werner (1994)
	>33 mg/kg	Tercemar	
Cd	0-1 mg/kg	Tidak tercemar	
	>1 mg/kg	Tercemar	

2. Karakter Ekologi Makrozoobentos Berdasarkan Status Pencemaran Logam Berat di Sedimen

Komposisi Jenis

Jenis-jenis yang didapatkan dikelompokkan menurut kelas dan dihitung presentasinya.

Kelimpahan (K)

Nilai kelimpahan individu makrozoobentos dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Bengen *et al.*, 1995):

$$Y = \frac{10000 \times a}{b}$$

Dimana, Y = Jumlah individu (ind/m²)

a = Jumlah makrozoobentos yang tersaring (ind)

b = Luas bukaan grab (cm²)

Jumlah jenis dan kelimpahan makrozoobentos dikelompokkan menurut stasiun yang kemudian disajikan dalam bentuk grafik untuk dianalisis secara deskriptif.

Indeks Keanekaragaman (H')

Nilai indeks keanekaragaman organisme makrozoobentos dihitung menggunakan rumus Shannon-Weiner (Levinton, 1982):

$$H' = - \sum P_i \ln P_i; P_i = n_i/N$$

Indeks Keseragaman (E')

Sedangkan indeks keseragaman dapat dihitung dengan menggunakan rumus Shannon-Wiener (Levinton, 1982):

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Dimana, H' = Indeks keanekaragaman

n_i = Jumlah individu

N = Jumlah total individu

E = Indeks keseragaman

S = Jumlah spesies

Indeks Dominansi (C)

Nilai indeks dominansi organisme makrozoobentos dihitung menggunakan rumus Indeks Simpson (Odum, 1993):

$$C = \sum \left(\frac{n_i^2}{N} \right)$$

Dimana, C = Indeks dominansi

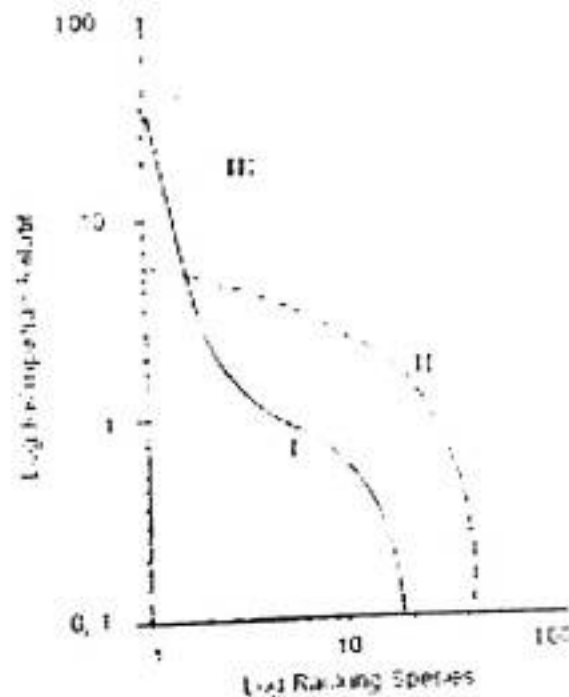
n_i = Jumlah individu setiap jenis

N = Jumlah total individu

Indeks keanekaragaman, keseragaman dan dominansi dikelompokkan menurut stasiun dan disajikan dalam bentuk grafik untuk dianalisis secara deskriptif.

Untuk melihat karakter ekologi makrozoobentos menurut kandungan atau tingkat pencemaran logam, maka titik sampling dibagi menjadi dua modalitas berdasarkan tingkat pencemarannya (tercemar dan tidak tercemar). Kedua kelompok tersebut kemudian dibandingkan karakter ekologi makrozoobentosnya dengan bantuan tabel atau grafik dan melihat perbedaan dalam hal kelimpahan, indeks keanekaragaman, indeks keseragaman, dan indeks dominansi.

Adapun untuk membandingkan tingkat produktivitas biologi perairan dengan pendekatan bioekologi antara kelompok yang tercemar dan yang tidak tercemar logam berat dilakukan dengan bantuan Grafik Suksesi Ekosistem (Frontier, 1985). Grafik suksesi disajikan untuk setiap stasiun menurut lokasi sampling dengan nilai log kelimpahan relatif sebagai sumbu Y dan log ranking spesies (dari terbesar ke terendah) sebagai sumbu X. Pola-pola grafik yang terbentuk dijadikan dasar untuk penilaian produktivitas biologi perairan (Gambar 4).



Gambar 4. Grafik suksesi ekosistem (Frontier, 1985)

Grafik baku terdiri dari 3 stadium dengan karakteristik masing-masing stadium sebagai berikut:

- a. Stadium I : Produktivitas biologi rendah, kondisi labil, kompetisi antara jenis tinggi, keanekaragaman rendah dan SR minimum.
- b. Stadium II : Produktivitas biologi tinggi, kondisi stabil, kompetisi antara jenis rendah, keanekaragaman tinggi dan SR maksimal.
- c. Stadium III : Produktivitas biologi menurun, kondisi masih baik, kompetisi antara jenis rendah, keanekaragaman menurun dan SR sedang.

3. Penentuan Spesies Makrozoobentos yang Berpotensi Menjadi Bioindikator Pencemaran Logam Logam Berat

Penentuan spesies makrozoobentos yang berpotensi menjadi bioindikator ini, dilakukan dengan metode *Correspondent Analysis* (CA) digunakan untuk melihat distribusi spasial makrozoobentos. Adapun proses perhitungan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Biplot. Penentuan spesies indikator ini dibantu dengan menggunakan tabel kelimpahan makrozoobentos di setiap lokasi penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

1. Muara Sungai Pangkaje'ne

Terletak di Desa Bulu Cindea, Kelurahan Biringkassi, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep, muara sungai Pangkaje'ne merupakan salah satu dari tiga muara pecahan sungai Pangkaje'ne.

Wilayah ini dipengaruhi oleh berbagai aktivitas manusia di daratan berupa limbah dari pemukiman penduduk, tambak dan industri keramik dan di laut berupa transportasi dan aktivitas nelayan. Selain itu, muara sungai ini letaknya dekat dengan industri Semen TONASA.

2. Muara Sungai Tallo

Muara Sungai Tallo terletak di Kecamatan Ujung Tanah, sebelah utara kotamadya Makassar. Sungai Tallo merupakan pecahan dari sungai Jeneberang yang mempunyai hulu di kaki gunung Bawakaraeng Kabupaten Gowa.

Secara umum sumber pencemaran yang masuk ke perairan pantai Kota Makassar berasal dari limbah domestik dan industri. Sungai Tallo merupakan salah satu penyuplai limbah yang masuk ke perairan tersebut. Daerah aliran sungai Tallo terdapat suplai limbah yang berasal dari kegiatan industri (KIMA), aktifitas pelabuhan, galangan kapal, dan limbah domestik dari penduduk.

Berdasarkan Samawi *et al.*, (2006), sumber pencemaran terhadap pantai Kota Makassar berasal dari kegiatan rumah tangga (domestik) dan industri pengolahan. Beban limbah yang masuk ke perairan pantai Kota Makassar yaitu dari Sungai Tallo dicirikan oleh nilai TSS, COD, dan logam Cd yang tinggi.

3. Muara Sungai Boyong

Komoditi Kabupaten Jeneponto datang dari sektor pertanian, perkebunan, perikanan dan industri. Di sektor perikanan, Kabupaten Jeneponto menghasilkan

komoditi perikanan tangkap. Kabupaten ini merupakan kabupaten penghasil ikan kedua terbesar di Sulawesi Selatan. Sentra penangkapan ikan tersebar di Kecamatan Bangkela, Tamalatea, Binamu, dan Batang dengan total produksinya mencapai 41.540 Ton di tahun 2002 (BPS, 2005).

Muara Sungai Boyong yang terletak di desa Tamanroya, Kelurahan Tonro Kassi Timur, Kecamatan Tamlatea, Kabupaten Jeneponto. Sungainya mengalir Kecamatan Tamlatea dan banyak digunakan oleh masyarakat untuk berbagai keperluan, seperti MCK, persawahan dan tambak.

B. Kandungan dan Status Pencemaran Logam Berat Pb dan Cd Pada Sedimen

Kandungan logam Pb dan Cd dan distribusinya di lokasi penelitian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan dan status logam berat Pb dan Cd pada sedimen di lokasi penelitian (Halianah, 2007)

Muara Sungai	Stasiun	Kandungan dan Status Logam Pb dan Cd pada Sedimen (mg/kg)			
		Pb	Status	Cd	Status
Pangkaje'ne, Pangkep	P1	24.208	Tidak tercemar Pb	1.425	Tercemar Cd
	P2	25.804		1.447	
	P3	20.185		1.394	
	P4	22.631		1.730	
Rata-rata		23.207		1.499	
Tallo, Makassar	T1	26.300	Tidak tercemar Pb	1.464	Tercemar Cd
	T2	27.147		1.888	
	T3	28.472		1.434	
	T4	27.007		1.619	
Rata-rata		27.231		1.601	
Boyong, Jeneponto	J1	11.165	Tidak tercemar Pb	1.051	Tercemar Cd kecuali J3
	J2	10.828		1.102	
	J3	11.092		0.800	
	J4	11.359		1.163	
Rata-rata		11.111		1.029	

Berdasarkan Tabel 3, status kandungan logam berat Pb pada ketiga muara sungai tersebut berada dalam kategori belum tercemar. Menurut Fabries dan Werner (1994), konsentrasi maksimum Pb pada sedimen yaitu 33 mg/kg.

Berbeda dengan Pb, secara umum kandungan logam berat Cd berdasarkan stasiun di ketiga muara sungai yang diteliti termasuk dalam status tercemar, kecuali pada stasiun J3. Menurut Fabries dan Werner (1994), konsentrasi maksimum Cd pada sedimen yaitu 1 mg/kg.

C. Karakter Ekologi Makrozoobentos Berdasarkan Status Pencemaran Logam

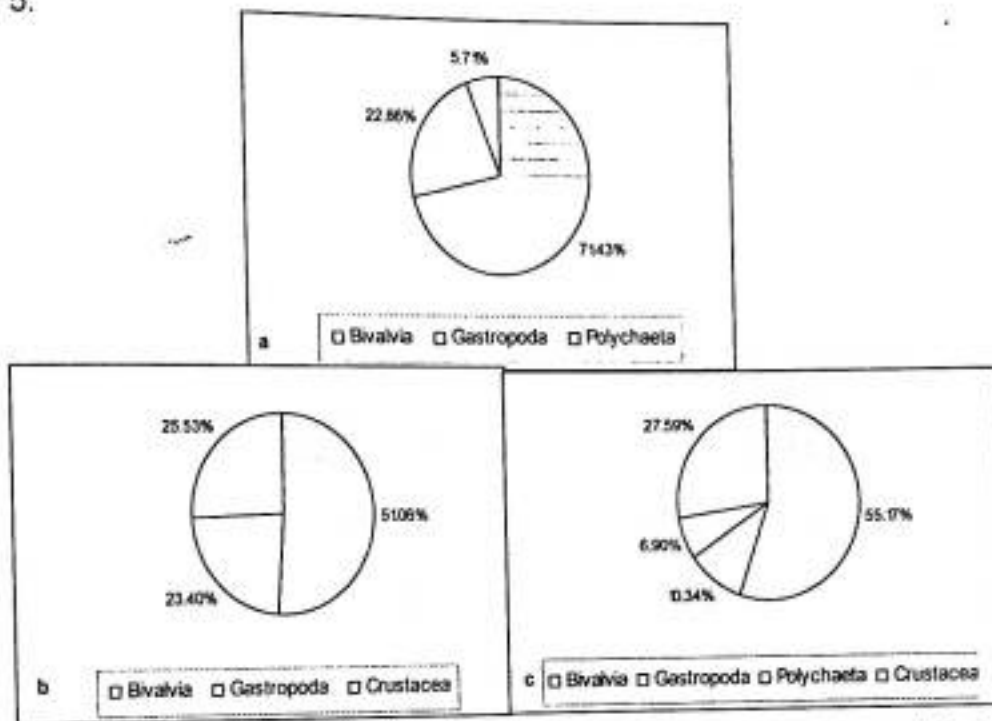
Berdasarkan status pencemaran logam, hanya kandungan logam Cd yang telah melewati standar baku mutu. Sehingga pembahasan karakter ekologi mengacu pada status pencemaran logam Cd. Adapun karakter ekologi makrozoobentos yang dibahas, meliputi: komposisi jenis dan sebaran, kelimpahan dan indeks ekologi, serta tingkat produktivitas biologi dan kondisi perairan.

1. Komposisi Jenis dan Sebaran Makrozoobentos

Lingkungan payau yang biasa terdapat di daerah estuari merupakan daerah yang sangat spesifik karena lingkungan ini sangat dipengaruhi oleh interaksi antara air tawar dan air laut. Lingkungan payau yang biasanya terletak di zona pasang surut termasuk lingkungan yang tergolong ekstrim, terutama karena terdapatnya fluktuasi yang tajam pada kadar salinitas dan temperatur, baik yang bersifat harian maupun musiman serta masukan limbah dari hulu hingga hilir sungai. Kondisi ini tentu mempengaruhi kehidupan dan dinamika makrozoobentos.

Hasil identifikasi terhadap jenis makrozoobentos yang ditemukan di lokasi penelitian, ditemukan sebanyak 21 jenis yang tersebar di empat stasiun di tiga muara sungai. Filum makrozoobentos yang ditemukan terdiri dari Moluska,

Annelida dan Arthropoda dengan empat kelas yaitu Bivalvia dan Gastropoda dari Moluska, Polychaeta dari Annelida dan Crustacea dari Arthropoda. Komposisi jenis makrozoobentos yang ditemukan di beberapa muara sungai disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Komposisi jenis makrozoobentos yang ditemukan di lokasi penelitian berdasarkan kelas (a. muara Sungai Pangkaje'ne; b. muara Sungai Tallo; c. muara Sungai Boyong)

Berdasarkan Gambar 5, komposisi jenis makrozoobentos yang ditemukan di muara sungai Pangkaje'ne, muara sungai Tallo dan muara sungai Boyong, sebagian besar didominasi oleh kelas Bivalvia dengan persentase lebih besar dari 50%. Jumlah individu paling banyak ditemukan dari kelas Bivalvia, namun dari segi jumlah jenis atau spesies, paling banyak ditemukan dari kelas Gastropoda.

Besarnya komposisi dan jenis Bivalvia dan Gastropoda disebabkan karena makrozoobentos dari kedua kelas tersebut memiliki kemampuan dalam beradaptasi terhadap lingkungannya (kondisi sedimen, salinitas, suhu dan lain-lain) dan cara makan yang beragam yaitu *filter feeder*, *deposit feeder* dan *suspensi feeder* (Nybakken, 1992).

Daya adaptasi diperlukan bagi makrozoobentos terhadap perubahan suhu yang terjadi di estuari. Hewan avertebrata di daerah pasang surut tropik memiliki suhu badan yang lebih rendah daripada obyek yang sama yang diprediksi memiliki suhu lebih tinggi ketika terpapar sinar matahari. Meskipun hewan-hewan tersebut masih lebih hangat dari suhu air laut pada saat sinar matahari cerah, proses evaporasi menyebabkan terjadi beberapa kehilangan panas.

Terhadap perubahan salinitas yang ekstrim, bivalvia tidak melakukan osmoregulasi cairan ekstraselulernya namun melakukan pengaturan karakter osmotik dari cairan intraselulernya. Mereka mengatur konsentrasi asam amino yang terlarut. Peningkatan dan penurunan konsentrasi tersebut digunakan untuk menyesuaikan diri dengan peningkatan dan penurunan salinitas.

Moluska dan kebanyakan Krustacea menggunakan insang dan beberapa sistem sirkulasi untuk pertukaran respirasi. Seluruh insang memiliki permukaan respirasi yang besar dan dapat bergerak dengan cepat atau memiliki arus air yang melewatinya untuk pertukaran oksigen. Spesies penggali liang seperti polichaeta, selalu membuat saluran air untuk mengalirkan air yang teroksigenasi ke dalam lubang galiannya. Pada banyak kasus, insang juga berperan untuk menangkap makanan (seperti pada moluska yang *filters feeders*) (Arifin, 2005).

Sebaran jenis makrozoobentos pada setiap stasiun selama penelitian di beberapa muara sungai disajikan pada Tabel 4.

Sebaran jenis makrozoobentos yang paling banyak ditemukan berada di muara sungai Pangkajene Pangkep dengan 13 jenis, kemudian di muara sungai Tallo Makassar dan muara sungai Boyong Jeneponto masing-masing 9 jenis.

Sebaran jenis pada masing-masing stasiun di setiap muara sungai terlihat tidak merata.

Tabel 4. Sebaran jenis makrozoobentos pada setiap stasiun

Jenis Organisme	Stasiun												
	P1	P2	P3	P4	T1	T2	T3	T4	J1	J2	J3	J4	
Filum: Moluska Kelas: Bivalvia													
<i>Gafrarium tumidum</i>	√	√			√								√
<i>Asaphis violascens</i>	√												
<i>Tellina sp.</i>	√	√			√			√					√
<i>Batissa violacea</i>	√												√
<i>Periglypta reticulata</i>		√											√
<i>Codakia punctata</i>	√												
<i>Marcia hiantina</i>					√								
<i>Donax</i>												√	√
<i>Polymesoda sp.</i>													√
Filum: Moluska Kelas: Gastropoda													
<i>Hastula acumen</i>	√												
<i>Rhinoclavis aspera</i>	√												
<i>Melanoides torulosa</i>	√				√								
<i>Strombus sp.</i>	√				√								
<i>Nerita sp.</i>		√			√								
<i>Clithon ovalaniensis</i>		√											
<i>Thiara scabra</i>													√
<i>Barbatia decussata</i>													
<i>Certhidea cingulata</i>					√								
<i>Polinices melanostomus</i>												√	
Filum: Annelida Kelas: Polychaeta													
<i>Capitella capitata</i>			√									√	
Filum: Arthropoda Kelas: Crustacea													
<i>Balanus sp.</i>					√	√	√		√		√		

Jenis makrozoobentos dari kelas polychaeta yang ditemukan di beberapa muara sungai, antara lain muara sungai Pangkajene dan muara sungai Boyong yaitu *Capitella capitata*. Jenis ini merupakan spesies penciri pada daerah yang tercemar oleh bahan organik. Dari berbagai hasil penelitian di banyak tempat, ternyata cacing jenis *Capitella capitata* berasosiasi dengan perairan tercemar dengan komponen utamanya adalah limbah domestik. Pada perairan yang tercemar berat, populasi cacing ini dapat meningkat. Kadang-kadang cacing ini disebut juga cacing yang oportunistik. Daerah yang tercemar berat biasanya di muara sungai atau kanal luaran limbah kota, hanya cacing jenis *Capitella*

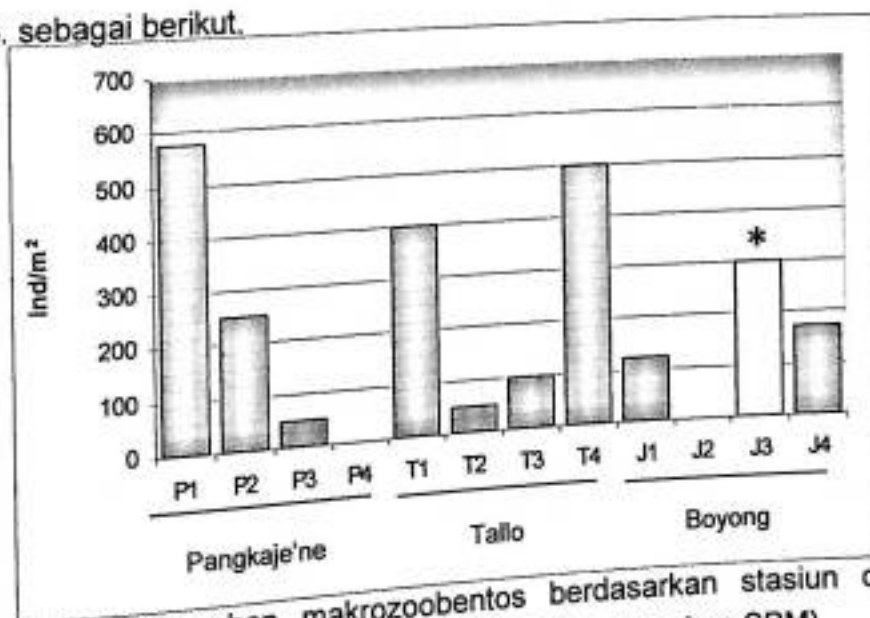
capitata saja yang bertahan, dan permukaan air ditutupi oleh lapisan film bakteri. Ditambahkan pula, cacing jenis *Capitella capitata* ini adalah pemakan detritus yang berupa endapan organik (*deposit feeder*) (Aziz, 1994).

Mengingat kedua muara sungai tersebut mendapat pengaruh yang cukup besar dari limbah rumah tangga dan aktivitas pertanian yang menimbulkan limbah seperti penggunaan pupuk, pestisida untuk pengolahan tanah, pemupukan, dan pemberantasan hama penyakit tanaman dan penggunaan pestisida dan bahan-bahan kimia lainnya pada saat mengelola lahan tambak.

Jenis yang lain ditemukan dari kelas gastropoda di muara sungai Pangkajene dan muara sungai Tallo dengan kelimpahan cukup tinggi yakni *Melanoides* sp. Menurut Musa, *et al.* (1996), secara umum limbah rumah tangga berupa bahan organik dan limbah pertanian biasanya berupa sisa pupuk dan lumpur, makrozoobentos yang ditemukan adalah dari jenis gastropoda yaitu *Syncera javana* dan *Melanoides* sp. dengan kelimpahan yang tinggi.

2. Kelimpahan dan Indeks Ekologi Makrozoobentos

Kelimpahan makrozoobentos berdasarkan stasiun, disajikan pada Gambar 6. sebagai berikut.



Gambar 6. Kelimpahan makrozoobentos berdasarkan stasiun di lokasi penelitian (* = tidak tercemar Cd berdasarkan SBM)

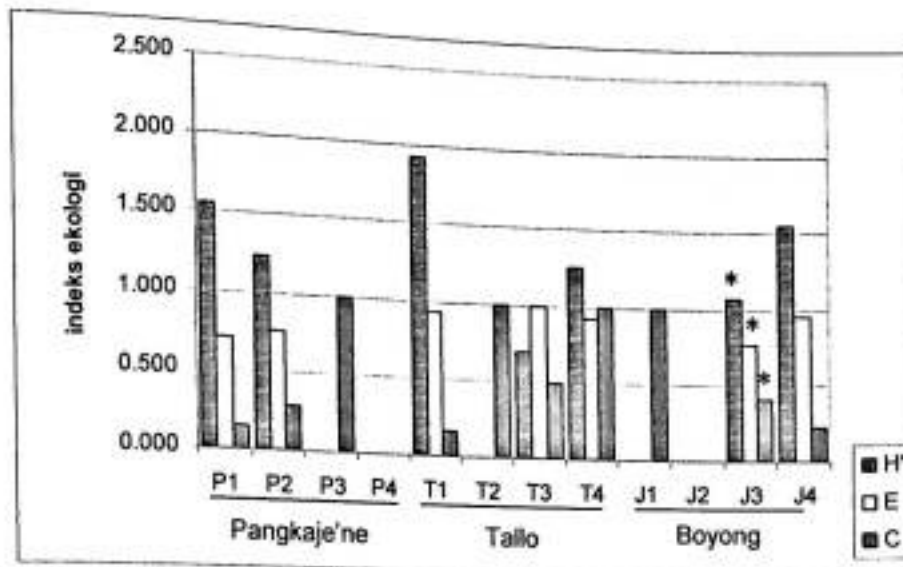
Berdasar hasil analisis kandungan logam berat yang diteliti, hanya logam Cd yang telah melewati standar baku mutu yaitu 1 mg/kg. Oleh karena itu, pembahasan dititik beratkan berdasar status pencemar logam Cd.

Kelimpahan makrozoobentos tertinggi ditemukan di Stasiun P1, dengan kelimpahan individu tertinggi dari kelas bivalvia (*Gafrarium tumidum*). Jenis ini hampir ditemukan di setiap stasiun penelitian. *Gafrarium tumidum* mempunyai cangkang yang tebal dan kuat, dibanding *Tellina* sp. dari kelas Bivalvia dengan kelimpahan tinggi di stasiun T4 dan hampir ditemukan juga di setiap stasiun penelitian.

Kelimpahan makrozoobentos tidak terkait langsung dengan keberadaan cemaran Cd. Fenomena tersebut dapat dilihat dari beberapa stasiun (5 stasiun) yang memiliki kelimpahan yang justru lebih tinggi dari stasiun yang tidak tercemar. Adanya perbedaan kelimpahan tersebut lebih dipengaruhi oleh faktor lain dan faktor substrat diduga merupakan faktor utama yang menentukan tinggi rendahnya kelimpahan makrozoobentos pada suatu lokasi.

Menurut Saru *et al.*, (2004), salah satu faktor yang cukup besar mempengaruhi kelimpahan makrozoobentos adalah sedimen. Perbedaan jenis sedimen memungkinkan organisme yang hidup di dalamnya berbeda. Kelimpahan organisme yang lebih banyak ditemukan pada stasiun di muara sungai dengan kondisi campuran substrat pasir dan lumpur. Kondisi sedimen seperti ini disukai oleh makrozoobentos sebagai pemakan bahan tersuspensi (*suspensi feeder*), pemakan deposit (*deposit feeder*) dan pemakan dengan cara menyaring (*filter feeder*). Ditambahkan juga oleh Chelazzi dan Vannini (dalam Kastoro dan Mudjiono 1989), bahwa keanekaragaman jenis akan meningkat di daerah yang memiliki substrat yang kompleks.

Nilai indeks keanekaragaman, keseragaman, dan dominansi berdasarkan stasiun di beberapa muara sungai disajikan pada Gambar 7 sebagai berikut:



Gambar 7. Nilai indeks keanekaragaman (H'), keseragaman (E), dan dominansi (C) berdasarkan stasiun di lokasi penelitian (* = tidak tercemar Cd berdasarkan SBM)

Pada Gambar. 7 dapat dilihat nilai indeks keanekaragaman, keseragaman dan dominansi yang ditemukan pada stasiun di beberapa sungai tergolong rendah. Dibandingkan dengan stasiun lainnya, Stasiun T1 memiliki nilai indeks keanekaragaman jenis yang relatif tinggi, yaitu sebesar 1,92 di muara sungai Tallo dan Stasiun P1 sebesar 1,55 di muara sungai Pangkaje'ne.

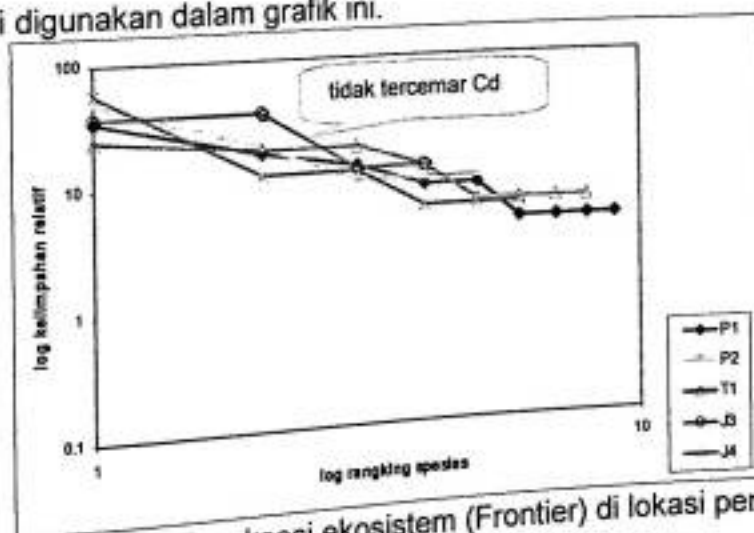
Sedangkan nilai keanekaragaman jenis yang relatif rendah juga ditemukan di beberapa stasiun. Rendahnya nilai keanekaragaman jenis disebabkan oleh ada dominasi dari jenis-jenis tertentu. Seperti halnya dengan kelimpahan, nilai indeks juga tidak dipengaruhi oleh status pencemaran logam berat Cd.

Secara umum, Stasiun P1, P2, T1, T4, J3 dan J4 yang memiliki nilai $H' > 1$ yang mengindikasikan bahwa stabilitas komunitas tergolong moderat atau sedang. Kondisi komunitas yang moderat ini mudah berubah hanya dengan pengaruh lingkungan yang relatif kecil (Pirzan dan Pong-Masak, 2005). Selanjutnya nilai keanekaragaman pada stasiun dengan nilai $H' < 1$ berarti komunitas biota di stasiun tersebut tidak stabil komunitas ini sedang mengalami gangguan (Pirzan dan Pong-Masak, 2005).

Kestabilan suatu komunitas dapat digambarkan dengan tinggi rendahnya nilai indeks keseragaman (E) yang didapat. Kondisi komunitas dikatakan baik/stabil bila memiliki nilai pemerataan jenis mendekati 1 atau sebaliknya. Dimana semakin kecil nilai E mengindikasikan penyebaran jenis tidak merata sedangkan semakin besar nilai E maka penyebaran jenis relatif merata. Penyebaran jenis suatu organisme berkaitan erat dengan dominasi, dimana bila nilai pemerataan kecil mengindikasikan terjadi dominasi dari jenis-jenis tertentu. Adapun nilai indeks keseragaman yang ditemukan di setiap stasiun berkisar 0,65–1. Sedangkan nilai indeks dominansi berkisar 0,2-1. Nilai indeks keseragaman (E) mendekati 1 dapat dikatakan keseragaman antar spesies relatif merata atau relatif sama (Pirzan dan Pong-Masak, 2005).

3. Tingkat Produktivitas Biologi dan Kondisi Perairan

Pengkajian strategi adaptasi dan tingkat suksesi makrozoobentos dalam kaitannya dengan kualitas lingkungan perairan, dilakukan melalui analisis Grafik Suksesi Frontier. Penilaian produktivitas biologi dikelompokkan berdasarkan stasiun dengan jumlah spesies minimal lima. Karena itu, tidak semua stasiun di muara sungai digunakan dalam grafik ini.



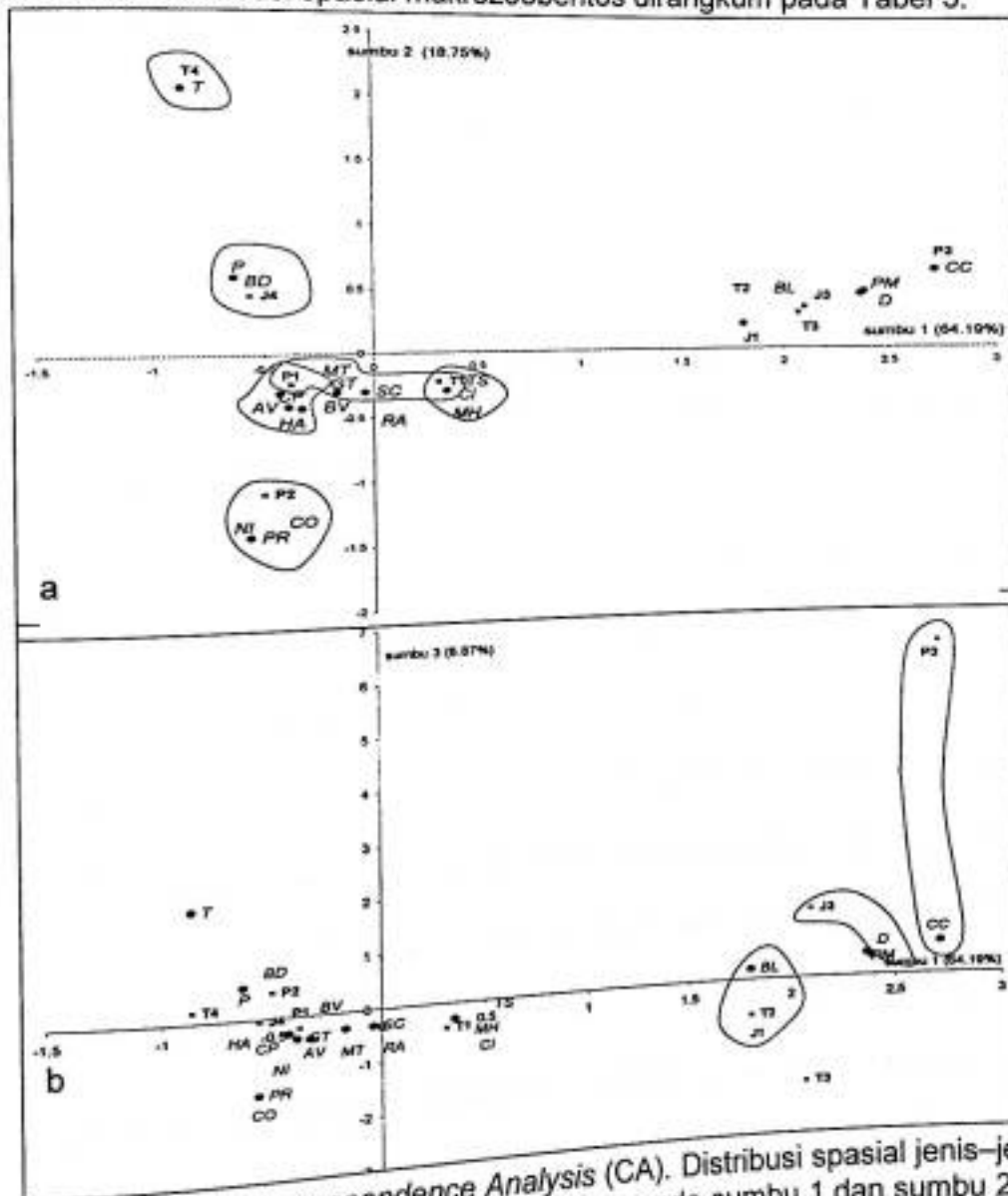
Gambar 8. Grafik suksesi ekosistem (Frontier) di lokasi penelitian

Berdasar Gambar 8, terlihat kelima stasiun yang mewakili masing-masing muara sungai, menunjukkan grafik suksesi berada pada Stadium II yang menunjukkan tingkat produktivitas perairan yang masih tinggi. Hal ini berarti

adanya pencemaran logam Cd, belum mengakibatkan efek biologis pada makrozoobentos, seperti terganggunya sistem reproduksi. Sedangkan tingkat konsentrasi logam Cd pada sedimen yang mungkin menimbulkan efek biologis adalah 8.6 mg/kg (Fabries and Werner, 1994).

D. Penentuan Spesies Makrozoobentos yang Berpotensi Menjadi Bioindikator Pencemaran Logam Berat

Correspondent Analysis (CA) digunakan untuk melihat distribusi spasial makrozoobentos. Analisis ini disajikan pada Gambar 9 a dan b yang masing-masing menjelaskan makrozoobentos penciri pada tiap stasiun. Adapun interpretasi dari distribusi spasial makrozoobentos dirangkum pada Tabel 5.



Gambar 9. Hasil *Correspondence Analysis* (CA). Distribusi spasial jenis-jenis makrozoobentos menurut stasiun pada sumbu 1 dan sumbu 2 (a) dan sumbu 1 dan sumbu 3 (b). Simbol makrozoobentos dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Ringkasan interpretasi *Correspondences Analysis* (CA)

Kelompok Stasiun	Makrozoobentos penciri
I (St. T4)	<i>Tellina</i> sp.
II (St. J4)	<i>Barbatia decussata</i> , <i>Polymesoda</i> sp.
III (St. T1)	<i>Thiara scabra</i> , <i>Marcia hiantina</i> , <i>Cerithidea cingulata</i> .
IV (St. P1)	<i>Codakia punctata</i> , <i>Hastula acumen</i> , <i>Asaphis violascens</i>
V (St. P2)	<i>Nerita</i> sp., <i>Clithon ovalaniensis</i> , <i>Periglypta reticulata</i>
VI (St. P3)	<i>Capitella capitata</i>
VII (St. J3)	<i>Polinices melanostomus</i> , <i>Donax</i> sp.
VIII (St. T2, J1)	<i>Balanus</i> sp.
X (St. P1, T1)	<i>Gafrarium tumidum</i> , <i>Melanoides torulosa</i> , <i>Strombus</i> sp.

Bioindikator (indikator biologi) adalah spesies atau mikroorganisme, yang kehadiran dan responsnya berubah karena kondisi lingkungan. Setiap spesies merespons perubahan lingkungan sesuai dengan stimulus yang diterimanya. Respons yang diberikan mengindikasikan perubahan dan tingkat pencemaran yang terjadi di lingkungannya. Respons yang diberikan oleh masing-masing spesies terhadap perubahan yang terjadi di lingkungannya dapat sangat sensitif, sensitif atau resisten (Suana, 2001).

Spesies indikator, dimana kehadiran atau ketidakhadirannya mengindikasikan terjadi perubahan di lingkungan tersebut. Spesies yang mempunyai toleransi yang rendah terhadap perubahan lingkungan (*stenoecious*), sangat tepat digolongkan sebagai spesies indikator. Bila kehadiran, distribusi serta kelimpahannya tinggi, maka spesies tersebut merupakan indikator positif. Sebaliknya, ketidakhadiran atau hilangnya suatu spesies karena perubahan lingkungannya, disebut indikator negatif (Nobel et al. 1983 dalam Kovacs 1992). Sehingga penentuan spesies indikator ini dibantu dengan melihat data kelimpahan makrozoobentos di setiap lokasi penelitian seperti yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kelimpahan makrozoobentos berdasar muara (4 stasiun) di lokasi penelitian

Spesies	Kelimpahan (ind/m ²)			Indikator
	Pangkajene	Tallo	Boyong	
<i>Gafrarium tumidum</i> (GT)	325	50	50	positif
<i>Asaphis violascens</i> (AV)	75			
<i>Tellina</i> sp. (T)	100	525	25	positif
<i>Batissa violacea</i> (BV)	50		50	
<i>Periglypta reticulata</i> (PR)	25			
<i>Codakia punctata</i> (CP)	25			
<i>Marcia hiantina</i> (MH)		25		
<i>Donax</i> sp. (D)			325*	negatif
<i>Polymesoda</i> sp. (P)			25	
<i>Hastula acumen</i> (HA)	25			
<i>Rhinoclavis aspera</i> (RA)	25			
<i>Melanoides torulosa</i> (MT)	100	100		positif
<i>Strombus</i> sp. (SS)	25	25		positif
<i>Cerithidae cingulata</i> (CI)		75		
<i>Nerita</i> sp. (NI)	25	25		positif
<i>Clithon ovalaniensis</i> (CO)	25	25		positif
<i>Thiara scabra</i> (TS)		25		
<i>Barbatia decussata</i> (BD)			25	
<i>Polinices melanostomus</i> (PM)			25	negatif
<i>Capitella capitata</i> (CC)	50		25	
<i>Balanus</i> sp. (BS)	**	100	200	positif
TOTAL	875	1025	775	

Ket: * = hanya ditemukan di Stasiun J3 yang belum tercemar

** = ketidakhadiran jenis tersebut karena substratnya yang tidak berbatu sebagai habitatnya untuk menempel

Spesies yang potensial digunakan dalam penelitian ini masih langkah awal dan perlu diklarifikasi dengan penelitian-penelitian sebelumnya atau dilakukan kajian yang lebih mendalam dalam skala ruang dan waktu yang lebih ekstensif.

Berdasar Tabel 5, spesies makrozoobentos yang berpotensi sebagai indikator positif pada penelitian ini antara lain: *Gafrarium tumidum*, *Tellina* sp., *Nerita* sp., *Melanoides torulosa*, *Strombus* sp., *Balanus* sp. dan *Clithon ovalaniensis*. Spesies-spesies tersebut dikategorikan sebagai indikator positif karena kemampuannya bertahan atau cenderung mendominasi pada lokasi yang tercemar.

Gafrarium tumidum ditemukan pada beberapa stasiun (P1 dan T1) di lokasi penelitian. Dari ringkasan interpretasi CA, spesies ini merupakan penciri

dengan kondisi lingkungan dengan salinitas dan DO yang cukup rendah, kandungan COD air, TSS, dan logam Cd tinggi serta kondisi substrat campuran pasir lumpur (Lampiran 1). Penelitian Asfiah (2006) di perairan pesisir Pangkep, pada stasiun dengan kandungan COD yang cukup tinggi, ditemukan jenis ini dalam kelimpahan tinggi. Tingginya kadar COD tidak berefek letal/ mematikan bagi organisme tersebut. Keberadaan *Gafrarium tumidum* sebagai spesies bioindikator pada pencemaran logam diteliti di laguna Kaledonia Baru yang menunjukkan adanya hubungan antara akumulasi logam dan ukuran cangkang (Hédouin, *et al.*, 2005).

Di muara sungai Tallo (Stasiun T4), ditemukan *Tellina* sp. dengan kelimpahan cukup tinggi. Spesies ini ditemukan dengan kondisi salinitas dan DO relatif rendah, pH, TSS, dan COD relatif tinggi serta substrat dominan pasir halus (Lampiran 1). Kurnianta, *et al.*, (2002) melihat profil kandungan logam berat kadmium (Cd) dan krom (Cr) dalam daging *Tellina versicolor*. Profil yang diperoleh tidak menunjukkan peningkatan yang teratur melainkan fluktuatif. Dengan konsentrasi bahan pencemar yang besar, absorpsi *Tellina versicolor* terhadap logam berat juga meningkat.

Berdasar Tabel 4, *Nerita* sp. merupakan penciri dengan kandungan TSS dan COD cukup tinggi, substrat campuran pasir dan lumpur. Spesies ini ditemukan di perairan muara Sungai Pangkaje'ne dan muara Sungai Tallo. Spesies ini juga ditemukan di perairan pantai pulau Ambon yang sedimennya telah terakumulasi logam berat. Kandungan logam dalam jaringan siput ini memperlihatkan bahwa kadar Pb lebih besar daripada Cd (Leiwakabessy, 2005).

Dari ringkasan interpretasi CA, *Strombus* sp. merupakan penciri dengan kondisi lingkungan dengan salinitas dan DO yang cukup rendah, kandungan COD air, TSS, dan logam Cd tinggi serta kondisi substrat campuran pasir lumpur. Kandungan logam berat Pb juga ditemukan dalam daging biota *Strombus*

luhuanus di perairan Teluk Ambon (Edward dan Tarigan, 1987). Hal ini memberi indikasi bahwa logam berat di perairan akan terakumulasi dalam tubuh organisme. Terdapat perbedaan konsentrasi logam pada daerah tercemar dan tidak tercemar. Konsentrasi logam Pb dan Cd pada *Strombus* sp. lebih banyak ditemukan di daerah tercemar di banding yang tidak tercemar (Mubiana, et al., 2006).

Balanus sp. dengan kelimpahan cukup tinggi, merupakan penciri dengan kandungan Cd, TSS, dan COD cukup tinggi. Spesies ini umum ditemukan pada penelitian-penelitian makrozoobentos sebelumnya. Berdasar penelitian yang dilakukan di Spanyol yang melakukan biomonitoring logam pada perairan estuari, menemukan korelasi signifikan antara antara Cd pada jaringan *Balanus balanoides*. Teritip ini menunjukkan kemampuannya dalam mengakumulasi logam. Berdasar hasil yang diperoleh, *Balanus balanoides* dipertimbangkan sebagai alat memonitoring logam berat di perairan estuari tersebut (Gracia et al., 2005).

Adapun spesies makrozoobentos yang berpotensi sebagai indikator negatif pada penelitian ini, yaitu: *Donax* sp., dan *Polinices melanostomus*. Spesies-spesies tersebut dikategorikan sebagai indikator negatif karena sensitivitasnya pada lokasi yang tercemar yang diindikasikan dengan tidak ditemukannya pada perairan yang tercemar Cd.

Donax sp. merupakan penciri dengan kandungan Cd dan BOT relatif rendah dibanding stasiun lain di muara Sungai Boyong, salinitas relatif rendah serta substrat pasir lumpur.

Keberadaan spesies-spesies lain pada tabel di atas, berpotensi sebagai bioindikator dalam pencemaran logam berat. Namun, belum ada kajian atau masih minimnya kajian pustaka dari jenis tersebut terhadap cemaran logam.

Olehnya perlu kajian lebih spesifik terhadap spesies tersebut terkait dengan cemaran logam.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini, yaitu:

1. Kandungan logam Pb dan Cd terdapat pada sedimen di ketiga lokasi. Kandungan Pb tertinggi terdapat di semua stasiun muara Sungai Tallo (26,300-28,472 mg/kg) dan terendah di muara Sungai Boyong (10,828-11,359 mg/kg). Namun, kandungan Pb di ketiga lokasi belum melewati standar baku mutu Pb yang ditetapkan. Sedangkan untuk logam Cd, kandungan tertinggi terdapat di muara Sungai Tallo (1,434-1,888 mg/kg) dan terendah terdapat di muara Sungai Boyong (0,800-1,163 mg/kg). Kandungan logam Cd pada sedimen di ketiga lokasi tersebut telah melewati standar baku mutu.
2. Berdasar status pencemar, kandungan logam Cd belum memperlihatkan dampak pada tingkat komunitas makrozoobentos berdasarkan nilai komposisi, kelimpahan dan indeks ekologi.
3. Spesies makrozoobentos yang berpotensi sebagai indikator positif dalam pencemaran logam berat pada penelitian ini, antara lain: *Gafrarium tumidium*, *Tellina* sp., *Nerita* sp., *Melanoidea torulosa*, *Strombus* sp., *Balanus* sp. dan *Clithon ovalaniensis*. Sedangkan yang berpotensi sebagai indikator negatif antara lain: *Donax* sp. dan *Polinices melanostomus*.

B. Saran

Diperlukan kajian yang lebih ekstensif terhadap spesies-spesies yang berpotensi sebagai bioindikator pencemaran logam untuk melihat kekonsistenan dalam skala waktu dan ruang.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA, 1992. Standart Methods for the Examination of Water and Waste Water. 18th edition. Washington.
- Ardi, 2002. Pemanfaatan Makrozoobentos Sebagai Indikator Kualitas Perairan Pesisir. Tugas Mata Kuliah Falsafah Sains (PPs 702). Program Pasca Sarjana (S3). Institut Pertanian Bogor.
- Arifin, 2005. Penyusunan Buku Ajar Biologi Laut untuk Meningkatkan Motivasi Belajar Mandiri Mahasiswa. Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin.
- Asfiah, A., 2006. Hubungan Komposisi dan Kelimpahan Makrozoobentos dengan Parameter Oseanografi di Perairan Pesisir Kabupaten Pangkep. [Skripsi]. Jurusan Ilmu Kelautan, FIKP. Universitas Hasanuddin.
- Aziz, A. 1994. Beberapa Catatan tentang Cacing Indikator Pencemaran Laut *Capitella capitata*. Oseana, Volume XIV. Nomor 4: 123-131.
- BAPEDALDA, 2003. Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Makassar 2003. Parameter Basis Data Lingkungan Hidup Daerah. BAPEDALDA Makassar.
- BPS, 2005. Sulawesi Selatan dalam Angka. Badan Pusat Statistik. Kabupaten Jeneponto.
- Cardell M. J., R. Sarda, J. Romero., 1999. Spatial Change in Sublittoral Soft-Bottom Polychaeta Assemblages Due to River and Sewage Discharges. *Acta Oecologica* 20(4): 343-351.
- Chuan, L. L., Isao Sugahara, 1984. An Manual on Chemical Analysis of Coastal Water and Bottom Sediment. Primary Production Department Marine Fisheries Research Department. Singapore.
- Darmono, 1995. Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Dharma, B., 1988. Siput dan Kerang Indonesia. PT. Sarana Graha. Jakarta.
- Djaya, R. K., 2006. Akibat Limbah Pestisida Teluk Kendari Tercemar Merkuri dan Kadmium. Suara Karya Online
- Edward dan Tarigan, Z. 1987. Pengamatan Pendahuluan Kadar Pb, Cd, Cu, dan Zn dalam Air dan Biota di Teluk Ambon. Teluk Ambon :106-111.
- Fabries, G. J., Werner, G. F., 1994. Characterisation of Toxicants In Sediments from Port Philip Bay: Metal Final Report. Department of Conservation and Natural Resources. Melbourne. Australia.
- Frontier, S. 1985. Diversity and Structure in Aquatic Ecosystem. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 23: 253-312

- Lee, C. D., S. B. Wang and C. L. Kuo, 1978. Benthic Macroinvertebrate and Fish as Biological Indicators of Water Quality, with Reference to Community Diversity Index. dalam E.A.R. Guano. B.N. Lokani and M.C. Thank (Ed.). Water Pollution Control in Developing Countries. Asian Inst. Tech. Bangkok. P: 233-238.
- Levinton, S. J. 1982. Marine Ecology, State University of New York. New York.
- Leiwakabessy, F. 2005. Logam Berat di Perairan Pantai Pulau Ambon dan Korelasinya dengan Kerusakan Cangkang, Rasio Seks Ukuran Cangkang, Kepadatan Individu dan Indeks Keragaman Jenis Siput Nerita (Neritidae: Gastropoda). Airlangga University Library. Surabaya.
- Mubiana, V. K., R. Blust, K. Hagos, HP. Kokwenda, E. Okuku. 2006. Environmental Contamination and Bioavailability of Sediment Bound Heavy Metals from Selected Locations Along the East Coast of Africa [abstract]. Laboratory for Ecophysiology Biochemistry and Toxicology.
- Nybakken, J.W., 1992. Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologis. H. M. Eidman, Koesbiono, D. G. Bengen, M. Hutomo, dan S. Sukarjo, penerjemah. PT. Gramedia, Jakarta. Terjemahan dari Marine Biology An Ecological Approach.
- Odum EP., 1993. Dasar-Dasar Ekologi. Edisi ketiga. Yogyakarta. Universitas Gajah Mada Press.
- Oey, B. L., R. E. Soeriaatmadja, W. Parjatmo, 1978. Faktor lingkungan Penentu dalam Ekosistem Sungai. Seminar Pengendalian Pencemaran Air Dirjen. Pengairan Dept. PU-RI. Bandung.
- Palar, H., 2004. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. PT. Rineka Cipta, Jakarta.
- Pirzan, M. A. dan P. R. Pong-Masak. 2005. Keragaman Makrozoobentos di Kawasan Pesisir Dolago Parigi-Moutong, Sulawesi Tengah. Torani, 2(16): 94-98.
- Praseno, D. P., R. Roshita dan S. Hadi, 2000. Foraminifera sebagai Bioindikator Pencemaran. Hasil Studi di Perairan Estuaria Dadap Tangerang. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi (LIPI) : 64-77.
- Pusat Standarisasi Industri Departemen Perindustrian, 2000. Cara Uji Cemaran Logam. SNI 19-2896-1992.
- Rakocinski, C. F., S. S. Brown, G. R. Gaston, R. W. Heard, W. W. Walker and J. K. Summers, 1999. Species-abundance-biomass response by Estuarine Macrobenthos to Sediment Chemical Contamination. Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery 7: 210-204, 2000.
- Roem, M., 2006. Distribusi Timbal (Pb) Pada Beberapa Organ Ikan Kakap Putih (*Lates calcarifer* BLOCH, 1790) di Perairan Muara Sungai Karajae Pare-Pare dan Perairan Muara Sungai Tallo Makassar. [Skripsi]. Jurusan Ilmu Kelautan, FIKP. Universitas Hasanuddin.

- Romimohtarto, K. dan S. Juwana, 2001. Biologi Laut (Ilmu Pengantar tentang Biota Laut). Djembatan. Jakarta.
- Rosenberg, D. M. and V. H. Resh, 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman and Hall, New York. London.
- Rositasari, Ricky, 1996. Keterkaitan Populasi Foraminifera Dengan Beberapa Faktor Lingkungan di Perairan Muara Sungai Dadap, Tangerang. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi (LIPI) : 25-30.
- Samawi, F. M., Latifah K. D., Hartisari H. dan Ety R., 2006. Analisis Beban Pencemaran, Daya Dukung dan Tingkat Pencemaran dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Perairan Pantai Kota Makassar. Torani, 16(2): 127-135.
- Saru, A., Supriadi dan F. Patiung. 2004. Kelimpahan Makrozoobentos Pada Berbagai Tipe Sedimen di Sekitar Perairan Muara Sungai Maros. Torani, 15 (2): 99-105.
- Soul, F.D., G.S. Kleppel, 1988. Marine Organisms as Indicators. Springer-Verlag, New York.
- Suana, W. I. 2001. Laba-laba Sebagai Bioindikator Pada Beberapa Kondisi Lingkungan. Makalah Falsafah Sains (PPs 702). Program Pasca Sarjana / S3. Institut Pertanian Bogor.
- Sulaeman, 2005. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah. Departemen Pertanian.
- Supriharyono, 2000. Pelestarian dan Pengelolaan Sumberdaya Alam di Wilayah Pesisir Tropis. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Supriharyono, 2007. Konservasi Ekosistem Sumberdaya Hayati di Wilayah Pesisir dan Laut Tropis. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Tugiyono, 2006. Struktur Komunitas Plankton Sebagai Bioindikator Kualitas Air DAS Way Tulang Bawang Kabupaten Tulang Bawang Propinsi Tulang Bawang. Dalam Prosiding Seminar Hasil-hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Buku I. November 2006. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Wahyu, S. L, dan M. Widyastuti. Identifikasi dan Pengukuran Parameter-Parameter Fisik Lapangan. Kerjasama Fakultas Geografi-UGM dan Bakosurtanal-BANGDA. Dalam Rangka Proyek MREP. Makassar, Sulawesi Selatan.
- Weis, J. S., 2006. Sources and Fate of Metals in the Marine Environment Presentation at Hasanuddin University. The International Workshop on Marine Heavy Metal Pollution.

Lampiran 1. Hasil analisis parameter pendukung pada kolom air dan sedimen berdasar stasiun di lokasi penelitian

Stasiun	Parameter Air										Parameter Sedimen				
	Suhu (°C)	Salinitas (‰)	DO (mg/L)	pH	arus (m/s)	kedalaman (m)	TSS (ppm)	COD (ppm)	eH (mV)	pH	COD (mg/kg)	% SO ₃	% BOT	Pasir	Lumpur
P1	30.75	16	4.33	8.01	0.12	1.8	152.63	97.6	245.94	7.55	0.029	0.592	25.759	56.61	43.40
P2	31	21	4.46	7.935	0.164	1.3	136	96	248.6	7.23	0.102	0.502	21.12	47.29	52.71
P3	30.5	20.5	4.52	7.97	0.171	2	113.33	100.8	248.25	7.28	0.118	0.773	23.29	30.47	69.55
P4	30.2	27.75	4.61	8.057	0.178	4.2	105.45	104	248.14	7.35	0.017	0.531	32.087	26.09	91.92
T1	31.32	23.25	3.72	8.002	0.311	3.5	152.66	105.6	247.5	7.17	0.032	0.665	34.132	56.30	43.73
T2	31.25	22.75	3.62	8.185	0.215	2.3	173.04	104.8	248.92	7.39	0.011	0.687	33.104	42.92	57.13
T3	31.47	27	3.71	8.327	0.233	0.8	111.39	105.6	247.65	7.45	0.117	0.515	33.4	14.93	85.14
T4	31.42	23.5	4.07	8.415	0.263	1.6	128.95	100	247.78	7.2	0.189	0.735	33.439	26.89	73.18
J1	30.5	11.5	4.61	7.555	0.218	2.1	115.61	89.6	250.36	7.1	0.051	0.358	43.728	6.84	93.17
J2	30.5	15.5	4.16	7.532	0.215	2.5	105.74	89.6	250.17	7.19	0.056	0.366	43.812	9.76	90.27
J3	30.5	16.75	4.34	7.577	0.191	1.8	122.52	92	249.67	7.08	0.033	0.409	37.574	66.98	33.02
J4	30.5	18.25	4.37	7.632	0.185	2.5	91.69	89.6	245.02	7.58	0.01	0.37	36.018	26.99	84.20

Lampiran 2. Nilai parameter pendukung harian di lokasi penelitian

Minggu, 13 Mei 2007

Stasiun	Posisi		Kedalaman (m)	Suhu (°C)	Salinitas (‰)	DO (mg/L)	Kec. Arus (m/s)	Arah Arus (°)	pH	Ket.
	Lintang Selatan (LS)	Bujur Timur (BT)								
P1	4°49'51.8"	119°29'45.1"	1.80	29	21	4.64	0.135	260	8.04	07.00 pagi
P2	4°49'47.6"	119°29'32.7"	1.30	29	25	4.96	0.104	320	8.08	
P3	4°49'55.5"	119°29'26.9"	2.00	29	26	5.12	0.087	10	8.12	
P4	4°49'37.9"	119°29'15.4"	4.20	30	26	5.28	0.132	345	8.33	
P1	4°49'51.8"	119°29'45.1"		32	29	4.28	0.1	260	7.90	13.00 siang
P2	4°49'47.6"	119°29'32.7"		31	34	4.28	0.13	260	8.01	
P3	4°49'55.5"	119°29'26.9"		31	33	4.44	0.12	350	8.08	
P4	4°49'37.9"	119°29'15.4"		31	34	4.12	0.14	300	8.10	
P1	4°49'51.8"	119°29'45.1"		32	7	4.12	0.03	240	8.04	16.00 sore
P2	4°49'47.6"	119°29'32.7"		34	10	4.14	0.19	340	7.85	
P3	4°49'55.5"	119°29'26.9"		34	15	3.89	0.62	160	7.98	
P4	4°49'37.9"	119°29'15.4"		32	26	4.18	0.19	170	8.20	
P1	4°49'51.8"	119°29'45.1"		30	7	4.3	0.214	260	8.06	19.00 malam
P2	4°49'47.6"	119°29'32.7"		30	15	4.5	0.231	210	7.8	
P3	4°49'55.5"	119°29'26.9"		28	8	4.7	0.257	300	7.7	
P4	4°49'37.9"	119°29'15.4"		28	25	4.9	0.248	245	7.6	

Lampiran 2. Sambungan

Selasa, 15 Mei 2007

Stasiun	Posisi		Kedalaman (m)	Suhu (°C)	Salinitas (‰)	DO (mg/L)	Kec. Arus (m/s)	Arah Arus (°)	pH	Keterangan
	Lintang Selatan (L.S)	Bujur Timur (BT)								
T1	5°06'42.5"	119°26'47.6"	3.50	30.5	32	4.10	0.25	25	8.18	07.00 pagi
T2	5°05'39.2"	119°26'47.6"	2.30	30.5	32	3.82	0.22	115	7.89	
T3	5°05'39.2"	119°26'34.2"	0.80	30.3	34	4.40	0.15	235	7.89	
T4	5°05'26.0"	119°26'47.8"	1.60	30.5	32	4.18	0.2	300	8.39	
T1	5°06'42.5"	119°26'47.6"		31.7	17	3.67	0.125	40	7.84	13.00 siang
T2	5°05'39.2"	119°26'47.6"		31.9	19	3.30	0.1	45	8.39	
T3	5°05'39.2"	119°26'34.2"		31.9	19	3.26	0.15	50	8.71	
T4	5°05'26.0"	119°26'47.8"		32.2	20	3.93	0.36	350	8.63	
T1	5°06'42.5"	119°26'47.6"		32.0	24	3.11	0.42	290	8.34	16.00 sore
T2	5°05'39.2"	119°26'47.6"		32.0	21	3.11	0.23	260	8.61	
T3	5°05'39.2"	119°26'34.2"		32.3	31	3.20	0.18	320	8.94	
T4	5°05'26.0"	119°26'47.8"		32.9	23	3.34	0.2	305	8.65	
T1	5°06'42.5"	119°26'47.6"		31.1	20	4.00	0.45	34	7.65	19.00 malam
T2	5°05'39.2"	119°26'47.6"		30.6	19	4.28	0.31	334	7.85	
T3	5°05'39.2"	119°26'34.2"		31.4	24	4.00	0.45	300	7.77	
T4	5°05'26.0"	119°26'47.8"		30.1	19	4.85	0.29	348	7.99	

Lampiran 2. Sambungan

Sabtu, 19 Mei 2007

Stasiun	Posisi		Kedalaman (m)	Suhu (°C)	Salinitas (‰)	DO (mg/L)	Kec. Arus (m/s)	Arah Arus (°)	pH	Keterangan
	Lintang Selatan (LS)	Bujur Timur (BT)								
J1	5°38'04.7"	119°39'13.2"	2.10	29	9	4.16	0.385	229	7.75	07.00 pagi
J2	5°38'07.2"	119°39'10.5"	2.5	29	10	3.68	0.208	230	7.73	
J3	5°38'09.5"	119°39'08.0"	1.80	29	11	4	0.2	255	7.53	
J4	5°38'07.6"	119°39'06.3"	2.50	29	19	3.84	0.2	265	7.65	13.00 siang
J1	5°38'04.7"	119°39'13.2"		32	14	4.28	0.116	20	7.64	
J2	5°38'07.2"	119°39'10.5"		32	25	4.12	0.278	225	7.68	
J3	5°38'09.5"	119°39'09.0"		31	26	4.28	0.200	215	7.8	
J4	5°38'07.6"	119°39'06.3"		31	25	4.44	0.156	250	7.84	16.00 sore
J1	5°38'04.7"	119°39'13.2"		32	13	4.42	0.179	340	7.53	
J2	5°38'07.2"	119°39'10.5"		32	15	4.36	0.174	300	7.42	
J3	5°38'09.5"	119°39'09.0"		32	16	4.62	0.185	260	7.61	
J4	5°38'07.6"	119°39'06.3"		32	16	4.57	0.216	275	7.57	19.00 malam
J1	5°38'04.7"	119°39'13.2"		29	10	5.6	0.192	230	7.3	
J2	5°38'07.2"	119°39'10.5"		29	12	4.48	0.2	226	7.3	
J3	5°38'09.5"	119°39'09.0"		30	14	4.48	0.178	240	7.37	
J4	5°38'07.6"	119°39'06.3"		30	13	4.64	0.166	230	7.47	

Lampiran 3. Ukuran butiran sedimen di lokasi penelitian

ST.	Diameter (mm)	Berat (gr)	% Berat	% Kumulatif	Pasir Kasar (%)	Pasir Sedang (%)	Pasir Halus (%)	Lumpur (%)
P1	2	0.563	0.563	0.563	9.436	20.183	54.178	16.223
	1	3.575	6.574	7.137				
	0.5	5.298	7.297	14.433				
	0.25	20.183	42.175	58.608				
	0.125	25.538	39.530	96.138				
	0.063	28.64	3.639	99.777				
	< 0.063	16.223	0.223	100.000				
	TOTAL	100.02	100.000					
P2	2	3.077	3.077	3.077	7.349	29.945	48.023	14.696
	1	0.839	4.695	7.772				
	0.5	3.433	13.431	21.204				
	0.25	29.945	43.204	64.408				
	0.125	23.21	29.941	94.349				
	0.063	24.813	4.812	99.162				
	< 0.063	14.696	0.839	100.000				
	TOTAL	100.013	100.000					
P3	2				3.274	27.2	45.427	24.131
	1	1.115	1.115	1.115				
	0.5	2.159	2.158	3.273				
	0.25	27.2	27.191	30.465				
	0.125	33.396	33.367	63.852				
	0.063	12.029	12.025	75.877				
	< 0.063	24.131	24.123	100.000				
	TOTAL	100.032	100.000					
P4	2				0	26.09	54.797	37.132
	1							
	0.5							
	0.25	8.09	8.088	8.088				
	0.125	31.971	31.965	40.053				
	0.063	22.826	22.822	62.875				
	< 0.063	37.132	37.125	100.000				
	TOTAL	100.019	100.000					
T1	2				15.106	41.195	27.786	15.949
	1			15.101				
	0.5	15.106	15.101	56.281				
	0.25	41.195	41.180	82.037				
	0.125	15.765	25.756	94.054				
	0.063	12.021	12.017	100.000				
	< 0.063	15.949	5.947					
	TOTAL	100.036	100.000					
T2	2				1.628	41.301	44.625	12.509
	1			1.627				
	0.5	1.628	1.627	42.902				
	0.25	41.301	41.275	75.572				
	0.125	32.691	32.670	87.499				
	0.063	11.934	11.926	100.000				
	< 0.063	12.509	12.501					
	TOTAL	100.063	100.000					

Lampiran 3. Lanjutan

T 3	2	1.127	1.126	2.063	4.674	10.263	84.278	0.864
	1	0.938	0.937	4.670				
	0.5	2.609	2.607	14.825				
	0.25	10.263	10.255	72.302				
	0.125	57.422	57.377	99.137				
	0.063	26.856	26.835	100.000				
	< 0.063	0.864	0.863					
	TOTAL	100.079	100.000					
T 4	2				10.530	16.366	67.806	5.382
	1							
	0.5	10.530	10.521	10.521				
	0.25	16.366	16.353	26.874				
	0.125	38.286	33.258	60.131				
	0.063	29.520	29.495	89.627				
	< 0.063	5.382	10.374	100.000				
	TOTAL	100.084	100.000					
J 1	2				6.84	60.93	41.241	
	1							
	0.5							
	0.25	6.84	6.839	6.839				
	0.125	24.23	24.227	31.066				
	0.063	36.7	36.696	67.762				
	< 0.063	32.241	32.237	100.000				
	TOTAL	100.011	100.000					
J 2	2				9.76	44.75	45.524	
	1							
	0.5							
	0.25	9.76	9.757	9.757				
	0.125	12.52	12.516	22.272				
	0.063	32.23	32.219	54.491				
	< 0.063	45.524	45.509	100.000				
	TOTAL	100.034	100.000					
J 3	2	2.465	2.465	2.465	18.324	6.978	72.713	1.986
	1	3.072	3.072	5.537				
	0.5	12.787	12.787	18.324				
	0.25	6.978	48.656	66.979				
	0.125	48.656	24.057	91.036				
	0.063	24.057	6.978	98.014				
	< 0.063	1.986	1.986	100.000				
	TOTAL	100.001	100.000					
J 4	2				26.999	43.71	40.494	
	1							
	0.5			10.528				
	0.25	10.53	10.528	34.814				
	0.125	24.29	24.286	54.230				
	0.063	19.42	19.417	100.000				
	< 0.063	45.778	45.770					
	TOTAL	100.018	100.000					

Lampiran 4 . Jumlah dan Jenis Makrozoobentos Berdasarkan Stasiun di Beberapa Muara Sungai Muara Sungai

NO	Spesies Makrozoobentos	Pangkajene						Tallo				Boyong										
		P1		P2		P3		P4		Jml		T1	T2	T3	T4	Jml		J1	J2	J3	J4	Jml
	Kelas: Bivalvia																					
1	<i>Gafrerium tumidum</i>	8	5	0	0	0	0	13	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	
2	<i>Aesphis violascens</i>	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	<i>Tellina</i> sp.	2	2	0	0	0	0	4	1	0	0	0	20	20	0	0	0	0	0	1		
4	<i>Batisse violacea</i>	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	<i>Perglypte reticulata</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	<i>Codakia punctata</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
7	<i>Mercia hiantine</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	
8	<i>Donax</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
9	<i>Polymesoda</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kelas: Gastropoda																					
10	<i>Hastula acumen</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	<i>Rhinoclevis aspera</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	<i>Melenoides torulosa</i>	4	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	
13	<i>Strombus</i> sp.	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
14	<i>Cerithidee cinguleta</i>	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	
15	<i>Nante</i> sp.	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	
16	<i>Cithon ovaleniensis</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	<i>Thiara scabra</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
18	<i>Barbetta decussata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	1	
19	<i>Polinices melanosomus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kelas: Polychaeta																					
21	<i>Capitella capitata</i>	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kelas: Crustacea																					
22	<i>Belenus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	0	0	0	7	5	0	3	0	0	8	
	TOTAL	23	10	2	0	0	0	35	16	2	6	20	43	43	5	0	12	7	7	24		

Lampiran 5. Perhitungan indeks keanekaragaman, keseragaman dan dominansi di muara Sungai Pangkajene

Spesies	ni	Jml Jenis (S)	Ln S	K (ind/m ²)	ni/N (Pi)	ni/n ²	ln Pi	Pi ln Pi	H'
Stasiun P1									
Spesies	8	9	2.1972	200	0.348	0.121	-1.056	-0.367	1.559
<i>Gafrarium tumidum</i>	3			75	0.086	0.007	-2.457	-0.211	0.710
<i>Asaphis violascens</i>	2			50	0.057	0.003	-2.862	-0.164	0.151
<i>Tellina</i> sp.	2			50	0.057	0.003	-2.862	-0.164	
<i>Balissa violacea</i>	1			25	0.029	0.001	-3.555	-0.102	
<i>Hastula acumen</i>	1			25	0.029	0.001	-3.555	-0.102	
<i>Codakia punctata</i>	1			25	0.029	0.001	-3.555	-0.102	
<i>Rhinoclavis aspera</i>	4			100	0.114	0.013	-2.169	-0.248	
<i>Melanoides torulosa</i>	1			25	0.029	0.001	-3.555	-0.102	
<i>Strombus</i> sp.	1	575	0.776	0.151	-25.628	-1.559			
TOTAL	23								
Stasiun P2									
Spesies	n	Jml Jenis (S)	Ln S	K (ind/m ²)	ni/N (Pi)	ni/n ²	ln Pi	Pi ln Pi	H'
<i>Gafrarium tumidum</i>	5	5	1.6094	125	0.500	0.250	-0.693	-0.347	1.226
<i>Nerita</i> sp.	1			25	0.077	0.006	-2.565	-0.197	0.762
<i>Cilithon ovalianlensis</i>	1			25	0.077	0.006	-2.565	-0.197	0.291
<i>Tellina</i> sp.	2			50	0.154	0.024	-1.872	-0.288	
<i>Periglypta reificulata</i>	1			25	0.077	0.006	-2.565	-0.197	
TOTAL	10			250	0.985	0.291	-13.567	-1.226	
Stasiun P3									
Spesies	n	Jml Jenis (S)	Ln S	K (ind/m ²)	ni/N (Pi)	ni/n ²	ln Pi	Pi ln Pi	H'
<i>Capitella capitata</i>	2	1	0	50	1		1.000	0.000	0
TOTAL									1

Lampiran 8. Klasifikasi makrozoobentos yang ditemukan di lokasi penelitian

Stasiun	Class	Famili	Spesies
P1	Bivalvia	Veneridae	<i>Gafrarium tumidum</i>
	Bivalvia	Psammobidae	<i>Asaphis violascens</i>
	Bivalvia	Tellinidae	<i>Tellina</i> sp.
	Bivalvia	Corbiculidae	<i>Batissa violacea</i>
	Bivalvia	Terebridae	<i>Hastula acumen</i>
	Bivalvia	Lucinidae	<i>Codakia punctata</i>
	Gastropoda	Cerithidae	<i>Rhinoclavis aspera</i>
	Gastropoda	Thiaridae	<i>Melanoides torulosa</i>
	Gastropoda	Strombidae	<i>Strombus</i> sp.
P2	Bivalvia	Veneridae	<i>Gafrarium tumidum</i>
	Gastropoda	Neritidae	<i>Nerita</i> sp.
	Gastropoda	Neritidae	<i>Cithon ovalaniensis</i>
	Bivalvia	Tellinidae	<i>Tellina</i> sp.
	Bivalvia	Veneridae	<i>Periglypta reticulata</i>
T1	Bivalvia	Veneridae	<i>Marcia hianfina</i>
	Bivalvia	Veneridae	<i>Gafrarium tumidum</i>
	Bivalvia	Tellinidae	<i>Tellina</i> sp.
	Gastropoda	Strombidae	<i>Strombus</i> sp.
	Crustacea	Balanidae	<i>Balanus</i> sp.
	Gastropoda	Potamididae	<i>Cerithidea cingulata</i>
	Gastropoda	Thiaridae	<i>Thiara scabra</i>
T2	Gastropoda	Thiaridae	<i>Melanoides torulosa</i>
	Crustacea	Balanus	<i>Balanus</i> sp.
T3	Crustacea	Balanus	<i>Balanus</i> sp.
	Gastropoda	Muricidae	<i>Nerita</i> sp.
T4	Bivalvia	Tellinidae	<i>Tellina</i> sp.
J1	Bivalvia	Balanidae	<i>Balanus</i> sp.
	Crustacea	Capitellidae	<i>Capitella capitata</i>
J3	Polychaeta	Capitellidae	<i>Capitella capitata</i>
	Bivalvia	Littorinidae	<i>Donax</i> sp.
	Crustacea	Balanidae	<i>Balanus</i> sp.
	Gastropoda	Veneridae	<i>Gafrarium tumidum</i>
J4	Gastropoda	Tellinidae	<i>Tellina</i> sp.
	Bivalvia	Tellinidae	<i>Batissa violacea</i>
	Bivalvia	Corbiculidae	<i>Barbatia deccusata</i>
	Bivalvia	Arcidae	<i>Polymesoda</i> sp.
J4	Bivalvia	Naticidae	
	Bivalvia	Naticidae	

Lampiran 9. Gambar-gambar makrozoobentos yang ditemukan di lokasi penelitian



Capitella capitata

(<http://personal.cityu.edu.hk/%7Ebhworm/sedentary/capitella1>)



Batissa violacea

(<http://members.aol.com/savetheclams/Corbiculidae.html>)



Gafrarium tumidum

(www.conchology.be/.../Label/170000tb/173844.jpg)

BD	0.00208	0.0109	0.0547	-0.0685
PM	0.00208	0.0109	0.0547	-0.0685
D	0.02104	0.1134	0.6013	-0.754

U matrix of the U LAMBDA V' decomposition

P1	0.26879	0.8294	0.165	0.3809
P2	0.08784	0.3787	-0.752	-0.5292
P3	2.3E-06	8E-05	0.0017	-0.0022
T1	0.07513	0.1993	0.0803	0.1282
T2	0.00043	0.0046	0.0193	-0.0088
T3	0.00043	0.0047	0.02	-0.0092
T4	0.9537	-0.299	-0.028	-0.0164
J1	0.00108	0.0115	0.0482	-0.0221
J3	0.00254	0.0259	0.1973	-0.2386
J4	0.06951	0.197	0.5981	-0.7082

Singular and eigenvalues for the SVD (U LAMBDA V')

Singular values	Eigen values	Cumulative % of Eigenvalues
33.4018	1115.7	0.6419
18.0562	326.03	0.8295
10.931	119.49	0.8983
10.3341	106.79	0.9597

Sum of eigenvalues 1738