

**KANDUNGAN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd), TEMBAGA (Cu) DAN SENG
(Zn) PADA AIR DAN SEDIMEN PERAIRAN PELABUHAN KAMAL,
KABUPATEN BANGKALAN - MADURA**

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

Oleh :

AYU DIAZTARI DWI PUTRI

NIM. 125080601111043



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

MALANG

2016

**KANDUNGAN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd), TEMBAGA (Cu) DAN SENG
(Zn) PADA AIR DAN SEDIMEN PERAIRAN PELABUHAN KAMAL,
KABUPATEN BANGKALAN - MADURA**

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

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

**Oleh :
AYU DIAZTARI DWI PUTRI
NIM. 125080601111043**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2016**

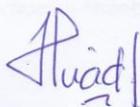
SKRIPSI

KANDUNGAN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd), TEMBAGA (Cu) DAN SENG (Zn) PADA AIR DAN SEDIMEN PERAIRAN PELABUHAN KAMAL, KABUPATEN BANGKALAN - MADURA

Oleh:
AYU DIAZTARI DWI PUTRI
NIM. 125080601111043

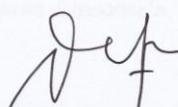
telah dipertahankan didepan penguji
pada tanggal 27 Mei 2016
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Penguji I



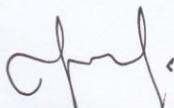
M. Arif Zainul Fuad, S.Kel., M.Sc
NIP. 19801005 200501 1 002
Tanggal : 10 JUN 2016

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I



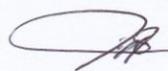
Defri Yona, S.Pi., M.Sc.Stud., D.Sc
NIP. 19781229 200312 2 002
Tanggal : 10 JUN 2016

Dosen Penguji II



Syarifah Hikmah J.S., S.Pi., M.Sc
NIP. 19840720 201404 2 001
Tanggal : 10 JUN 2016

Dosen Pembimbing I



Muliawati Handayani, S.Pi., M.Si
NIK. 2013098810052001
Tanggal : 10 JUN 2016

Mengetahui,
Ketua Jurusan PSPK



Dr. Ir. Daduk Setyohadi, MP.
NIP. 19630608 198703 1 003
Tanggal : 10 JUN 2016



PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan Laporan Skripsi ini benar-benar hasil karya dan pemikiran saya sendiri. Sejauh sepengetahuan saya mengenai topik penelitian skripsi ini tidak pernah ditemukan tulisan, pendapat atau karya orang lain yang pernah dipublikasikan kecuali yang telah tertulis dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka. Penelitian ini merupakan penelitian pribadi oleh penulis dengan bantuan pihak-pihak terkait dalam terlaksananya penelitian ini.

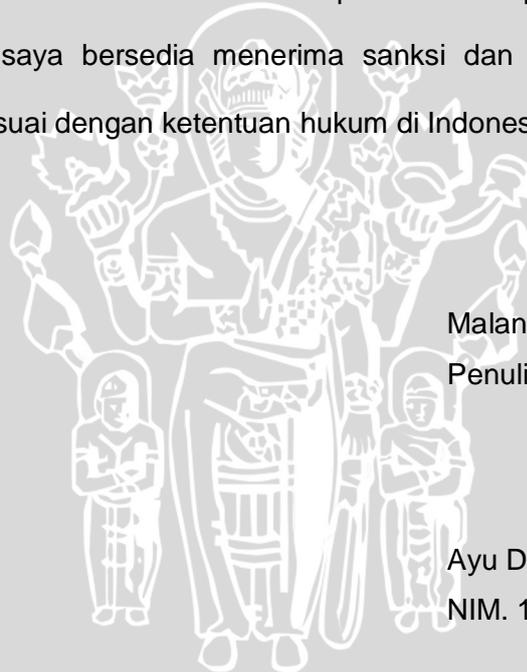
Apabila di kemudian hari terbukti bahwa penulisan skripsi ini merupakan hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi dan konsekuensi atas perbuatan tersebut sesuai dengan ketentuan hukum di Indonesia.

Malang, Maret 2016

Penulis,

Ayu Diaztari Dwi Putri

NIM. 125080601111043



UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT dengan selesainya Skripsi ini. Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Moh. Zahri dan Ibu R. Tuti Rahajuningsih yang telah memberikan dukungan secara moral dan materil serta doa yang tiada hentinya untuk penulis sehingga Skripsi ini selesai. Serta kakak, Prihantono Perdana Putra yang selalu memberikan semangat dan motivasi untuk cepat menyelesaikan Skripsi ini
2. Ibu Defri Yona S.Pi., M.Sc.Stud., D.Sc dan Muliawati Handayani, S.Pi., M.Si sebagai Dosen Pembimbing 1 dan 2 Skripsi yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan serta perbaikan laporan Skripsi ini
3. Bapak M. Arif Zainul Fuad, S.Kel., M.Sc dan Ibu Syarifah Hikmah J.S, S.Pi., M.Sc sebagai Dosen Penguji 1 dan 2 Skripsi yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun demi kebaikan penulis
4. Seluruh Dosen Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya atas ilmu pengetahuan yang diberikan selama masa perkuliahan
5. Ibu Kurnia sebagai laboran di Laboratorium Kimia ITS yang telah membantu dalam pengukuran konsentrasi logam berat
6. Sahabat CCP (Amel dan Lisa), RayDiaFaSa (Alifa, Diah, dan Wini), Tyas, Iin, Yanti, Karen, Diemas, Dani, dan Nanda yang tidak pernah lelah untuk selalu memberikan dukungan kepada penulis
7. Sahabat seperjuangan yang dipertemukan sejak MABA hingga saat ini masih selalu menemani dan memberikan motivasi satu sama lain, Arlin Dwi Noviasri dan Diah Rinani

8. Saudara KOS BW35 Malang yang selalu memberikan perhatian dan motivasi kepada penulis selama merantau di Malang
9. Seluruh mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya angkatan 2012 (POSEIDON)



RINGKASAN

AYU DIAZTARI DWI PUTRI. Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd), Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) pada Air dan Sedimen Perairan Pelabuhan Kamal, Kabupaten Bangkalan – Madura (dibawah bimbingan **Defri Yona** dan **Muliawati Handayani**).

Perairan sekitar Pelabuhan Kamal Kabupaten Bangkalan – Madura merupakan perairan yang banyak mendapat pengaruh dari aktivitas manusia. Aktivitas manusia tersebut diantaranya adalah kegiatan *docking* kapal, pelabuhan penumpang, pemotongan badan kapal rongsok, dan masukan limbah domestik dari area pemukiman. Adanya kegiatan yang begitu padat di sekitar pelabuhan dapat memberikan sumbangan bahan polutan seperti logam berat Cd, Cu, dan Zn, baik di air maupun sedimen yang nantinya dapat mempengaruhi kualitas air laut di sekitarnya. Penelitian tentang kandungan logam berat pada air dan sedimen dirasa perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat kualitas perairan di sekitar Pelabuhan Kamal Kabupaten Bangkalan – Madura.

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 25 Februari – 2 Maret 2016. Sampel air dan sedimen diambil dari 4 stasiun yang terdiri dari stasiun 1 yang merupakan area *docking* kapal, stasiun 2 yang merupakan area Pelabuhan Kamal, stasiun 3 yang merupakan area Dermaga Lama dan dekat dengan area pemukiman, dan stasiun 4 yang merupakan area pemotongan badan kapal rongsok. Hasil pengukuran logam berat pada sampel air dan sedimen menunjukkan nilai yang bervariasi, dengan urutan konsentrasi logam berat Zn > Cu > Cd. Kisaran konsentrasi logam berat Cd, Cu, dan Zn di air secara berturut-turut adalah 0,0806-0,088 ppm, 0,261-0,3441 ppm, dan 0,9973-2,7815 ppm. Kisaran Konsentrasi logam berat Cd, Cu, dan Zn di sedimen secara berturut-turut adalah 6,7-9,6 ppm, 30,3-38,1 ppm, dan 1674-2689 ppm. Bervariasinya konsentrasi logam berat tersebut disebabkan karena adanya perbedaan inputan dari masing-masing logam berat pada setiap stasiun, seperti inputan dari aktivitas *docking* kapal serta pemotongan badan kapal rongsok.

Clustering berdasarkan parameter logam berat dengan lingkungan menghasilkan 2 jenis kelompok, yakni *cluster* pertama terdiri dari stasiun 1 dan 2 dan *cluster* kedua terdiri dari stasiun 3 dan 4. Hal tersebut mengindikasikan bahwa stasiun 1 dan 2 memiliki karakteristik yang sama demikian juga dengan stasiun 3 dan 4, baik dari hasil pengukuran parameter logam berat dan lingkungan maupun faktor jarak antar stasiun. Setara dengan hasil *clustering*, analisa PCA-pun menunjukkan hasil yang sama, dimana stasiun 1 dan 2 berada pada kelompok yang sama demikian juga dengan stasiun 3 dan 4. Hal tersebut didukung dengan hasil PCA yang menunjukkan bahwa stasiun 1 dan 2 berada pada kuadran yang sama dan stasiun 3 dan 4 berada pada kuadran yang berbeda, namun masih berada pada kuadran yang berdekatan.

Kata Kunci : Kualitas Perairan, Logam Berat, Aktivitas Pelabuhan, Pelabuhan Kamal, Madura

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya haturkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena berkat rahmat, inayah dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi yang berjudul "Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd), Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) pada Air dan Sedimen Perairan Pelabuhan Kamal, Kabupaten Bangkalan - Madura". Laporan Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang.

Perlu diketahui bahwa dalam menyelesaikan laporan Skripsi ini penulis menyadari masih banyak kekurangan karena keterbatasan kemampuan yang dimiliki, maka dari itu penulis berlapang dada menerima saran dan kritik yang bersifat membangun. Harapan penulis semoga laporan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Maret 2016

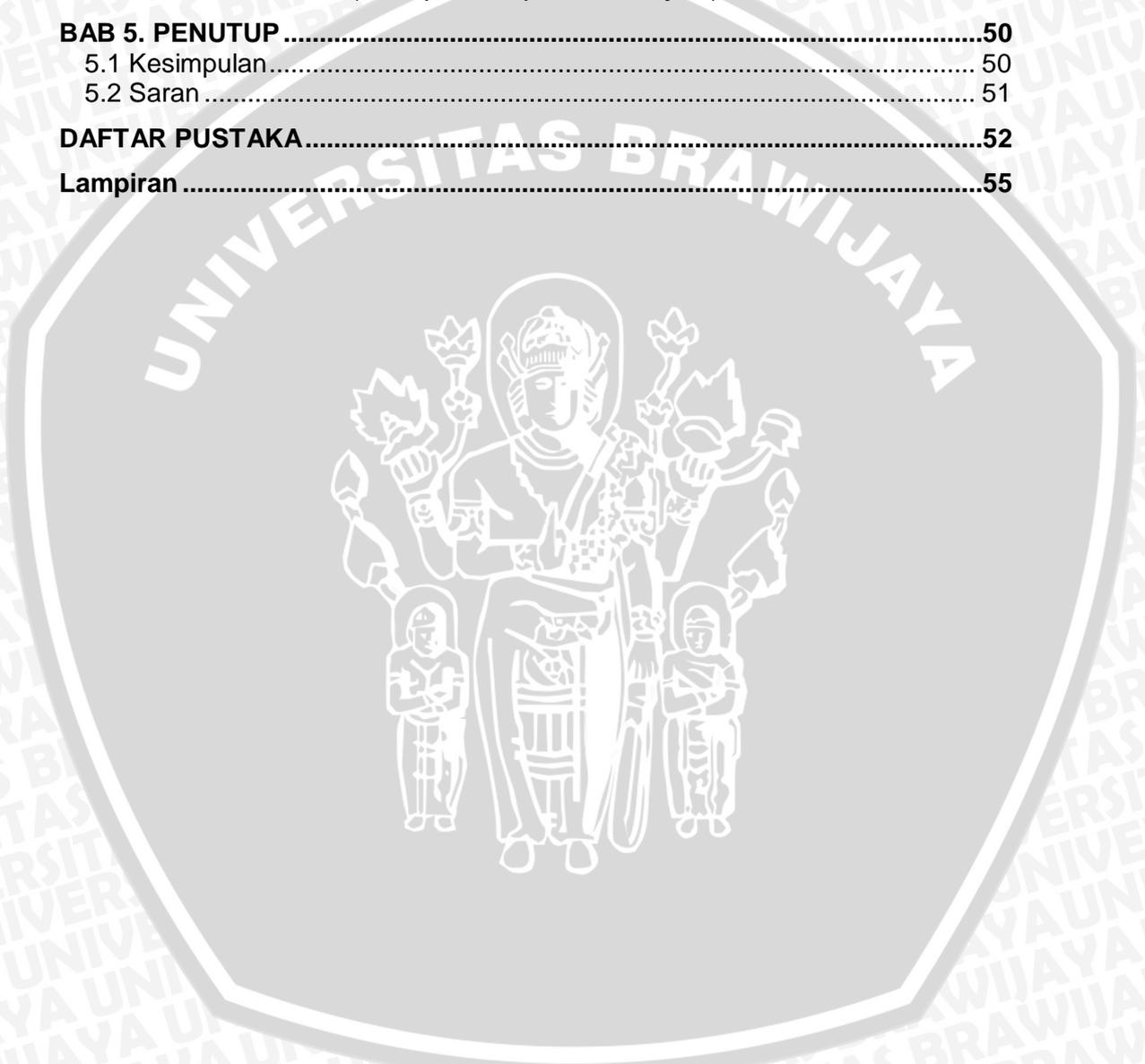
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
RINGKASAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Kegunaan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pencemaran Laut.....	5
2.2 Pencemaran Logam Berat di Lingkungan dan Ekosistem Perairan	5
2.2.1 Kadmium (Cd).....	6
2.2.2 Tembaga (Cu).....	7
2.2.3 Seng (Zn).....	8
2.2 Faktor - Faktor yang Mempengaruhi Konsentrasi Logam Berat	9
BAB 3. METODE PENELITIAN	11
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	11
3.2 Materi Penelitian.....	11
3.3 Penentuan Stasiun Penelitian.....	11
3.4 Alat dan Bahan.....	15
3.4.1 Alat.....	15
3.4.2 Bahan.....	16
3.5 Metode Pengambilan Sampel.....	17
3.5.1 Parameter Lingkungan	17
3.5.2 Sampel Logam Berat di Air Laut	17
3.5.3 Sampel Logam Berat di Sedimen	18
3.6 Analisa Laboratorium	18
3.6.1 Logam Berat di Air Laut.....	18
3.6.2 Logam Berat di Sedimen.....	19
3.7 Analisa Data	19
3.7.1 Analisa Deskriptif	19
3.7.2 Analisa Pengelompokan (<i>Clustering</i>).....	20
3.7.3 Analisa Komponen Utama (PCA).....	20
3.8 Skema Penelitian	21
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	23

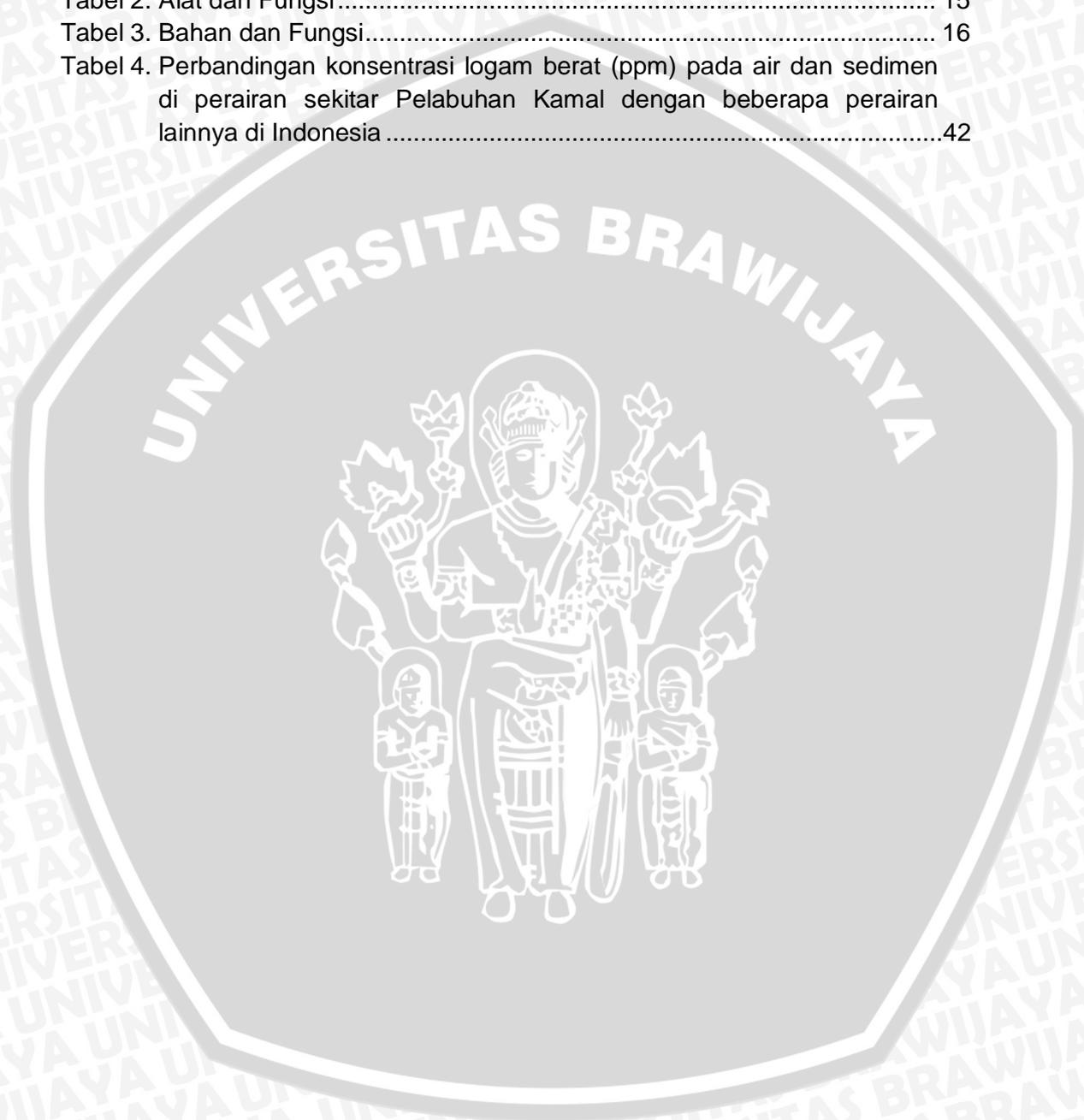


4.1 Parameter Lingkungan.....	23
4.2 Parameter Logam Berat.....	30
4.2.1 Logam Berat Kadmium (Cd).....	30
4.2.2 Logam Berat Tembaga (Cu).....	34
4.2.3 Logam Berat Seng (Zn).....	37
4.3 Hasil Analisa <i>Clustering</i>	43
4.3.1 Analisa <i>Clustering</i> Parameter Lingkungan.....	43
4.3.2 Analisa <i>Clustering</i> Parameter Logam Berat.....	44
4.3.3 Analisa <i>Clustering</i> Parameter Lingkungan dan Logam Berat.....	45
4.4 Hasil Analisa PCA (<i>Principal Component Analysis</i>).....	47
BAB 5. PENUTUP.....	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52
Lampiran.....	55



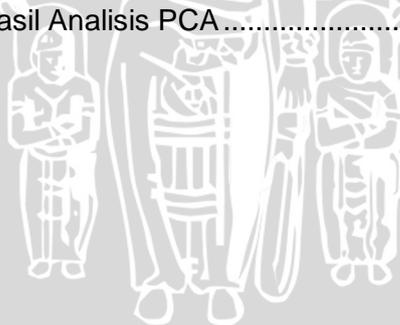
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Posisi Geografis Stasiun Pengambilan Sampel.....	12
Tabel 2. Alat dan Fungsi.....	15
Tabel 3. Bahan dan Fungsi.....	16
Tabel 4. Perbandingan konsentrasi logam berat (ppm) pada air dan sedimen di perairan sekitar Pelabuhan Kamal dengan beberapa perairan lainnya di Indonesia	42



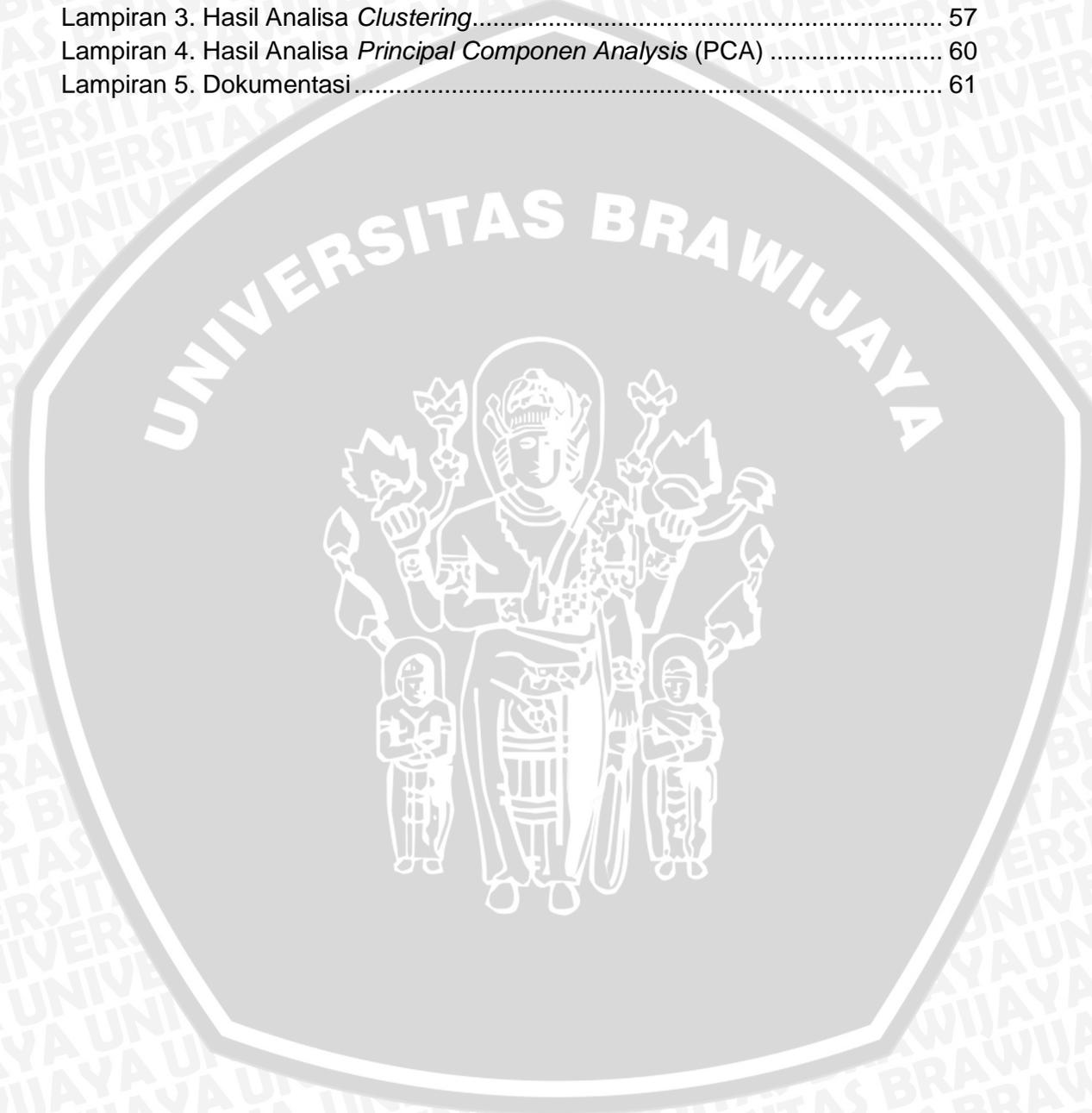
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Stasiun Pengambilan Sampel	12
Gambar 2. Stasiun 1 - <i>Docking</i> Kapal	13
Gambar 3. Stasiun 2 - Pelabuhan Kamal	13
Gambar 4. Stasiun 3 - Dermaga Lama	14
Gambar 5. Stasiun 4 - Tempat Pemotongan Badan Kapal Rongsok	14
Gambar 6. Skema Penelitian	22
Gambar 7. Nilai Suhu Perairan Daerah Penelitian	23
Gambar 8. Nilai Kecerahan Perairan Daerah Penelitian	24
Gambar 9. Nilai Kecepatan Arus Perairan Daerah Penelitian	24
Gambar 10. Konsentrasi Oksigen Terlarut (DO) Perairan Daerah Penelitian	25
Gambar 11. Nilai pH Perairan Daerah Penelitian	25
Gambar 12. Nilai Salinitas Perairan Daerah Penelitian	26
Gambar 13. Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) di Air Laut	31
Gambar 14. Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) di Sedimen	31
Gambar 15. Konsentrasi Logam Berat Tembaga (Cu) di Air Laut	34
Gambar 16. Konsentrasi Logam Berat Tembaga (Cu) di Sedimen	35
Gambar 17. Konsentrasi Logam Berat Seng (Zn) di Air Laut	38
Gambar 18. Konsentrasi Logam Berat Seng (Zn) di Sedimen	38
Gambar 19. Hasil <i>Clustering</i> Parameter Lingkungan	43
Gambar 20. Hasil <i>Clustering</i> Parameter Logam Berat	44
Gambar 21. Hasil <i>Clustering</i> Parameter Lingkungan dan Logam Berat	46
Gambar 22. Grafik <i>Biplot</i> Hasil Analisis PCA	48



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Hasil Pengukuran Parameter Logam Berat	55
Lampiran 2. Hasil Pengukuran Parameter Lingkungan	56
Lampiran 3. Hasil Analisa <i>Clustering</i>	57
Lampiran 4. Hasil Analisa <i>Principal Componen Analysis (PCA)</i>	60
Lampiran 5. Dokumentasi	61



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah pesisir merupakan wilayah penghubung antara daratan dan lautan yang di sekitarnya banyak terdapat aktivitas manusia. Sebagian besar masyarakat pesisir memanfaatkan wilayah pesisir untuk mencukupi kebutuhannya sehari-hari. Aktivitas manusia yang semakin lama semakin padat dapat menimbulkan terjadinya pencemaran, terutama di lingkungan perairan.

Pencemaran lingkungan perairan merupakan masalah yang harus diperhatikan dan sesegera mungkin untuk diatasi. Beberapa penelitian mengenai kualitas air laut di perairan Indonesia menunjukkan konsentrasi yang melebihi batas ambang baku mutu alamiah. Konsentrasi yang melebihi ambang baku mutu alamiah mengindikasikan bahwa suatu perairan mengalami pencemaran.

Salah satu penyebab terjadinya pencemaran perairan adalah aktivitas manusia yang sebagian besar menyumbang bahan polutan ke dalam lingkungan perairan. Bahan polutan tersebut, baik dalam jangka waktu pendek maupun panjang, akan memberikan dampak yang signifikan terhadap ekosistem perairan terutama bagi biota perairan. Aktivitas manusia yang memberikan banyak dampak negatif terhadap kualitas perairan adalah aktivitas di sekitar pelabuhan.

Pelabuhan adalah tempat yang terdiri dari daratan dan perairan yang di sekitarnya terdapat batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, berlabuh, naik turun penumpang dan atau bongkar muat barang yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi (Kep. Men LH No. 51 Tahun 2004). Pelabuhan merupakan sarana transportasi laut sebagai penghubung antar daerah, antar pulau, bahkan antar negara. Kapal-kapal yang

bersandar di sekitar dermaga dapat memberikan sumbangan bahan polutan yang beracun seperti adanya kandungan logam berat. Salah satu pelabuhan yang mungkin dapat memberikan inputan bahan polutan dan menyebabkan penurunan kualitas perairan adalah Pelabuhan Kamal.

Pelabuhan Kamal merupakan sarana transportasi laut yang terletak di Kecamatan Kamal, Kabupaten Bangkalan – Madura. Pelabuhan Kamal yang dikelola oleh PT ASDP Ferry (Persero) merupakan pelabuhan penyeberangan yang berfungsi untuk mengantarkan penumpang dari pulau Madura khususnya penumpang dari Kabupaten Bangkalan menuju Kota Surabaya. Di sekitar Pelabuhan Kamal terdapat area pemukiman yang berdekatan dengan area dermaga lama. Kondisi perairan yang berada di sekitar dermaga lama tersebut dapat dikatakan kumuh karena banyaknya tumpukan sampah yang dibuang langsung ke laut. Selain itu, di sekitar Pelabuhan kamal juga terdapat tempat *docking* kapal yang digunakan untuk kegiatan cat dan perbaikan kapal yang mengalami kerusakan.

Aktivitas manusia seperti pengangkutan penumpang yang terdapat di Pelabuhan Kamal Kabupaten Bangkalan – Madura dan buangan limbah yang berasal dari area pemukiman dan tempat *docking* kapal diduga dapat menyumbang bahan polutan beracun seperti logam berat kadmium (Cd), tembaga (Cu), dan seng (Zn). Menurut Febrita *et al* (2013), perairan pantai pelabuhan dan jalur pelayaran yang di sekitarnya juga dimanfaatkan sebagai tempat *docking* kapal yang bergerak dalam pembuatan industri galangan kapal dapat menyumbang bahan polutan yang mengandung logam berat tembaga (Cu), karena Cu digunakan sebagai campuran bahan pengawet dalam pembuatan galangan kapal. Selain itu, aktivitas industri, emisi dari kendaraan, limbah domestik serta kepadatan dari aktivitas perkapalan yang dekat dengan

pelabuhan dapat berperan sebagai sumber pencemaran logam berat seperti Cd dan Zn (Forstner dan Wittmann, 1981 dalam Idris *et al.*, 2007).

Logam berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen. Kontaminan logam yang berada di sedimen akan diserap oleh organisme benthik yang selanjutnya logam tersebut akan ditransfer dari sedimen ke rantai makanan yang tingkat trofiknya lebih tinggi (Arifin dan Fadhlina, 2009). Mengingat perairan di sekitar Pelabuhan Kamal terdapat aktivitas *docking* kapal dan masukan limbah domestik dari pemukiman, maka hal tersebut diduga dapat menyebabkan terjadinya pencemaran laut. Penelitian tentang kandungan logam berat pada air dan sedimen dirasa perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat kualitas perairan di sekitar Pelabuhan Kamal Kabupaten Bangkalan – Madura.

1.2 Rumusan Masalah

Terdapatnya aktivitas yang begitu padat di sekitar Perairan Pelabuhan Kamal diduga dapat meningkatkan inputan bahan polutan terutama logam berat ke lingkungan perairan. Hal tersebut dikhawatirkan dapat menimbulkan dampak yang sama seperti masalah yang terjadi di Perairan Pelabuhan Tanjung Priok. Putri dan Mihardja (1999), menyatakan bahwa Perairan Pelabuhan Tanjung Priok telah mengalami kemerosotan kualitas perairan ditinjau dari berbagai pengukuran yang telah dilakukan. Penyebab kemerosotan kualitas perairan tersebut lebih disebabkan karena adanya inputan bahan polutan yang sebagian besar merupakan bahan-bahan anorganik seperti logam berat.

Inputan bahan polutan seperti logam berat di lingkungan perairan akan menyebabkan perubahan kualitas perairan yang nantinya dapat mempengaruhi kelangsungan hidup organisme laut. Berkaitan dengan permasalahan tersebut

maka perlu dilakukan peninjauan terhadap kualitas air laut di Perairan Pelabuhan Kamal berdasarkan parameter lingkungan dan logam berat.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui dan mempelajari kondisi wilayah perairan Pelabuhan Kamal, Kab. Bangkalan – Madura ditinjau dari parameter fisika (suhu, kecerahan, dan kecepatan arus) dan kimia (oksigen terlarut (DO), pH, dan salinitas) perairan.
2. Mengetahui dan menganalisis konsentrasi dari masing-masing logam berat kadmium (Cd), tembaga (Cu), dan seng (Zn) pada air dan sedimen di wilayah perairan Pelabuhan Kamal, Kab. Bangkalan – Madura.
3. Menganalisis hasil parameter lingkungan dan logam berat menggunakan metode *clustering* untuk mengetahui kesamaan karakteristik pada masing-masing stasiun pengamatan.

1.4 Kegunaan

Meningkatkan wawasan pengetahuan dan informasi mengenai kondisi kualitas perairan di sekitar perairan Pelabuhan Kamal, Kabupaten Bangkalan – Madura, sehingga dapat dijadikan sebagai informasi untuk melakukan penelitian lebih lanjut.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Laut

Pencemaran laut menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 19 Th. 1999 dapat didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkan secara sengaja makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan laut oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan laut tidak sesuai lagi dengan baku mutu dan/atau fungsinya. Berdasarkan hal tersebut maka diperlukannya baku mutu air laut yang dijadikan sebagai tolak ukur untuk menentukan apakah suatu wilayah laut mengalami pencemaran atau tidak (PP RI No. 19 Tahun 1999).

Pencemaran di wilayah perairan laut dapat disebabkan oleh munculnya zat polutan yang berasal dari berbagai macam kegiatan. Kegiatan tersebut dapat berupa kegiatan pertambangan, aktivitas pelabuhan, tumpahan minyak dan kapal, limbah rumah tangga, dan kegiatan industrialisasi. Limbah-limbah yang tidak dapat terdegradasi selanjutnya akan terakumulasi di wilayah perairan laut sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan khususnya lingkungan perairan (Setiawan, 2014).

2.2 Pencemaran Logam Berat di Lingkungan dan Ekosistem Perairan

Logam berat adalah golongan logam yang memiliki pengaruh jika masuk ke dalam tubuh makhluk hidup. Logam berat di lingkungan akan ikut pada proses rantai makanan. Setiap waktu konsentrasi logam berat di lingkungan perairan meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas manusia di daratan yang mempengaruhi kualitas perairan (Ruaeny *et al.*, 2012). Beberapa logam berat yang dapat menimbulkan pencemaran di lingkungan perairan adalah logam berat kadmium (Cd), tembaga (Cu), dan seng (Zn).

2.2.1 Kadmium (Cd)

Kadmium adalah logam berwarna putih perak, lunak, mengkilap, tidak larut dalam basa, mudah bereaksi, serta menghasilkan kadmium oksida (CdO) bila dipanaskan. Logam kadmium (Cd) memiliki karakteristik menyerupai logam aluminium dan tergolong dalam logam berat yang tahan terhadap korosi. Kadmium (Cd) digunakan untuk elektrolisis, bahan pigmen untuk industri cat, enamel, dan plastik (Istarani dan Pandebesie, 2014).

Keberadaan logam berat kadmium (Cd) dalam sedimen di suatu wilayah perairan laut diduga dapat berasal dari proses-proses alami dan aktivitas masyarakat. Proses-proses alami tersebut seperti abrasi dari sungai. Aktivitas masyarakat yang dimaksud adalah seperti pembuangan limbah pasar dan limbah rumah tangga, serta aktivitas perbaikan dan pengecatan kapal, maupun aktivitas transportasi laut (Rumahlatu, 2011).

Penelitian tentang kontaminasi logam berat kadmium (Cd) pada air dan sedimen permukaan di perairan Segara Anakan yang dilakukan oleh Hidayati *et al* (2014), menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi logam Cd pada air laut adalah 0.024 ppm. Rata-rata konsentrasi Cd dalam air laut tersebut sudah berada di atas baku mutu yang layak bagi biota laut berdasarkan KMNLH No. 51 tahun 2004. Konsentrasi Cd yang tinggi pada sedimen permukaan adalah 35,07 ppm dan 25.96 ppm yang ditemukan pada wilayah perairan yang terdapat aktivitas pelayaran industri, transportasi umum, jalur kapal-kapal nelayan, dan area pemukiman. Tingginya konsentrasi Cd di perairan Segara Anakan disebabkan karena adanya peningkatan jumlah dan aktivitas penduduk, sehingga inputan bahan polutan ke lingkungan perairan juga turut meningkat seiring dengan meningkatnya kegiatan industri dan pelayaran baik domestik maupun non domestik.

2.2.2 Tembaga (Cu)

Logam berat tembaga (Cu) merupakan salah satu logam berat yang tergolong dalam bahan beracun dan berbahaya. Cu banyak dimanfaatkan dalam dunia industri, terutama dalam industri elektroplating, tekstil dan industri logam (*alloy*). Ion Cu dapat terakumulasi di otak, jaringan kulit, hati, pankreas dan miokardium (Fitriyah *et al.*, 2013).

Tembaga (Cu) termasuk dalam kelompok logam berat esensial. Konsentrasi Cu yang rendah dibutuhkan oleh organisme sebagai koenzim dalam proses metabolisme tubuh, tetapi jika dalam konsentrasi yang tinggi akan bersifat racun. Biota perairan sangat peka terhadap kelebihan Cu dalam badan perairan tempat dimana biota tersebut hidup. Konsentrasi Cu terlarut dalam air laut sebesar 0,01 ppm dapat mengakibatkan kematian fitoplankton (Ahmad, 2009). Kematian tersebut disebabkan karena daya racun Cu telah menghambat aktivitas enzim dalam pembelahan sel fitoplankton.

Penelitian mengenai konsentrasi logam berat tembaga (Cu) di perairan laut Dumai Provinsi Riau oleh Febrita *et al* (2013), menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Cu yang tinggi terdeteksi di wilayah pelabuhan. Konsentrasi logam berat Cu tersebut baik di air dan sedimen secara berturut-turut adalah 0.134 ppm dan 3,631 ppm. Konsentrasi logam berat Cu di air tersebut melebihi ambang batas baku mutu yang diperbolehkan berdasarkan Kep. MEN LH No. 51 Tahun 2004 (<0,008 ppm).

2.2.3 Seng (Zn)

Seng (Zn) tergolong dalam elemen esensial. Pada sistem akuatik, Zn memiliki tingkat toksisitas lebih rendah dibandingkan dengan unsur logam berat lainnya. Logam Zn bersifat alkalis dan salinitas perairan sangat mempengaruhi tingkat toksisitas Zn. Tingkat toksisitas letal Zn terhadap ikan bervariasi yakni 0,5 – 5 mg/l dan bahkan dapat mencapai >100 mg/l (Sanusi dan Putranto, 2009).

Seng (Zn) adalah salah satu logam berat yang paling mudah bergerak pada air tanah. Ion seng mudah terserap ke dalam sedimen dan tanah. Kadar seng dalam air sangat dipengaruhi oleh bentuk senyawanya. Seng dapat larut dalam air pada pH asam atau netral (Vogel, 1995 dalam Komala *et al.*, 2008).

Penelitian mengenai kandungan logam berat seng (Zn) di Perairan Teluk Kendari yang dilakukan oleh Amriani *et al* (2011), menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Zn dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air. Hal tersebut menunjukkan terjadinya akumulasi logam Zn pada sedimen sehingga terjadi penumpukan di dasar perairan. Di air laut, logam berat Zn masih bisa bergerak bebas karena adanya pengaruh arus, pasang surut, dan gelombang sehingga terjadinya pengenceran.

Penelitian mengenai indeks pencemaran yang dilakukan oleh Sudirman *et al* (2013), menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat seng (Zn) pada sedimen di perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara Kejawanan Cirebon melebihi dari batas normal yang diperbolehkan. Konsentrasi Zn pada sedimen adalah 88.68 mg/kg. Berdasarkan petunjuk kualitas sedimen yang dikemukakan oleh Febris dan Warner (1994 dalam Sudirman *et al* (2013), konsentrasi maksimum logam Zn dalam sedimen yang dapat ditolerir oleh organisme sebesar 70 mg/kg. Tingginya konsentrasi Zn pada sedimen di perairan pelabuhan tersebut kemungkinan berasal dari cat kapal yang digunakan untuk mencegah korosi.

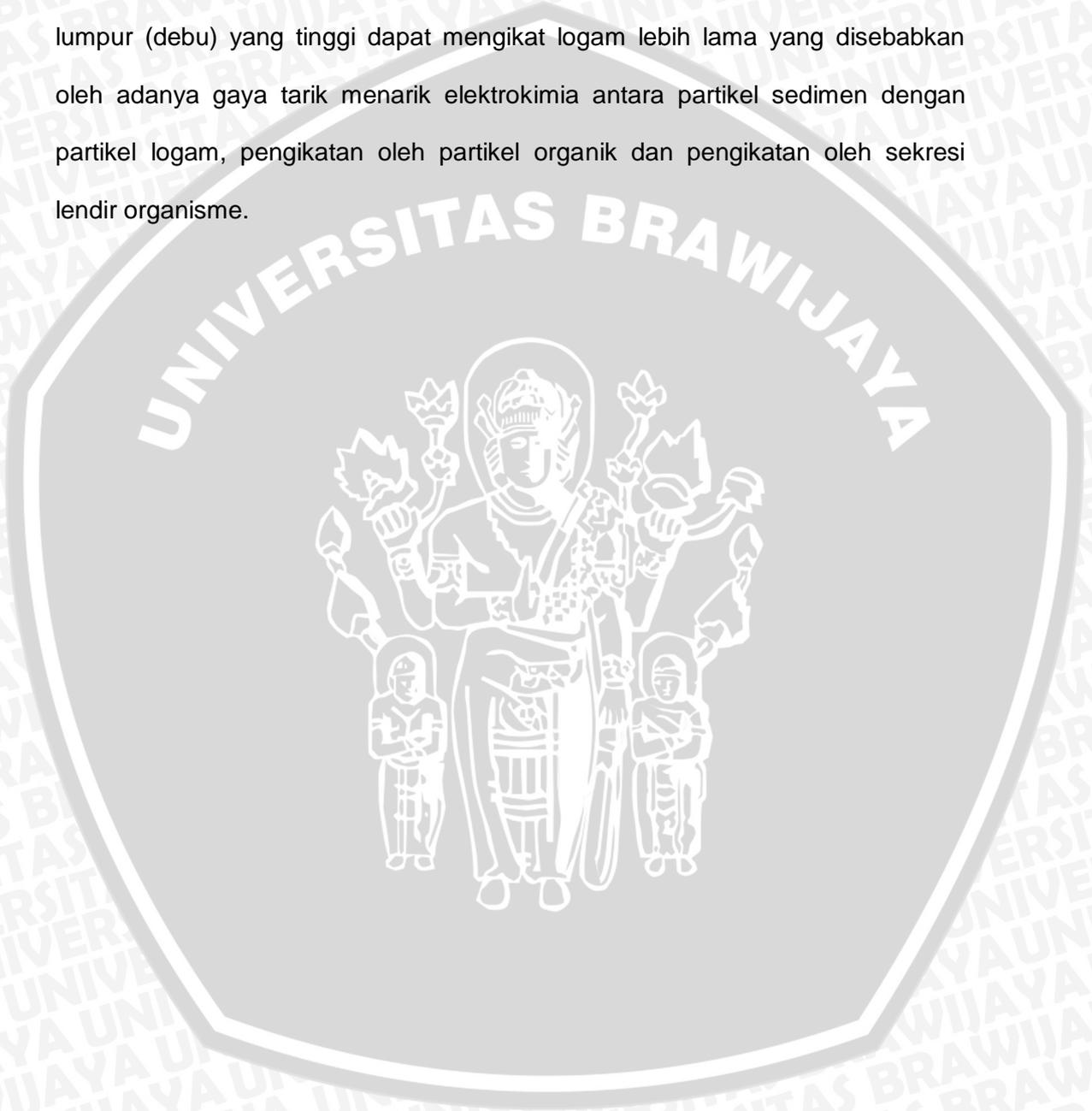
2.2 Faktor - Faktor yang Mempengaruhi Konsentrasi Logam Berat

Konsentrasi logam pada suatu perairan dari waktu ke waktu selalu berubah-ubah, konsentrasinya bisa semakin meningkat maupun sebaliknya menurun. Hal tersebut dapat disebabkan karena adanya pengaruh dari kondisi air sungai dan air laut yang sangat labil. Adanya pergerakan arus, gelombang, curah hujan dan perubahan kondisi lingkungan yang berlangsung terus menerus akibat masuknya air limbah akan mempengaruhi konsentrasi logam berat dalam air (Taftazani, 2007).

Faktor fisika dan kimia perairan akan mempengaruhi konsentrasi logam berat terlarut di perairan. Pola arus juga mempengaruhi keberadaan logam berat dalam air, karena arus perairan dapat menyebabkan logam berat yang terlarut dalam air tersebar dari permukaan ke segala arah (Rochyatun *et al.*, 2006 dalam Eshmat 2014). Cepat lambatnya arus akan mempengaruhi sebaran logam berat di suatu kawasan perairan, dimana perairan yang memiliki arus yang kuat cenderung kandungan logam beratnya tidak tinggi. Hal tersebut disebabkan karena logam berat yang ada di perairan terdistribusi secara merata (Wulan *et al.*, 2013).

Kondisi lingkungan seperti parameter suhu mempunyai pengaruh terhadap keberadaan logam berat di lingkungan perairan. Suhu yang tinggi menyebabkan senyawa logam berat akan larut di air. Berbeda dengan pH, kelarutan logam berat di kolom perairan akan lebih tinggi pada pH yang rendah. Hal tersebut dapat dinyatakan bahwa tingkat toksisitas logam berat akan semakin meningkat pada pH yang rendah atau bersifat asam (Happy *et al.*, 2012). Salinitas juga dapat mempengaruhi keberadaan logam berat di perairan. Penurunan salinitas karena adanya proses desalinasi akan menyebabkan peningkatan daya toksik logam berat dan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar (Erlangga, 2007 dalam Yudiati, 2009).

Tekstur sedimen juga mempengaruhi konsentrasi logam berat yang terkandung dalam sedimen. Meregalli *et al* (2004) dalam Emilia (2013), menyatakan bahwa tipe sedimen lempung berlumpur (lempung berdebu) akan meningkatkan akumulasi logam. Alasannya adalah sedimen dengan fraksi lumpur (debu) yang tinggi dapat mengikat logam lebih lama yang disebabkan oleh adanya gaya tarik menarik elektrokimia antara partikel sedimen dengan partikel logam, pengikatan oleh partikel organik dan pengikatan oleh sekresi lendir organisme.



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di perairan sekitar Pelabuhan Kamal, Kecamatan Kamal Kabupaten Bangkalan – Madura. Penelitian dilaksanakan pada tanggal 25 Februari 2016. Pengukuran konsentrasi logam berat pada sampel air dan sedimen dilaksanakan di Laboratorium Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tanggal 26 Februari hingga 2 Maret 2016.

3.2 Materi Penelitian

Materi yang digunakan dalam penelitian skripsi ini adalah kandungan logam berat yang terdapat pada sampel air dan sedimen yang diambil di sekitar perairan Pelabuhan Kamal Kabupaten Bangkalan – Madura. Kandungan logam berat yang dianalisa terdiri dari logam berat kadmium (Cd), tembaga (Cu), dan seng (Zn). Sampel air dan sedimen diambil dari 4 stasiun yang terdiri dari area *docking* kapal, Pelabuhan Kamal, dermaga lama yang berada di dekat wilayah pemukiman, dan tempat pemotongan badan kapal rongsok.

3.3 Penentuan Stasiun Penelitian

Penentuan stasiun pengambilan sampel air dan sedimen di perairan sekitar Pelabuhan Kamal dilakukan secara *purposive*, yakni penentuan stasiun penelitian berdasarkan informasi yang diperoleh dengan menggunakan pertimbangan tertentu yang pada umumnya disesuaikan dengan tujuan. Penentuan stasiun pengambilan sampel berdasarkan pada wilayah perairan yang sekiranya terdapat limbah yang mengandung logam berat. Stasiun pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Stasiun Pengambilan Sampel

Gambar 1 menunjukkan bahwa terdapat empat stasiun pengambilan sampel. Posisi geografis empat stasiun tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Posisi Geografis Stasiun Pengambilan Sampel

Stasiun Penelitian	Posisi Geografis	
	Garis Lintang	Garis Bujur
1.	07°10.527'	112°43.200'
2.	07°10.563'	112°43.307'
3.	07°10.460'	112°43.651'
4.	07°10.280'	112°43.068'

Stasiun 1

Stasiun 1 terletak di area *docking* kapal. Pada saat penelitian dilakukan terdapat empat buah kapal yang sedang dalam masa perbaikan. Dua kapal diantaranya bersandar di tepi laut dan dua kapal lagi berada di bagian daratan.

Jarak dari titik pengukuran menuju daratan ± 140 meter.



Gambar 2. Stasiun 1 - *Docking Kapal*

Stasiun 2

Stasiun 2 terletak di area Pelabuhan Kamal. Pada pelabuhan ini terdapat beberapa kapal penumpang yang mengantarkan penumpang dari Pelabuhan Kamal Bangkalan menuju Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Jarak antara stasiun 1 menuju stasiun 2 adalah $\pm 0,21$ km dan jarak dari titik pengukuran menuju daratan $\pm 42,2$ meter.



Gambar 3. Stasiun 2 - Pelabuhan Kamal

Stasiun 3

Stasiun 3 terletak di area dermaga lama yang berdekatan dengan wilayah pemukiman. Pada saat penelitian dilakukan terdapat beberapa kapal milik nelayan yang bersandar di tepi dermaga. Jarak antara stasiun 2 menuju stasiun 3 adalah $\pm 0,67$ km dan jarak dari titik pengukuran menuju daratan ± 250 meter.



Gambar 4. Stasiun 3 - Dermaga Lama

Stasiun 4

Stasiun 4 terletak di area pemotongan badan kapal rongsok yang juga berdekatan dengan area pemukiman. Pada saat penelitian dilakukan terdapat satu kapal besar yang sedang dalam proses pembongkaran badan kapal. Jarak antara stasiun 3 menuju stasiun 4 adalah $\pm 0,65$ km dan jarak dari titik pengukuran menuju daratan $\pm 16,81$ meter.



Gambar 5. Stasiun 4 - Tempat Pemotongan Badan Kapal Rongsok

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, baik pengukuran parameter lingkungan pada saat di lapang maupun pengukuran konsentrasi logam berat di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Alat dan Fungsi

No.	Alat	Spesifikasi	Fungsi
1.	GPS	Tipe : 76CSX Garmin Resolusi tampilan : 160 x 240 pixels Waypoints/locations : 1000 Track log : 10.000 points; 20 saved tracks	Mengetahui titik koordinat lokasi pengambilan sampel
2.	Secchi disk	-	Mengukur kecerahan perairan
3.	Salinometer	Tipe: Atago PAL – 06 S Rentang Pengukuran : 0 - 100‰ Resolusi : 1‰	Mengukur salinitas perairan
4.	pH meter	Tipe : pHTestr 30 Waterproof Rentang Pengukuran : - pH = -1.0 – 15.0 - Suhu = 0 - 50°C atau 32 - 122°F Resolusi : - pH = 0,01 - Suhu = 0,1°C	Mengukur derajat keasaman (pH) dan suhu perairan
5.	DO Meter	Tipe : Lutron DO 5510 Rentang Pengukuran : 0–20 mg/l	Mengukur konsentrasi oksigen terlarut
6.	Current meter	Tipe : Flowatch FL-03 Portable Flow Meter Rentang pengukuran : 0,1 – 18 m/s Resolusi : 0,1 m/s	Mengukur kecepatan arus perairan
7.	Ekman grab	-	Sebagai alat pengambilan sampel sedimen
8.	Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)	Tipe : AA – 6800 Shimadzu Optics : Optical single beam / electrical double beam Wavelength range : 190–900 nm Measurement mode : flame continuous and furnace modes	Mengukur konsentrasi logam berat pada sampel air laut dan sedimen
9.	Oven	Tipe : Freas Mechanical Convection Oven 605	Mengeringkan sedimen

No.	Alat	Spesifikasi	Fungsi
		Rentang : $\pm 15 - 325^{\circ}\text{C}$ Kontrol : $0,1^{\circ}\text{C}$	
10.	Botol <i>polyethylene</i>	Volume : 500 dan 1000 ml	Sebagai wadah sampel air laut
11.	Pipet tetes	-	memindahkan larutan HNO_3 ke dalam sampel air
12.	<i>Cool box</i>	Tipe : Styrofoam GG Hard Ukuran : size : 52x37x32 cm	Sebagai wadah penyimpanan sampel air dan sedimen
13.	<i>Washing bottle</i>	Volume : 500 ml	Sebagai wadah <i>aquadest</i>
14.	Kamera <i>digital</i>	Tipe : Nikon Coolpix L820 Resolusi : 16.0 mega piksel	mendokumentasikan kegiatan
15.	Perahu / kapal	-	Sebagai alat transportasi dalam pengambilan sampel

3.4.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, baik pengukuran parameter lingkungan pada saat di lapang maupun pengukuran konsentrasi logam berat di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Bahan dan Fungsi

No.	Bahan	Fungsi
1.	Sampel sedimen laut	Sebagai sampel yang akan diukur konsentrasi logam beratnya
2.	Sampel air laut	Sebagai sampel yang akan diukur konsentrasi parameter fisika dan kimia perairan serta konsentrasi logam beratnya
3.	Kertas label	Memberikan label pada sampel
4.	<i>Aquadest</i>	Membersihkan alat
5.	Tissue	Mengeringkan alat
6.	Karet	Menandai tali <i>secchi disk</i> pada pengukuran kecerahan
7.	HNO_3 (Asam Nitrat)	Pengikat logam berat

3.5 Metode Pengambilan Sampel

3.5.1 Parameter Lingkungan

Parameter lingkungan yang diukur dalam penelitian ini meliputi parameter fisika dan kimia perairan. Parameter fisika perairan yang diukur terdiri dari parameter suhu (pH meter), kecerahan (*secchi disk*), dan kecepatan arus (*current meter*). Parameter kimia perairan yang diukur terdiri dari parameter oksigen terlarut (DO meter), pH (pH meter), dan salinitas (salinometer). Pengukuran parameter lingkungan dilakukan secara langsung (*in situ*) pada saat di lapang dengan melakukan tiga kali pengulangan pada masing-masing stasiun pengamatan.

3.5.2 Sampel Logam Berat di Air Laut

Pengambilan sampel air laut dilakukan secara *composite sampling*. Sampel air diambil dengan jarak ± 15 cm dari permukaan perairan. Tahapan yang perlu dilakukan selama pengambilan sampel air laut adalah persiapan sampling, mensterilkan botol *polyethylene* dengan menggunakan HNO_3 teknis dan *aquadest*, pengambilan sampel air laut, labeling, dan pengawetan sampel.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengambilan sampel air laut adalah membas botol *polyethylene* 500 ml dengan air laut terlebih dahulu, kemudian botol *polyethylene* diisi penuh dengan sampel air laut pada saat di dalam perairan. Tahap berikutnya adalah meneteskan HNO_3 sebanyak 3 tetes ke dalam sampel air laut agar kandungan logam berat di dalam sampel tidak menguap (Febrita *et al.*, 2013). Botol *polyethylene* yang telah terisi sampel air laut kemudian diberi label sesuai dengan stasiun pengambilan sampel.

Sampel air yang telah di *composite* kemudian dimasukkan pada botol *polyethylene* berukuran 1 liter. Sampel air laut yang sudah dimasukkan ke dalam botol *polyethylene* berukuran 1 liter kemudian disimpan dalam *cool box* yang

sudah diisi dengan es batu (Amriani *et al.*, 2011). Pemberian es batu di dalam *cool box* digunakan sebagai pengawet sampel air laut yang disimpan dalam *cool box* (Sustianti *et al.*, 2014).

3.5.3 Sampel Logam Berat di Sedimen

Pengambilan sampel sedimen dilakukan dengan menggunakan *ekman grab*. Sampel sedimen yang diambil merupakan sedimen permukaan dasar perairan dengan kedalaman pengambilan sampel \pm 85 cm dari permukaan perairan. Sebelum *ekman grab* digunakan, terlebih dahulu bilah *stainlees steel* (*jaws*) dibuka dengan menarik tali sling dengan bantuan bola putih dan disangkutkkan pada pin di bagian otomatis mekanikal. *Ekman grab* secara perlahan dimasukkan ke dalam air sampai pada dasar perairan dan pemberat dilepaskan untuk menutup bilah *stainlees steel* (*jaws*). Kemudian *ekman grab* diangkat secara perlahan ke permukaan perairan. Menurut Safitri *et al* (2009), banyaknya sampel sedimen yang diambil adalah 500 gr. Sampel sedimen diambil dengan menggunakan sendok plastik, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik berukuran 1 kg yang sebelumnya sudah dibilas dengan menggunakan air laut (Febrita *et al.*, 2013). Kantong plastik yang berisi sampel sedimen kemudian diberi label dan disimpan dalam *cool box* (Safitri *et al.*, 2009).

3.6 Analisa Laboratorium

Sampel air laut dan sedimen yang diperoleh kemudian diuji kandungan logam beratnya di laboratorium dengan menggunakan perlakuan yang berbeda pada masing-masing sampel.

3.6.1 Logam Berat di Air Laut

Sampel air laut sebanyak 250 ml disaring dengan menggunakan kertas *Whatman*. Hasil saringan kemudian diekstraksi kembali dengan HNO_3 .

Konsentrasi logam berat seperti Cd, Cu, dan Zn dalam sampel air diukur dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

3.6.2 Logam Berat di Sedimen

Sampel sedimen yang diperoleh kemudian dimasukkan dalam cawan petri dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 2 jam. Setelah kering kemudian dihaluskan dengan menggunakan alu dan mortal sampai sedimen menjadi bubuk halus. Sebanyak 5 gram contoh bubuk halus sedimen diasamkan dengan HNO₃. Setelah diasamkan, kemudian sampel dicampur dengan *aquadest* hingga mencapai volume 100 ml. Untuk mendeteksi ada tidaknya kontaminasi selama pengambilan sampel, penyaringan, pengawetan dan transportasi, maka dilakukan Metode Blanko (*control*). Konsentrasi logam berat pada sampel sedimen diukur dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) (Amriani *et al.*, 2011).

3.7 Analisa Data

3.7.1 Analisa Deskriptif

Hasil pengukuran parameter lingkungan dan parameter logam berat pada air dan sedimen di perairan sekitar Pelabuhan Kamal dianalisa secara deskriptif. Analisa deskriptif dilakukan dengan menjelaskan nilai dari hasil pengukuran parameter lingkungan dan konsentrasi logam berat yang terdapat pada sampel air dan sedimen pada masing-masing stasiun pengambilan sampel. Selain itu, analisa ini dapat digunakan untuk mengetahui penyebab dari nilai konsentrasi yang tinggi maupun rendah pada hasil pengukuran parameter lingkungan dan logam berat.

3.7.2 Analisa Pengelompokan (*Clustering*)

Analisa pengelompokan atau *Clustering Analysis* merupakan salah satu metode statistik yang mengelompokkan satu variabel penelitian yang memiliki kedekatan atau kesamaan karakteristik. Metode hierarki adalah salah satu metode yang digunakan dalam analisa *clustering*, dimana teknik pengelompokkannya membentuk suatu konstruksi hierarki atau kelompok tertentu yang nantinya akan menghasilkan suatu dendogram. Dendogram ini menunjukkan hasil analisa *clustering* dengan melihat anggota kelompok yang ada pada setiap cluster (Santoso, 2010).

Analisis *Clustering* yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga tahap pengelompokan. Tahap yang pertama, mengelompokkan parameter lingkungan yang meliputi parameter fisika dan kimia perairan pada masing-masing stasiun pengambilan sampel. Tahap kedua, mengelompokkan kandungan logam berat pada air dan sedimen pada masing-masing stasiun pengambilan sampel. Tahap ketiga, mengelompokkan antara parameter lingkungan (fisika dan kimia perairan) dengan kandungan logam berat pada air dan sedimen pada masing-masing stasiun pengambilan sampel. Pengelompokan ini bertujuan untuk mengetahui kesamaan karakteristik antar stasiun pengamatan.

3.7.3 Analisa Komponen Utama (PCA)

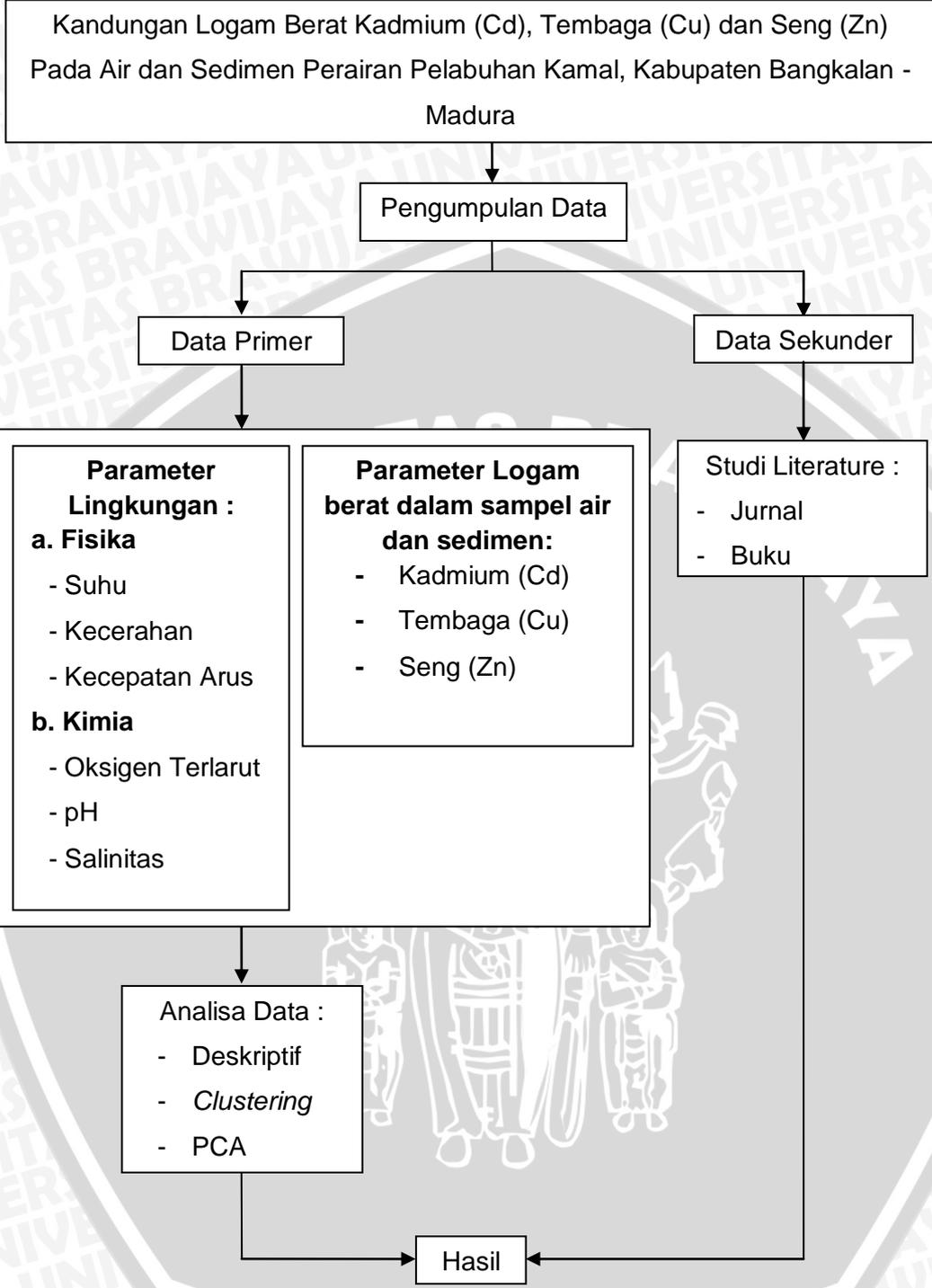
Principal Componen Analysis (PCA) atau sering disebut dengan analisis komponen utama merupakan salah satu metode statistika yang bertujuan untuk melihat hubungan antar komponen utama, yakni parameter logam berat dan parameter lingkungan. Analisis komponen utama dilakukan untuk mengetahui ciri atau karakter yang membedakan setiap stasiun penelitian yang tidak dapat dilakukan dalam analisis *cluster* (Mawaddah *et al.*, 2015).

Metode PCA dalam penelitian dilakukan dengan menggunakan *software* XLSTAT untuk melihat hubungan antara komponen utama dengan stasiun penelitian. Hasil dari analisa PCA ini berupa grafik *biplot* yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara parameter lingkungan dan logam berat dengan stasiun penelitian.

3.8 Skema Penelitian

Skema penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan data hasil pengukuran parameter lingkungan dan logam berat di perairan sekitar Pelabuhan Kamal Kabupaten Bangkalan – Madura ditunjukkan pada Gambar 6.





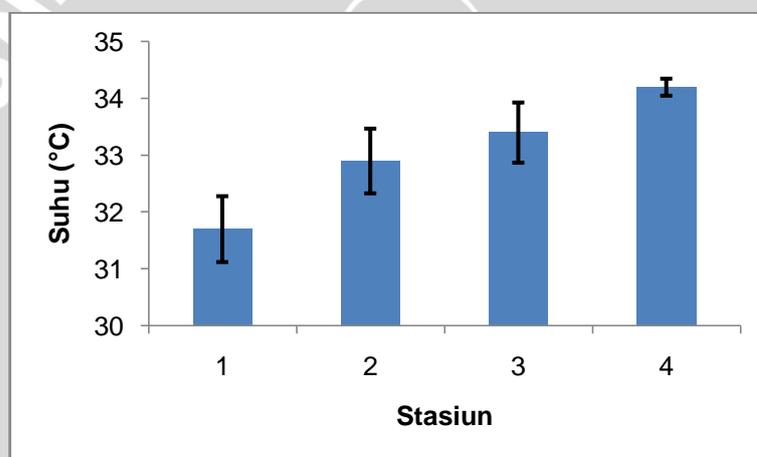
Gambar 6. Skema Penelitian



BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

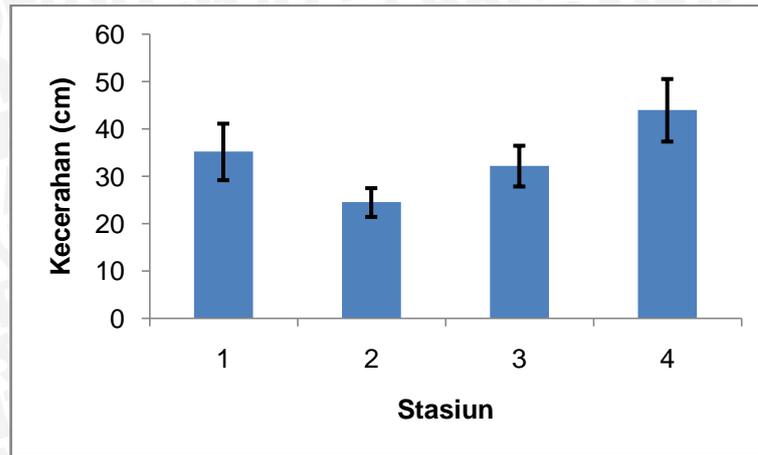
4.1 Parameter Lingkungan

Parameter lingkungan yang diukur meliputi parameter fisika dan kimia perairan di sekitar Pelabuhan Kamal, Kabupaten Bangkalan - Madura. Parameter fisika perairan yang diukur meliputi parameter suhu, kecerahan, dan kecepatan arus. Parameter kimia perairan yang diukur meliputi parameter oksigen terlarut (DO), pH, dan salinitas. Grafik mengenai konsentrasi dari masing-masing parameter lingkungan di daerah penelitian disajikan dalam Gambar 7 hingga Gambar 12.



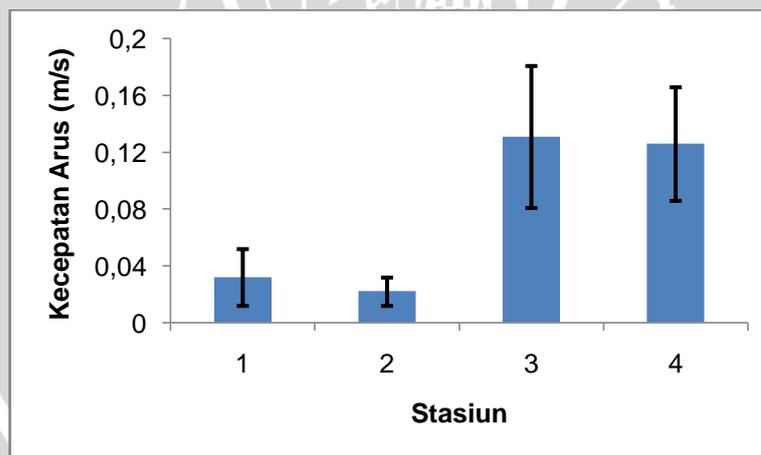
Gambar 7. Nilai Suhu Perairan Daerah Penelitian

Suhu permukaan perairan di stasiun penelitian memiliki nilai yang berbeda-beda dan mengalami peningkatan, dimana semakin menuju ke perairan terbuka yakni stasiun 4 suhu permukaan perairan semakin tinggi. Suhu permukaan perairan di stasiun 1 hingga 4 secara berturut-turut adalah $31,7 \pm 0,58$ °C, $32,9 \pm 0,57$ °C, $33,4 \pm 0,53$ °C, dan $34,2 \pm 0,15$ °C. Gambar 7 menunjukkan bahwa suhu permukaan perairan terendah terdapat pada stasiun 1 dan tertinggi terdapat pada stasiun 4.



Gambar 8. Nilai Kecerahan Perairan Daerah Penelitian

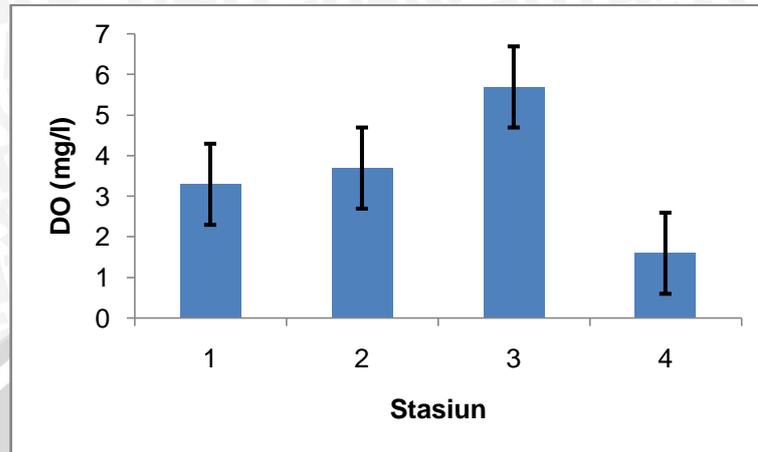
Kecerahan perairan di stasiun penelitian memiliki nilai yang bervariasi, dimana nilai kecerahan perairan pada stasiun 1 hingga 4 secara berturut-turut adalah 35,2±5,97 cm, 24,5±3,04 cm, 32,2±4,31 cm, dan 44±6,61 cm. Gambar 8 menunjukkan bahwa stasiun 4 memiliki nilai kecerahan paling tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya, sedangkan stasiun 2 memiliki nilai kecerahan paling rendah diantara stasiun lainnya.



Gambar 9. Nilai Kecepatan Arus Perairan Daerah Penelitian

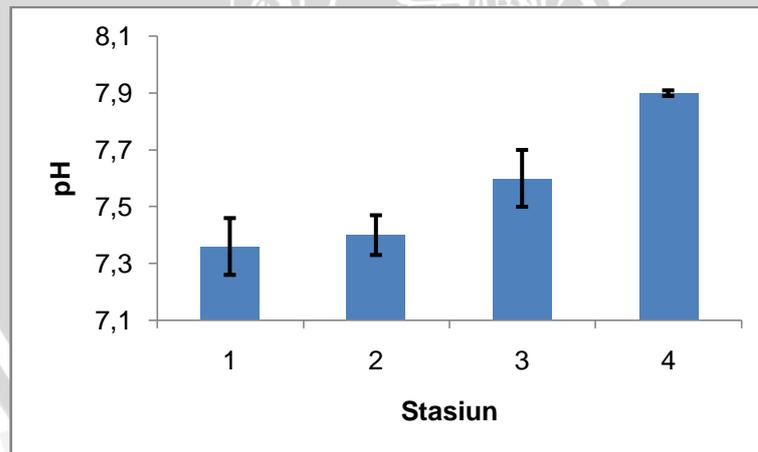
Nilai kecepatan arus di stasiun 1 hingga 4 secara berturut-turut adalah 0,032±0,02 m/s, 0,022±0,01 m/s, 0,131±0,05 m/s, dan 0,126±0,04 m/s. Stasiun 1 dan 2 memiliki nilai kecepatan arus yang tidak jauh berbeda, begitu pula dengan nilai kecepatan arus di stasiun 3 dan 4 yang selisihnya juga tidak jauh berbeda.

Gambar 9 menunjukkan bahwa nilai kecepatan arus tertinggi berada pada stasiun 3 dan terendah berada pada stasiun 2.



Gambar 10. Konsentrasi Oksigen Terlarut (DO) Perairan Daerah Penelitian

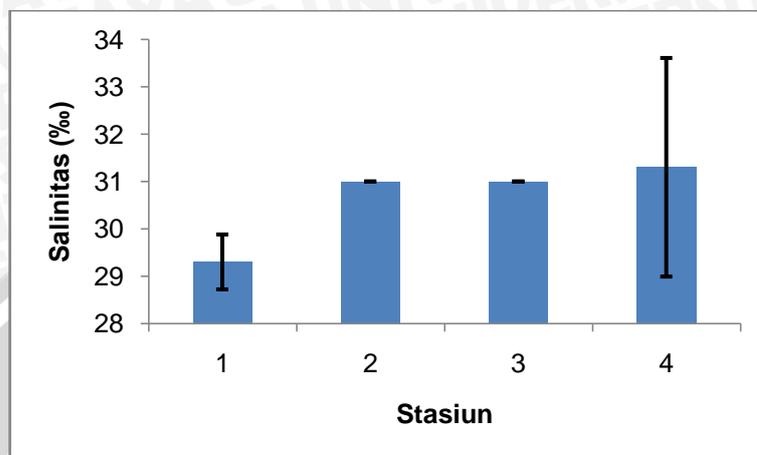
Konsentrasi oksigen terlarut (DO) pada stasiun 1 hingga 4 secara berturut-turut adalah $3,3 \pm 0,3$ mg/l, $3,7 \pm 0,31$ mg/l, $5,7 \pm 0,5$ mg/l, dan $1,6 \pm 0,59$ mg/l. Gambar 10 menunjukkan bahwa stasiun 3 memiliki konsentrasi DO paling tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya, sedangkan stasiun 4 memiliki konsentrasi DO paling rendah diantara stasiun lainnya.



Gambar 11. Nilai pH Perairan Daerah Penelitian

pH perairan di stasiun penelitian memiliki nilai yang berbeda-beda dan mengalami peningkatan, dimana semakin menuju ke perairan terbuka yakni stasiun 4 nilai pH menjadi semakin tinggi. pH perairan di stasiun 1 hingga 4

secara berturut-turut adalah $7,36 \pm 0,1$, $7,4 \pm 0,07$, $7,6 \pm 0,1$, dan $7,9 \pm 0,01$. Gambar 11 menunjukkan bahwa pH perairan terendah terdapat pada stasiun 1 dan tertinggi berada pada stasiun 4.



Gambar 12. Nilai Salinitas Perairan Daerah Penelitian

Salinitas perairan di stasiun 1 hingga 4 secara berturut-turut adalah $29,3 \pm 0,58$ ‰, 31 ± 0 ‰, 31 ± 0 ‰, dan $31,3 \pm 2,31$ ‰. Salinitas perairan di stasiun penelitian memiliki nilai yang hampir relatif sama, kecuali pada stasiun 1. Stasiun 2 dan 3 memiliki salinitas yang sama. Stasiun 4 memiliki nilai salinitas yang selisihnya tidak jauh berbeda dengan nilai salinitas di stasiun 2 dan 3. Gambar 12 menunjukkan bahwa salinitas perairan terendah terdapat pada stasiun 1 dan tertinggi berada pada stasiun 4.

Berdasarkan hasil pengukuran faktor-faktor lingkungan diatas, dapat dilihat adanya *trend* peningkatan nilai dari beberapa parameter dari stasiun 1 ke stasiun 4. Salah satu dari parameter tersebut adalah suhu permukaan perairan. Semakin tingginya suhu permukaan perairan di daerah penelitian disebabkan karena adanya pengaruh dari waktu pengukuran suhu. Tingginya suhu pada stasiun 3 ($33,4^{\circ}\text{C}$) dan 4 ($34,2^{\circ}\text{C}$) disebabkan karena waktu pengukuran suhu yang dilakukan pada siang hari dalam kondisi cuaca yang sangat cerah dan panas. Menurut Effendi (2003) dalam Wahyuni *et al* (2013), suhu dipengaruhi oleh

waktu dalam hari saat melakukan pengukuran. Selain itu, di stasiun 4 terdapat proses pemotongan badan kapal dengan menggunakan mesin tertentu yang menimbulkan asap yang panas, sehingga suhu udara menjadi panas dan mempengaruhi suhu permukaan perairan.

Adanya aktivitas yang cukup padat di stasiun 4 menyebabkan konsentrasi DO di stasiun tersebut berada pada nilai yang paling rendah dibandingkan dengan stasiun lainnya. Selain karena adanya faktor suhu yang tinggi, terdapatnya banyak sampah dan lapisan minyak di permukaan perairan menjadi faktor penyebab rendahnya konsentrasi DO di stasiun 4 dibandingkan dengan stasiun lainnya. Sampah yang berada di sekitar stasiun 4 diduga berasal dari area pemukiman, dimana jarak antara titik pengukuran di perairan dengan daratan $\pm 16,8$ meter. Dekatnya jarak tersebut sangat memungkinkan adanya inputan limbah domestik dari area pemukiman yang mempengaruhi konsentrasi DO di stasiun 4.

Stasiun 3 memiliki konsentrasi DO tertinggi (5,7 mg/l) dibandingkan dengan stasiun lainnya. Meskipun lokasi stasiun 3 yang juga cukup berdekatan dengan area pemukiman, namun konsentrasi DO pada stasiun ini lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 4. Hal tersebut disebabkan karena kondisi stasiun 3 yang pada saat pengukuran dilakukan tidak terlalu mendapat pengaruh dari limbah domestik, karena jarak dari titik pengukuran menuju daratan ± 250 meter. Jarak stasiun 3 dari stasiun 2 yang cukup jauh ($\pm 0,67$ km) juga menyebabkan stasiun 3 tidak terlalu mendapat pengaruh dari aktivitas pelabuhan, sehingga konsentrasi oksigen terlarutnya lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya.

Menurut Huboyo dan Zaman (2007), sebaran temperatur sangat berkaitan dengan sebaran oksigen terlarut (DO), dimana semakin tinggi nilai temperatur maka semakin rendah nilai oksigen terlarut (DO). Akan tetapi, hal tersebut tidak terjadi pada nilai DO antar stasiun penelitian ini. Konsentrasi DO secara berturut-

turut dari stasiun 1 hingga 3 mengalami peningkatan dan menurun secara drastis pada stasiun 4, sedangkan suhu permukaan perairan antar stasiun terus mengalami peningkatan. Hal tersebut diduga adanya pengaruh dari nilai kecerahan perairan yang rendah sehingga perairan menjadi keruh dan menyebabkan konsentrasi DO antar stasiun menjadi tidak konsisten seiring dengan meningkatnya suhu permukaan perairan. Pernyataan tersebut sesuai dengan pernyataan Simanjutak (2012), yang menyatakan bahwa rendahnya konsentrasi oksigen terlarut dapat dipengaruhi oleh tingginya kekeruhan air laut.

Stasiun 2 memiliki nilai kecerahan paling rendah (24,5 cm) dibandingkan dengan stasiun lainnya. Hal tersebut disebabkan karena terdapatnya beberapa sampah yang diduga berasal dari daratan dan penumpang kapal, mengingat lokasi stasiun yang merupakan lokasi pelabuhan dan titik pengukuran berada pada jarak $\pm 42,2$ meter dari daratan. Dekatnya jarak pengukuran di perairan dari daratan sangat mempengaruhi nilai kecerahan, maka dari itu diduga adanya pengaruh dari partikel tersuspensi yang berasal dari limbah domestik di sekitar stasiun 2 yang masuk ke kolom perairan, sehingga membuat warna perairan menjadi berwarna coklat dan tampak keruh.

Kecerahan perairan di seluruh stasiun penelitian dapat dikatakan berada pada nilai yang rendah, hal ini terbukti karena warna perairan yang berwarna coklat dan keruh. Nilai kecerahan perairan yang rendah di seluruh stasiun disebabkan karena adanya aktivitas di sekitar pelabuhan yang menyebabkan masuknya partikel tersuspensi ke kolom perairan. Adanya partikel tersuspensi tersebut menyebabkan penetrasi cahaya matahari tidak dapat menembus kolom perairan hingga kedalaman tertentu.

Rendahnya nilai kecerahan di stasiun 2 dibandingkan dengan stasiun lainnya mungkin juga dipengaruhi oleh pergerakan arus yang mengalir di sekitar stasiun 2. Stasiun 2 memiliki nilai kecepatan arus terendah (0,022 m/s)

dibandingkan dengan stasiun lainnya. Pergerakan arus yang relatif lambat akan menyebabkan partikel tersuspensi yang berasal dari limbah domestik di sekitar stasiun melayang di kolom perairan dan mengendap di dasar perairan, sehingga pada saat pengukuran didapatkan nilai kecerahan yang rendah. Keberadaan partikel tersuspensi maupun inputan limbah domestik di perairan sangat dipengaruhi oleh pergerakan arus.

Rendahnya nilai kecepatan arus pada stasiun 2 dibandingkan dengan stasiun lainnya disebabkan karena terdapatnya beberapa kapal penumpang yang bersandar di area pelabuhan, sehingga angin yang bertiup di atas permukaan air tidak terlalu berpengaruh terhadap kecepatan arus yang mengalir. Stasiun 3 dan 4 memiliki nilai kecepatan arus yang lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 1 dan 2, hal ini disebabkan karena pada stasiun 3 dan 4 cenderung memiliki interaksi langsung dengan perairan terbuka. Sehingga tiupan angin yang bergerak di atas permukaan air dapat mempengaruhi kecepatan arus yang mengalir di stasiun 3 dan 4. Menurut Samsekerta *et al* (2011), faktor utama terjadinya arus permukaan adalah adanya angin yang bertiup di atasnya. Beda halnya dengan lokasi stasiun 1 dan 2 yang letaknya berhadapan dengan pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, sehingga kecepatan arus di lokasi ini masih terhalang oleh transportasi laut lainnya yang biasanya berada di bagian tepi maupun tengah laut.

Tidak hanya parameter suhu yang semakin meningkat nilainya seiring menuju ke perairan terbuka yakni stasiun 4, akan tetapi terdapat parameter pH dan salinitas yang nilainya semakin meningkat dari stasiun 1 hingga 4. Secara keseluruhan pH perairan Kamal tergolong pada nilai yang normal. Perairan laut pada umumnya memiliki pH yang bersifat basa, yakni >7 . Nilai pH air yang normal adalah antara 6-8, sedangkan untuk nilai pH air yang tercemar memiliki

nilai yang berbeda-beda tergantung dari zat pencemarnya (Purba dan Khan, 2010).

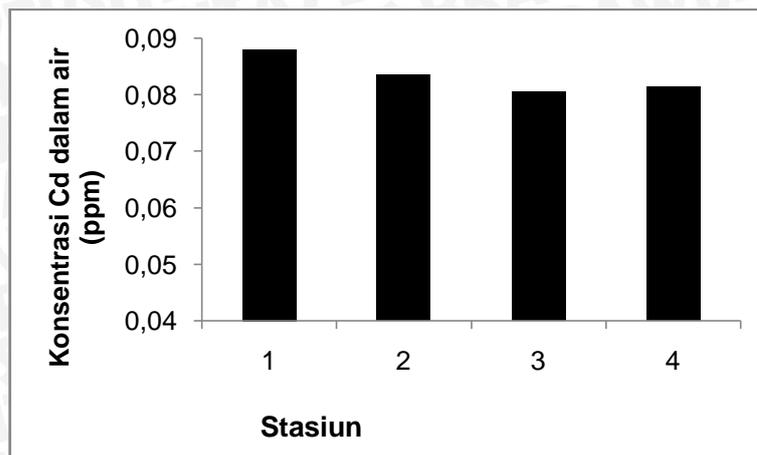
Semakin tingginya suhu permukaan perairan pada stasiun penelitian berbanding lurus dengan salinitas yang juga semakin meningkat dari stasiun 1 hingga 4. Stasiun 2, 3, dan 4 memiliki salinitas yang hampir serupa (31‰-31,3‰), berbeda dengan stasiun 1 yang memiliki salinitas 29,3‰. Rendahnya salinitas di stasiun 1 dibandingkan dengan stasiun lainnya diduga karena adanya masukan air tawar yang berasal dari aktivitas perbaikan dan cat kapal. Air tawar tersebut mungkin saja digunakan untuk membersihkan bagian badan kapal yang sedang dalam masa perbaikan. Pada umumnya salinitas wilayah laut Indonesia berkisar antara 28-33 ‰ (Nontji, 2002 *dalam* Patty, 2013).

4.2 Parameter Logam Berat

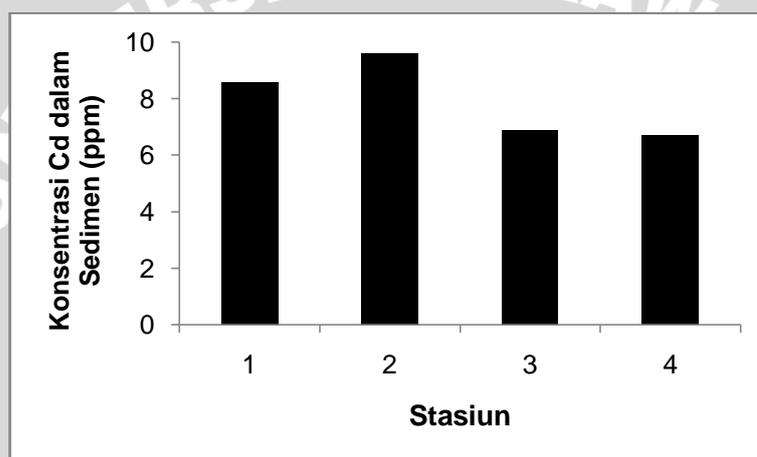
Parameter logam berat yang diukur pada sampel air dan sedimen yang diambil di perairan sekitar Pelabuhan Kamal, Kabupaten Bangkalan – Madura terdiri dari parameter logam berat kadmium (Cd), tembaga (Cu), dan Seng (Zn).

4.2.1 Logam Berat Kadmium (Cd)

Hasil pengukuran logam berat Kadmium (Cd) memiliki rentang nilai 0,0806 - 0,0880 ppm di air laut (Gambar 13) dan 6,7 - 9,6 ppm di sedimen (Gambar 14). Konsentrasi logam berat Cd di air laut pada stasiun 1 hingga 4 secara berturut-turut adalah 0,088 ppm, 0,0836 ppm, 0,0806 ppm, dan 0,0814 ppm. Konsentrasi logam berat Cd di sedimen pada stasiun 1 hingga 4 secara berturut-turut adalah 8,6 ppm, 9,6 ppm, 6,9 ppm, dan 6,7 ppm.



Gambar 13. Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) di Air Laut



Gambar 14. Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) di Sedimen

Konsentrasi logam berat kadmium (Cd) di air laut tertinggi berada pada stasiun 1 dengan konsentrasi sebesar 0,088 ppm dan konsentrasi terendah berada pada stasiun 3 sebesar 0,0806 ppm. Tingginya konsentrasi Cd pada stasiun 1 dibandingkan dengan stasiun lainnya disebabkan karena letak stasiun 1 yang merupakan area *docking* kapal, dimana diketahui bahwa salah satu sumber dari masuknya logam berat Cd dapat berasal dari aktivitas perbaikan dan pengecatan kapal. Hal tersebut didukung dengan adanya 4 kapal yang sedang dalam masa perbaikan di lokasi stasiun 1 pada saat pengambilan sampel air laut dilakukan. Selain itu, stasiun 1 memiliki nilai pH paling rendah dibandingkan dengan stasiun lainnya, sehingga kelarutan logam berat dalam kolom air tinggi

dan menyebabkan konsentrasi logam berat Cd di air pada stasiun 1 lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya.

Hasil konsentrasi logam berat Cd pada sampel air laut di perairan sekitar Pelabuhan Kamal juga hampir serupa dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Siregar *et al* (2014) di Perairan Dumai, dimana rentang konsentrasi Cd di air laut sebesar 0,055 – 0,070 ppm. Dalam penelitian tersebut kandungan logam berat Cd tertinggi ditemukan di lokasi yang terdapat aktivitas kapal, baik kapal penumpang maupun kapal pengangkut barang. Lokasi penelitian tersebut juga berdekatan dengan area pemukiman yang padat penduduknya, sehingga tingginya konsentrasi logam berat Cd diduga juga berasal dari limbah domestik yang dibuang secara langsung ke lingkungan perairan.

Rendahnya konsentrasi Cd di air laut pada stasiun 3 dibandingkan dengan stasiun lainnya disebabkan karena stasiun 3 merupakan lokasi dermaga lama yang sudah tidak terdapat aktivitas pelabuhan. Meskipun demikian, input logam berat Cd di stasiun 3 dapat berasal dari limbah domestik yang mengandung logam berat Cd. Mengingat lokasi dermaga lama yang cukup berdekatan dengan area pemukiman, maka adanya kemungkinan inputan limbah domestik dapat mempengaruhi keberadaan logam berat Cd di lingkungan perairan. Diketahui juga bahwa, logam berat Cd dapat berasal dari limbah domestik yang dibuang secara langsung ke lingkungan laut.

Secara keseluruhan konsentrasi logam berat Cd pada sedimen jauh lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi yang ada pada air laut. Konsentrasi logam berat Cd tertinggi berada pada stasiun 2 dengan konsentrasi sebesar 9,6 ppm dan terendah berada pada stasiun 4 sebesar 6,7 ppm. Tingginya konsentrasi logam berat Cd pada stasiun 2 dibandingkan dengan stasiun lainnya disebabkan karena lokasi stasiun 2 merupakan area Pelabuhan Kamal dan jarak antara stasiun 2 dengan stasiun 1 yang cukup berdekatan. Hal tersebut dapat

mengindikasikan bahwa adanya pengaruh dari aktivitas pelabuhan dan *docking* kapal yang dapat memberikan inputan logam berat Cd. Selain berasal dari aktivitas perbaikan dan pengecatan kapal serta inputan limbah domestik, logam berat Cd juga dapat berasal dari aktivitas transportasi laut. Mengingat lokasi stasiun 2 merupakan area pelabuhan, maka tingginya konsentrasi logam berat Cd diduga dapat berasal dari bahan cat kapal yang ada pada kapal yang bersandar di pelabuhan. Selain itu, adanya akumulasi logam berat Cd dalam sedimen yang pada awalnya berasal dari kolom perairan.

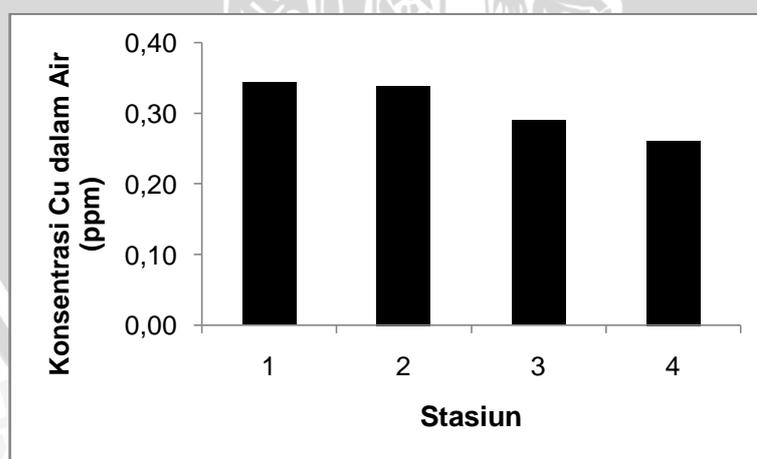
Konsentrasi logam berat Cd di sedimen perairan sekitar Pelabuhan Kamal juga memiliki nilai yang hampir serupa dengan hasil penelitian Purba *et al* (2014) di perairan Tanjung Mas Semarang Utara, yakni memiliki konsentrasi 7,121 ppm. Menurut Purba *et al* (2014), hal tersebut dapat terjadi karena adanya pendugaan peningkatan kandungan Cd di sedimen yang berasal dari limbah industri dan aktivitas perkapalan yang berada di sekitar Perairan Tanjung Mas. Pergerakan arus di stasiun 1 dan 2 juga mempengaruhi tingginya konsentrasi logam berat Cd di sedimen. Stasiun 1 dan 2 memiliki kecepatan arus lebih rendah dibandingkan dengan stasiun 3 dan 4, sehingga akumulasi logam berat di sedimen pada stasiun 1 dan 2 lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 3 dan 4.

Rendahnya konsentrasi logam berat Cd di sedimen pada stasiun 4 dibandingkan dengan stasiun lainnya disebabkan karena stasiun 4 merupakan tempat pemotongan badan kapal yang sudah tidak terpakai lagi. Akan tetapi, konsentrasi logam berat Cd yang berada pada stasiun 3 dan 4 memiliki nilai yang tidak jauh berbeda, hal ini disebabkan karena letak kedua lokasi tersebut berada jauh dari aktivitas pelabuhan dan *docking* kapal. Inputan logam berat Cd yang berada pada stasiun 3 dan 4 diduga berasal dari limbah domestik dan sisa-sisa potongan badan kapal yang sudah tidak terpakai lagi. Badan kapal tersebut pada umumnya terdapat bahan cat kapal yang mengandung unsur logam berat Cd.

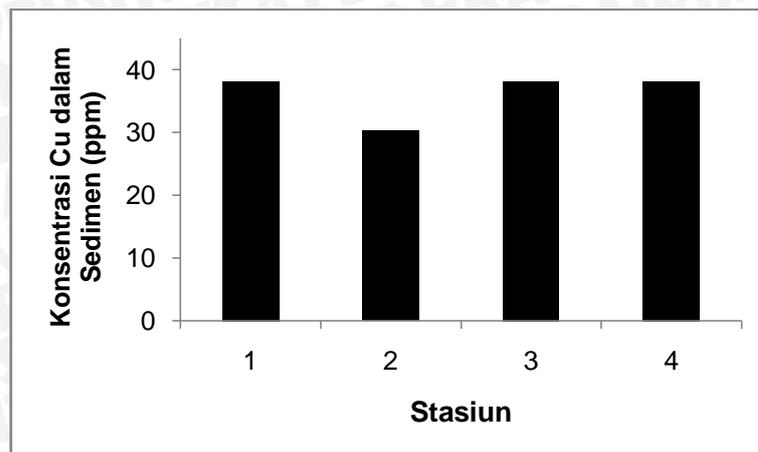
Menurut Hutagalung (1984) dalam Purba et al (2014), proses pengendapan ion logam berat Cd pada sedimen ke kolom perairan juga dipengaruhi oleh suhu perairan. Pembentukan ion logam berat akan semakin meningkat pada suhu yang tinggi sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan proses pengendapan. Pernyataan tersebut sesuai dengan suhu permukaan perairan sekitar Pelabuhan Kamal yang terbilang tinggi dan memiliki rata-rata suhu permukaan perairan sebesar $33,05^{\circ}\text{C}$, sehingga proses pengendapan logam berat Cd pada sedimen semakin meningkat.

4.2.2 Logam Berat Tembaga (Cu)

Hasil pengukuran logam berat Tembaga (Cu) memiliki rentang nilai 0,2610 - 0,3441 ppm di air laut (Gambar 15) dan 30,3 - 38,1 ppm di sedimen (Gambar 16). Konsentrasi logam berat Cu di air laut pada stasiun 1 hingga 4 secara berturut-turut adalah 0,3441 ppm, 0,3387 ppm, 0,2905 ppm, dan 0,261 ppm. Konsentrasi logam berat Cu di sedimen pada stasiun 1 hingga 4 secara berturut-turut adalah 38,1 ppm, 30,3 ppm, 38,1 ppm, dan 38,1 ppm.



Gambar 15. Konsentrasi Logam Berat Tembaga (Cu) di Air Laut



Gambar 16. Konsentrasi Logam Berat Tembaga (Cu) di Sedimen

Konsentrasi logam berat Cu tertinggi di air laut berada pada stasiun 1 dengan nilai 0,3441 ppm dan terendah terdapat pada stasiun 4 dengan konsentrasi sebesar 0,261 ppm. Tingginya kandungan logam berat Cu di air laut pada stasiun 1 dibandingkan dengan stasiun lainnya, disebabkan karena lokasi stasiun 1 yang merupakan area *docking* kapal dan memiliki jarak yang cukup dekat dengan area pelabuhan. Diketahui bahwa, logam berat Cu digunakan sebagai salah satu bahan yang digunakan dalam pembentukan badan kapal. Hal tersebut sudah dapat dipastikan bahwa area *docking* kapal dapat memberikan sumbangan yang besar terhadap kandungan logam berat Cu di lingkungan perairan. Penelitian mengenai kandungan logam berat Cu di air laut pada wilayah pelabuhan juga dilakukan Febrita *et al* (2013), dimana konsentrasinya sebesar 0,134 ppm.

Rendahnya konsentrasi logam berat Cu di air laut pada stasiun 4 dibandingkan dengan stasiun lainnya disebabkan karena lokasi stasiun yang berada jauh dari aktivitas *docking* kapal, sehingga diduga sumber dari adanya kandungan logam berat Cu berasal dari aktivitas pemotongan badan kapal dan masukan limbah domestik yang berasal dari area pemukiman. Apabila dikaitkan dengan nilai pH dan salinitas perairan, maka konsentrasi logam berat Cu dalam

air laut di seluruh stasiun menunjukkan nilai yang semakin menurun seiring dengan bertambahnya nilai pH dan salinitas perairan. Stasiun 1 memiliki nilai pH dan salinitas yang paling rendah dibandingkan dengan stasiun lainnya, sehingga kelarutan logam berat di kolom perairan lebih tinggi. Begitu pula yang terjadi pada stasiun 2 hingga 4, dimana nilai pH dan salinitas semakin meningkat maka konsentrasi logam berat yang terlarut dalam air akan semakin menurun. Nilai DO yang rendah di stasiun 4 menyebabkan kelarutan logam berat Cu di kolom perairan menjadi rendah.

Konsentrasi tertinggi logam berat Cu di sedimen terdapat pada stasiun 1, 3, dan 4 yang memiliki konsentrasi yang sama, yakni 38,1 ppm. Tingginya konsentrasi logam berat Cu pada stasiun 1, 3, dan 4 dibandingkan dengan stasiun 2 disebabkan karena adanya pengaruh dari area *docking* kapal khususnya pada stasiun 1, pengaruh dari masukan limbah domestik yang berasal dari area pemukiman yang cukup dekat dengan stasiun 3 dan 4. Selain itu, stasiun 4 merupakan lokasi pemotongan badan kapal rongsok yang diduga dapat memberikan sumbangan kandungan logam berat Cu pada sedimen. Diketahui bahwa logam berat yang berada di kolom perairan semakin lama akan semakin mengendap di dasar perairan dan akan terakumulasi pada sedimen. Sehingga dapat dipastikan bahwa tingginya konsentrasi logam berat Cu pada sedimen di stasiun 1, 3, dan 4 dibandingkan dengan stasiun 2 disebabkan karena sudah tertumpuknya logam berat Cu di dasar perairan.

Ada pula penelitian Rochyatun dan Rozak (2007) mengenai kandungan logam berat Cu pada sedimen di wilayah pelabuhan sebelah Timur Teluk Jakarta, yang menunjukkan konsentrasi logam berat Cu sebesar 7,46 - 44,94 ppm. Kisaran konsentrasi logam berat Cu tersebut diduga karena lokasi penelitian yang berdekatan dengan Pelabuhan Tanjung Priok, dimana pelabuhan ini dijadikan sebagai jalur transportasi kapal-kapal di sekitar Pelabuhan Tanjung

Priok. Di lokasi penelitian tersebut juga mendapat inputan limbah domestik yang berasal dari area pemukiman yang padat penduduknya, hal tersebut juga menjadi faktor penyebab tingginya kandungan logam berat Cu pada sedimen. Stasiun 3 dan 4 memiliki suhu permukaan perairan yang lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 2, sehingga akumulasi logam berat di sedimen pada stasiun 3 dan 4 juga akan lebih tinggi di bandingkan dengan stasiun 2.

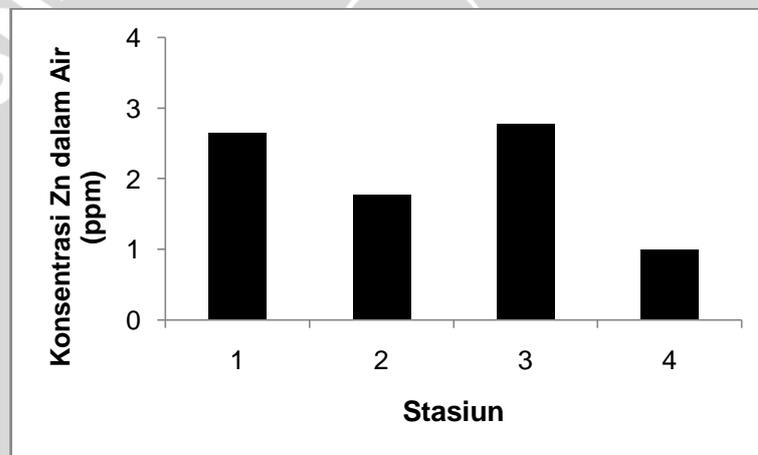
Rendahnya konsentrasi logam berat Cu di sedimen pada stasiun 2 dibandingkan dengan stasiun lainnya diduga karena nilai pH di stasiun 2 (7,4) lebih rendah dibandingkan dengan stasiun 3 dan 4, sehingga proses pengendapan logam berat di sedimen lebih lambat dibandingkan dengan stasiun yang memiliki nilai pH yang lebih tinggi dari stasiun 2. Menurut Fostner dan Prosi (1979) dalam Widiyanti *et al* (2005), kenaikan pH pada badan perairan akan menyebabkan turunnya kelarutan logam berat, sehingga logam berat akan cenderung mengendap dan daya larut logam menjadi rendah. Pernyataan tersebut serupa dengan kondisi pH perairan di stasiun 2 yang lebih rendah dibandingkan dengan stasiun 3 dan 4, sehingga logam berat akan cenderung terlarut di kolom perairan dibandingkan terakumulasi dalam sedimen.

4.2.3 Logam Berat Seng (Zn)

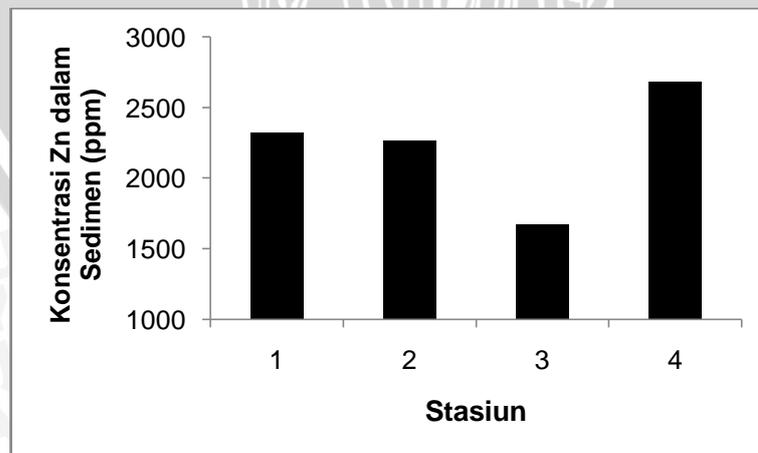
Hasil pengukuran logam berat Seng (Zn) memiliki rentang nilai 0,9973 – 2,7815 ppm di air laut (Gambar 17) dan 1674 - 2689 ppm di sedimen (Gambar 18). Rentang nilai konsentrasi logam berat Zn di stasiun penelitian tersebut tergolong tinggi, hal ini disebabkan karena di sekitar Pelabuhan Kamal terdapat beberapa kapal yang bersandar di tepi laut dan beberapa lokasi stasiun penelitian yang berdekatan dengan area pemukiman. Pelapis anti *fouling* pada cat kapal yang bersandar di sekitar stasiun penelitian diduga terlepas ke lingkungan perairan. Pernyataan tersebut didukung dengan penelitian Yin *et al*

(2015), dimana logam berat Zn juga terdeteksi di lokasi penelitiannya. Penyebab terdeteksinya logam berat Zn di lokasi penelitian tersebut diduga berasal dari pelepasan anti *fouling* pada cat kapal yang berada di sekitar lokasi penelitian. Menurut Rochyatun dan Rozak (2007), terdeteksinya logam berat Zn di lingkungan perairan dapat disebabkan karena adanya inputan limbah domestik dari darat yang padat penduduknya.

Konsentrasi logam berat Zn di air laut pada stasiun 1 hingga 4 secara berturut-turut adalah 2,6487 ppm, 1,7755 ppm, 2,7815 ppm, dan 0,9973 ppm. Konsentrasi logam berat Zn di sedimen pada stasiun 1 hingga 4 secara berturut-turut adalah 2325 ppm, 2267 ppm, 1674 ppm, dan 2689 ppm.



Gambar 17. Konsentrasi Logam Berat Seng (Zn) di Air Laut



Gambar 18. Konsentrasi Logam Berat Seng (Zn) di Sedimen

Konsentrasi tertinggi logam berat Zn di air laut ditemukan pada stasiun 3 dengan konsentrasi sebesar 2,7815 ppm dan terendah berada pada stasiun 4 dengan konsentrasi sebesar 0,9973 ppm. Tingginya konsentrasi logam berat Zn pada stasiun 3 dibandingkan dengan stasiun lainnya disebabkan karena lokasi stasiun 3 yang cukup dekat dengan area pemukiman, sehingga diduga inputan limbah domestik yang masuk ke lingkungan perairan lebih mendominasi dibandingkan dengan aktivitas pelabuhan pada umumnya. Rendahnya konsentrasi logam berat Zn di stasiun 4 dibandingkan dengan stasiun lainnya diduga karena larutnya logam berat Zn di kolom perairan dipengaruhi oleh beberapa parameter lingkungan seperti parameter oksigen terlarut (DO), pH, dan salinitas.

Pada stasiun 4 memiliki konsentrasi oksigen terlarut (DO) terendah (1,6 mg/l) dibandingkan dengan stasiun lainnya, sehingga logam berat Zn yang terlarut di kolom perairan menjadi rendah. Semakin rendah konsentrasi DO maka kelarutan logam berat di lingkungan perairan semakin rendah, hal ini disebabkan karena oksigen terlarut di perairan akan mengoksidasi dan mendekomposisi logam berat menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti nutrisi. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Ramlal (1987) dalam Abida *et al* (2009), bahwa di wilayah perairan yang kekurangan oksigen terlarut maka daya larut logam berat akan menjadi lebih rendah dan mudah mengendap. Stasiun 4 juga memiliki pH (7,9) dan salinitas (31,3 ‰) yang paling tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya, sehingga kelarutan logam berat di lingkungan perairan menjadi rendah. Menurut Rochyatun dan Rozak (2007), penurunan pH akan menyebabkan daya racun logam berat di perairan semakin meningkat. Demikian pula yang terjadi apabila salinitas mengalami penurunan, maka daya toksik logam berat di perairan semakin meningkat dan akumulasi logam berat semakin besar (Erlangga, 2007 dalam Eshmant *et al.*, 2014). Akan tetapi, logam berat Zn di air

laut terdeteksi di seluruh stasiun penelitian khususnya di stasiun 1 yang merupakan area *docking* kapal. Tingginya konsentrasi logam berat Zn di stasiun 1 dibandingkan dengan stasiun 2 dan 4 diduga karena adanya pelepasan anti *fouling* dari cat kapal yang sedang dalam masa perbaikan.

Konsentrasi tertinggi kandungan logam berat Zn di sedimen berada pada stasiun 4 sebesar 2689 ppm dan terendah berada pada stasiun 3 dengan konsentrasi sebesar 1674 ppm. Konsentrasi logam berat Zn di sedimen memiliki nilai yang jauh lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi yang ada pada air laut. Tingginya konsentrasi logam berat Zn pada stasiun 4 dibandingkan dengan stasiun lainnya disebabkan karena lokasi stasiun yang merupakan tempat pemotongan badan kapal rongsok. Sebaran logam berat Zn yang berada di kolom perairan diduga sudah banyak yang mengalami pengendapan di dasar perairan. Sehingga pada saat dilakukan pengukuran konsentrasi logam berat Zn pada sampel sedimen yang diambil di stasiun 4 memiliki konsentrasi yang sangat tinggi dibandingkan dengan konsentrasi logam berat Cd dan Cu. Selain itu, adanya pengaruh dari beberapa parameter lingkungan seperti parameter suhu, pH, dan salinitas. Stasiun 4 memiliki suhu tertinggi ($34,2^{\circ}\text{C}$) dibandingkan dengan stasiun lainnya, sehingga akumulasi logam berat Zn dalam sedimen lebih cepat dibandingkan dengan ketiga stasiun lainnya. Stasiun 4 juga memiliki nilai pH (7,9) dan salinitas (31,3 ‰) yang paling tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya, sehingga proses terakumulasinya logam berat dalam sedimen lebih cepat. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Fostner dan Prosi (1979) dalam Widiyanti *et al* (2005), bahwa kenaikan pH yang menuju basa pada badan perairan akan menyebabkan turunnya kelarutan logam berat, sehingga logam berat akan cenderung mengendap dan daya larut logam menjadi rendah.

Konsentrasi logam berat Zn di sedimen terendah berada pada stasiun 3 dibandingkan dengan stasiun lainnya, hal tersebut disebabkan karena lokasi stasiun yang merupakan area dermaga lama yang sudah tidak terdapat aktivitas pelabuhan maupun perbaikan kapal. Pasifnya aktivitas pelabuhan di sekitar stasiun 3 menjadi salah satu faktor penyebab rendahnya konsentrasi logam berat Zn di sedimen, sehingga inputan logam berat Zn diduga hanya berasal dari limbah domestik yang dibuang secara langsung ke lingkungan laut. Selain itu, kecepatan arus di stasiun 3 lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya sehingga akumulasi logam berat Zn di sedimen lebih rendah dibandingkan dengan stasiun lainnya.

Secara keseluruhan, logam berat Zn terdeteksi dengan konsentrasi yang lebih tinggi di bandingkan dengan konsentrasi logam berat Cd dan Cu di perairan sekitar Pelabuhan Kamal. Hal tersebut disebabkan karena di wilayah perairan Pelabuhan Kamal masih mendapat pengaruh dari aktivitas kapal, baik kapal yang bersandar di pelabuhan maupun kapal yang sedang dalam masa perbaikan. Diketahui bahwa logam berat Zn merupakan salah satu unsur yang digunakan sebagai bahan zat warna dalam cat kapal. Penelitian kandungan logam berat Zn di sedimen juga dilakukan oleh Rochyatun dan Rozak (2007) di perairan sebelah Barat Teluk Jakarta, dimana konsentrasi logam berat Zn menunjukkan rentang nilai sebesar 82,18 - 533,59 ppm. Tingginya konsentrasi logam berat Zn tersebut diduga karena lokasi penelitian yang juga dijadikan sebagai tempat bersandarnya kapal-kapal yang berada di sekitar Pelabuhan Tanjung Priok.

Jenis sedimen dapat mempengaruhi akumulasi logam berat dalam sedimen. Menurut Korzeniewski dan Neugabieuer (1991) dalam Tampubolon *et al* (2013), tipe sedimen dapat mempengaruhi kandungan logam berat dalam sedimen dengan kategori logam berat dalam lumpur > lumpur berpasir >

berpasir. Hal ini sesuai dengan tipe sedimen yang ditemukan di stasiun penelitian, dimana tipe sedimennya berupa lumpur. Pernyataan tersebut menjadi alasan tingginya konsentrasi logam berat dalam sedimen, terutama logam berat Zn yang ditemukan dalam sedimen perairan sekitar Pelabuhan Kamal.

Perbandingan konsentrasi logam berat kadmium (Cd), tembaga (Cu), dan seng (Zn) dalam penelitian ini dengan penelitian di beberapa perairan Indonesia dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan konsentrasi logam berat (ppm) pada air dan sedimen di perairan sekitar Pelabuhan Kamal dengan beberapa perairan lainnya di Indonesia

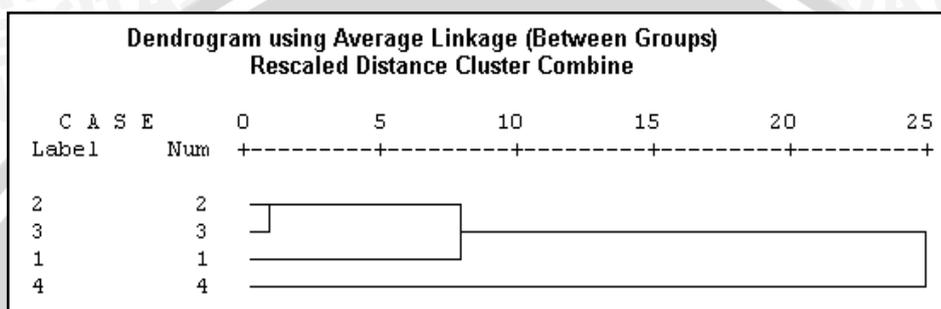
Logam Berat	Perairan Sekitar Pelabuhan Kamal, Kab. Bangkalan (penelitian ini)	Referensi	Keterangan
Air (ppm)			
Kadmium (Cd)	0,0806 - 0,0880	0,024	Perairan Segara Anakan (Hidayati <i>et al.</i> , 2014)
Tembaga (Cu)	0,261 - 0,3441	0,003 - 0,056	Sungai Sayung (Cahyani <i>et al.</i> , 2012)
Seng (Zn)	0,9973 - 2,7815	0,274 - 0,569	Perairan Teluk Kendari (Amriani <i>et al.</i> , 2011).
Sedimen (ppm)			
Kadmium (Cd)	6,9 - 9,6	2,59 - 3,05	Perairan Gresik (Lestari dan Budiyanto, 2013)
Tembaga (Cu)	30,3 - 38,1	190 - 234	
Seng (Zn)	1674 - 2689	158 - 405	

Dari Tabel 4 menunjukkan bahwa secara keseluruhan konsentrasi logam berat Cd, Cu, dan Zn baik di air maupun sedimen perairan sekitar Pelabuhan Kamal tergolong tinggi dan tercemar. Konsentrasi logam berat Cd, Cu, dan Zn di perairan tersebut melebihi batas konsentrasi logam berat dari beberapa penelitian lainnya, kecuali untuk logam berat Cu di sedimen yang masih berada di bawah batas konsentrasi tercemar.

4.3 Hasil Analisa *Clustering*

4.3.1 Analisa *Clustering* Parameter Lingkungan

Analisa *clustering* parameter lingkungan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kesamaan karakteristik antar stasiun penelitian ditinjau dari hasil pengukuran parameter fisika dan kimia perairan. Hasil *clustering* parameter lingkungan berupa dendrogram dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Hasil *Clustering* Parameter Lingkungan

Gambar 19 menunjukkan bentuk dendrogram hasil *clustering* parameter lingkungan dengan menggunakan *software* SPSS. Dendrogram tersebut menggambarkan bahwa dari 4 stasiun penelitian terdapat dua kelompok cluster yang memiliki tingkat kesamaan karakteristik yang serupa. Kelompok pertama terdiri dari stasiun 2, 3, dan 1. Kelompok kedua hanya terdiri dari stasiun 4.

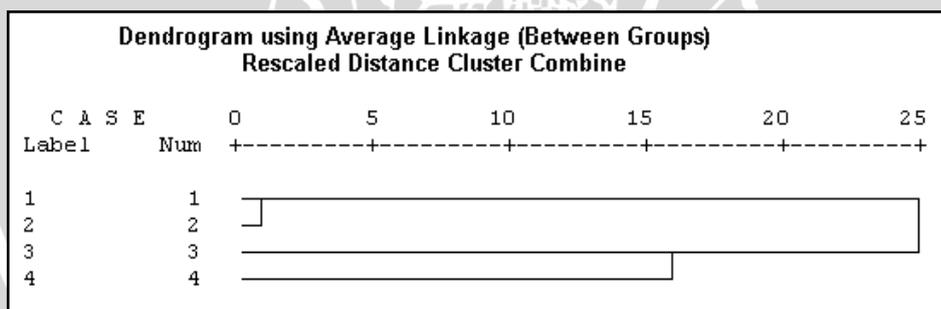
Kelompok pertama terdiri dari 3 stasiun yaitu stasiun 2, 3, dan 1, ketiga stasiun tersebut merupakan lokasi kapal-kapal yang masih aktif dipakai. Ada beberapa nilai parameter lingkungan di stasiun 1 dan 2 yang memiliki selisih yang cukup kecil seperti nilai kecepatan arus (stasiun 1 sebesar 0,032 m/s dan stasiun 2 sebesar 0,022 m/s), pH (stasiun 1 sebesar 7,36 dan stasiun 2 sebesar 7,4), dan DO (stasiun 1 sebesar 3,3 mg/l dan stasiun 2 sebesar 3,7 mg/l). Beberapa nilai parameter lingkungan di stasiun 2 dan 3 juga ada yang sama atau memiliki selisih yang cukup kecil, diantaranya adalah salinitas (stasiun 1 dan stasiun 2 sama-sama memiliki nilai 31 ‰) dan suhu permukaan (stasiun 2

sebesar 32,9°C dan stasiun 3 sebesar 33,4 °C). Nilai parameter kecerahan pada stasiun 1 dan 3 hanya memiliki selisih yang kecil, dimana nilai kecerahan pada stasiun 1 sebesar 35,2 cm dan stasiun 3 sebesar 32,2 cm.

Kelompok kedua hanya terdapat stasiun 4, hal ini disebabkan karena jarak lokasi stasiun 4 yang sangat jauh diantara jarak stasiun lainnya. Selain itu, terdapat beberapa parameter lingkungan yang nilainya memiliki selisih yang cukup besar dibandingkan dengan stasiun lainnya seperti parameter kecerahan (44 cm) dan DO (1,6 mg/l).

4.3.2 Analisa *Clustering* Parameter Logam Berat

Analisa *clustering* parameter logam berat pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kesamaan karakteristik antar stasiun penelitian ditinjau dari hasil pengukuran parameter logam berat pada air dan sedimen. Hasil *clustering* parameter logam berat berupa dendrogram dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Hasil *Clustering* Parameter Logam Berat

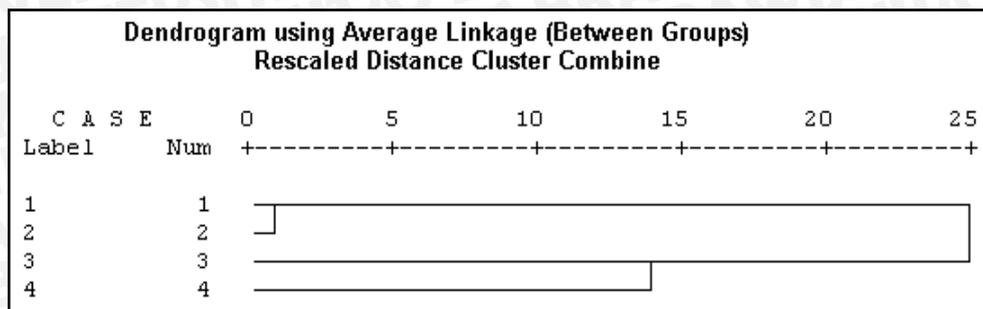
Gambar 20 menunjukkan bentuk dendrogram hasil *clustering* parameter logam berat dengan menggunakan *software* SPSS. Dendrogram tersebut menggambarkan bahwa dari 4 stasiun penelitian terdapat dua kelompok cluster yang memiliki tingkat kesamaan karakteristik yang serupa. Kelompok pertama terdiri dari stasiun 1 dan 2. Kelompok kedua terdiri dari stasiun 3 dan 4.

Kelompok pertama terdiri dari 2 stasiun yaitu stasiun 1 dan 2, hal ini disebabkan karena lokasi kedua stasiun yang berdekatan dan sama-sama mendapat pengaruh yang besar dari kegiatan *docking* kapal dan pelabuhan. Selain itu, terdapat beberapa konsentrasi logam berat yang memiliki selisih yang cukup kecil diantara kedua stasiun tersebut, diantaranya konsentrasi logam berat Cd di air laut (stasiun 1 sebesar 0,0880 ppm dan stasiun 2 sebesar 0,0836 ppm) dan konsentrasi logam berat Cu di air laut (stasiun 1 sebesar 0,3441 ppm dan stasiun 2 sebesar 0,3387 ppm)

Kelompok kedua terdiri dari dua stasiun yakni stasiun 3 dan 4, hal ini disebabkan karena kedua lokasi stasiun yang sama-sama berada di dekat area pemukiman. Pada stasiun 3 dan 4 terdapat beberapa konsentrasi logam berat yang bernilai sama dan hanya memiliki selisih yang kecil. Konsentrasi logam berat yang sama antara stasiun 3 dan 4 adalah konsentrasi logam berat Cu di sedimen sebesar 38,1 ppm. Konsentrasi logam berat yang memiliki selisih nilai yang kecil antara stasiun 3 dan 4 terdiri dari konsentrasi logam berat Cd di air laut (stasiun 1 sebesar 0,0806 ppm dan stasiun 2 sebesar 0,0814 ppm), logam berat Cu di air laut (stasiun 3 sebesar 0,29 ppm dan stasiun 4 sebesar 0,26 ppm) dan logam berat Cd di sedimen (stasiun 3 sebesar 6,9 ppm dan stasiun 4 sebesar 6,7 ppm) .

4.3.3 Analisa *Clustering* Parameter Lingkungan dan Logam Berat

Analisa *clustering* parameter lingkungan dan logam berat pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kesamaan karakteristik antar stasiun penelitian ditinjau dari hasil pengukuran parameter lingkungan (parameter fisika dan kimia) dan parameter logam berat pada air dan sedimen. Hasil *clustering* parameter lingkungan dan logam berat berupa dendogram dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Hasil *Clustering* Parameter Lingkungan dan Logam Berat

Gambar 21 menunjukkan bentuk dendrogram hasil *clustering* parameter lingkungan dan logam berat dengan menggunakan *software* SPSS. Dendrogram tersebut menggambarkan bahwa dari 4 stasiun penelitian terdapat dua kelompok cluster yang memiliki tingkat kesamaan karakteristik yang serupa. Kelompok pertama terdiri dari stasiun 1 dan 2. Kelompok kedua terdiri dari stasiun 3 dan 4.

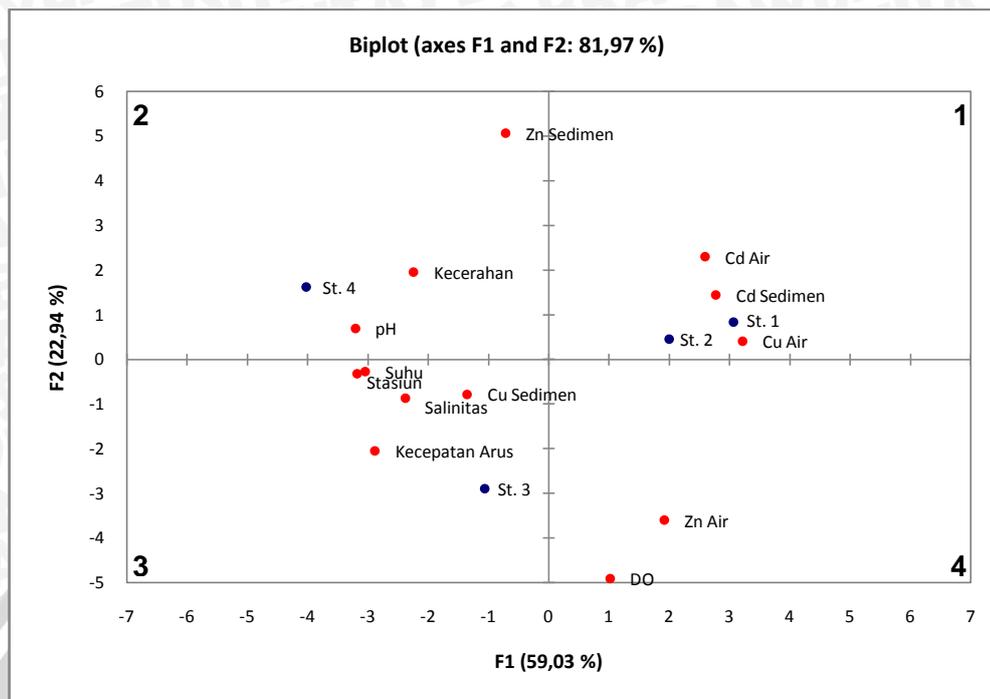
Kelompok pertama terdiri dari stasiun 1 dan 2, hal ini disebabkan karena lokasi stasiun yang berdekatan dan sama-sama mendapat pengaruh yang besar dari kegiatan *docking* kapal dan pelabuhan. Terdapat beberapa nilai parameter lingkungan dan konsentrasi logam berat di stasiun 1 dan 2 yang memiliki selisih yang cukup kecil seperti nilai kecepatan arus (stasiun 1 sebesar 0,032 m/s dan stasiun 2 sebesar 0,022 m/s), pH (stasiun 1 sebesar 7,36 dan stasiun 2 sebesar 7,4), DO (stasiun 1 sebesar 3,3 mg/l dan stasiun 2 sebesar 3,7 mg/l), konsentrasi logam berat Cd di air laut (Stasiun 1 sebesar 0,088 ppm dan stasiun 2 sebesar 0,0836 ppm), dan konsentrasi logam berat Cu di air laut (stasiun 1 sebesar 0,3441 ppm dan stasiun 2 sebesar 0,3387 ppm) .

Kelompok kedua terdiri dari stasiun 3 dan 4, hal ini disebabkan karena lokasi stasiun yang sama-sama berada di dekat area pemukiman. Pada stasiun 3 dan 4 terdapat beberapa nilai parameter lingkungan dan konsentrasi logam berat yang sama dan memiliki selisih nilai yang kecil. Nilai parameter lingkungan dan konsentrasi parameter logam berat yang memiliki selisih nilai yang kecil

diantaranya adalah parameter suhu yang mempunyai nilai lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 1 dan 2 (stasiun 3 sebesar 33,4°C dan stasiun 4 sebesar 34,2°C), pH (stasiun 1 sebesar 7,6 dan stasiun 2 sebesar 7,9), salinitas (stasiun 1 sebesar 31 ‰ dan stasiun 2 sebesar 31,3 ‰), logam berat Cd di air laut (stasiun 1 sebesar 0,0806 ppm dan stasiun 2 sebesar 0,0814 ppm), logam berat Cu di air laut (stasiun 1 sebesar 0,2905 ppm dan stasiun 2 sebesar 0,2610 ppm), logam berat Cd di sedimen (stasiun 1 sebesar 6,9 ppm dan stasiun 2 sebesar 6,7 ppm). Selain itu, konsentrasi logam berat Cu di sedimen di stasiun 3 dan 4 bernilai sama yakni 38,1 ppm.

4.4 Hasil Analisa PCA (*Principal Component Analysis*)

Nilai korelasi dan keragaman data pada parameter lingkungan dan logam berat dapat dijelaskan dengan menggunakan pengolahan data PCA sebesar 81,97% (Gambar 22). Gambar 22 merupakan grafik *biplot* hasil dari pengolahan data PCA, dimana komponen utama F1 dapat menjelaskan keragaman data sebesar 59,03% dan komponen utama F2 dapat menjelaskan keragaman data sebesar 22,94%. Titik (dot) biru dengan keterangan St. 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan keterangan stasiun penelitian 1, 2, 3, dan 4. Titik (dot) merah menunjukkan parameter lingkungan dan logam berat.



Gambar 22. Grafik *Biplot* Hasil analisis PCA

Menurut Esbensen *et al* (1994) dalam Mawaddah *et al* (2015), sampel yang berada dalam satu kuadran adalah sama dengan yang lain dan berbeda dengan sampel yang terdapat pada kuadran yang lain. Berdasarkan grafik *biplot* pada Gambar 22 menunjukkan bahwa stasiun 1 dan 2 berada di kuadran yang sama, yakni kuadran 1. Hal tersebut dapat terjadi karena jarak antara lokasi stasiun 1 dan 2 yang berdekatan. Stasiun 1 dan 2 dipengaruhi oleh parameter logam berat Cd di air laut, logam berat Cu di air laut, dan logam berat Cd di sedimen. Hal ini disebabkan karena stasiun 1 dan 2 memiliki konsentrasi logam berat Cd dan Cu di air laut, serta logam berat Cd di sedimen yang paling tinggi dibandingkan dengan stasiun 3 dan 4. Adanya konsentrasi logam berat tertinggi tersebut dapat memberikan karakteristik pada stasiun 1 dan 2, bahwa stasiun 1 dan 2 sangat dipengaruhi oleh logam berat Cd baik di air maupun sedimen dan logam berat Cu di air laut. Pada kuadran 2 terdapat stasiun 4 yang dipengaruhi oleh parameter lingkungan seperti parameter kecerahan dan pH, serta parameter logam berat Zn di sedimen. Hal tersebut disebabkan karena stasiun 4 memiliki

nilai parameter kecerahan, pH, dan konsentrasi logam berat Zn di sedimen yang lebih tinggi dibandingkan dengan ketiga stasiun lainnya.

Pada kuadran 3 terdapat stasiun 3 yang dipengaruhi oleh parameter lingkungan seperti parameter suhu, salinitas, dan kecepatan arus, selain itu juga dipengaruhi oleh parameter logam berat Cu di sedimen. Adanya pengaruh parameter suhu permukaan dan salinitas diduga menyebabkan tingginya konsentrasi Cu di sedimen pada stasiun 3. Stasiun 3 juga memiliki nilai kecepatan arus paling tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya, sehingga pergerakan arus tersebut dapat mempengaruhi keberadaan konsentrasi logam berat yang ada di stasiun 3. Parameter DO dan logam berat Zn di air laut berada di kuadran 4, dimana stasiun penelitian tidak ada yang terdapat pada kuadran 4. Hal ini menunjukkan bahwa parameter DO dan logam berat Zn di air laut tidak memiliki pengaruh yang berarti pada stasiun penelitian.

Hasil analisa *clustering* dan PCA menunjukkan adanya beberapa kesamaan karakteristik antar stasiun penelitian. Pada hasil analisa *clustering* lebih dominan menunjukkan bahwa stasiun 1 dan 2 memiliki karakteristik yang sama. Hal tersebut juga didukung dengan hasil analisa PCA yang menunjukkan bahwa stasiun 1 dan 2 berada pada kuadran yang sama dengan dipengaruhi parameter logam berat Cd dan Cu di air laut, serta jarak lokasi stasiun penelitian yang berdekatan dan sama-sama mendapat pengaruh yang besar dari kegiatan *docking* kapal maupun pelabuhan. Selain itu, hasil analisa PCA menunjukkan bahwa stasiun 3 dan 4 berada pada kuadran yang berbeda, namun masih berada pada kuadran yang berdekatan. Hasil grafik *biplot* PCA menunjukkan bahwa parameter suhu berada di posisi yang berdekatan diantara stasiun 3 dan 4. Hal tersebut tidak jauh berbeda dengan hasil analisa *clustering* yang menunjukkan bahwa stasiun 3 dan 4 memiliki beberapa karakteristik yang hampir serupa.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Hasil pengukuran parameter lingkungan di sekitar perairan Pelabuhan Kamal menunjukkan rata-rata nilai suhu sebesar 33,05°C, kecerahan 33,98 cm, kecepatan arus 0,08 m/s, pH 7,57, salinitas 30,65 ‰, dan oksigen terlarut (DO) 3,58 mg/l.
2. Hasil pengukuran parameter logam berat pada air dan sedimen di perairan sekitar Pelabuhan Kamal Kabupaten Bangkalan – Madura menunjukkan nilai yang bervariasi. Konsentrasi logam berat Cd di air dan sedimen secara berturut-turut berkisar dalam rentang nilai 0,0806-0,088 ppm dan 6,7-9,6 ppm. Konsentrasi logam berat Cu baik di air maupun sedimen secara berturut-turut berkisar dalam rentang nilai 0,261-0,3441 ppm dan 30,3-38,1 ppm. Logam berat Zn terdeteksi memiliki konsentrasi paling tinggi dibandingkan dengan logam berat lainnya, yakni 0,9973-2,7815 ppm di air laut dan 1674-2689 ppm di sedimen.
3. Hasil *clustering* parameter lingkungan menunjukkan bahwa stasiun 1, 2, dan 3 memiliki karakteristik yang sama. Berdasarkan hasil *clustering* parameter logam berat dan *clustering* parameter lingkungan dengan logam berat menunjukkan hasil yang sama, yakni terdapat dua kelompok cluster. Cluster 1 terdiri dari stasiun 1 dan 2 dan cluster 2 terdiri dari stasiun 3 dan 4. Jika dikaitkan dengan hasil analisa PCA maka ada beberapa kesamaan dengan hasil *clustering*, dimana stasiun 1 dan 2 berada dalam kuadran yang sama serta stasiun 3 dan 4 berada dalam kuadran yang berdekatan.

5.2 Saran

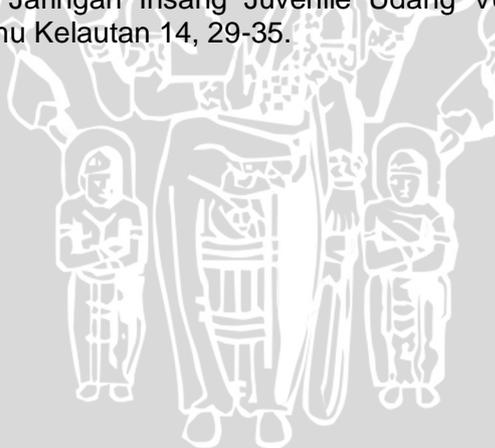
1. Penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh akumulasi logam berat Cd, Cu, dan Zn terhadap biota laut di wilayah perairan sekitar Pelabuhan Kamal Kabupaten Bangkalan – Madura.
2. Penelitian lebih lanjut mengenai distribusi logam berat selain Cd, Cu, dan Zn di wilayah perairan sekitar Pelabuhan Kamal Kabupaten Bangkalan – Madura untuk mengetahui tingkat konsentrasi logam berat di Perairan Pelabuhan Kamal.
3. Perlu dilakukan penanggulangan terhadap keberadaan logam berat yang terdeteksi memiliki konsentrasi tinggi di wilayah Perairan Pelabuhan Kamal Kabupaten Bangkalan – Madura. Penanggulangan tersebut dapat dilakukan dengan proses kimiawi seperti penambahan senyawa asam dan penyerapan menggunakan karbon aktif, ada pula dengan menggunakan mikroorganisme yang dikenal dengan metode *biosorpsi* dan *bioremoval*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abida, I.W., Rachmawatie, Hidayah, Z., 2009. Analisis Konsentrasi Merkuri (Hg) dan Cadmium (Cd) di Muara Sungai Porong sebagai Area Buangan Limbah Lumpur Lapindo. *J. Kelautan*. 2, 125–134.
- Ahmad, F., 2009. Tingkat pencemaran logam berat dalam air laut dan sedimen di perairan Pulau Muna, Kabaena, dan Buton Sulawesi Tenggara. *Makara Sains* 13, 117–124.
- Amriani, A., Hendrarto, B., Hadiyanto, A., 2011. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Dan Seng (Zn) Pada Kerang Darah (*Anadara granosa* L.) Dan Kerang Bakau (*Polymesoda bengalensis* L.) Di Perairan Teluk Kendari. *J. Ilmu Lingkungan*. 9, 45–50.
- Arifin, Z.A., Fadhlina, D., 2009. Fraksinasi Logam Berat Pb, Cd, Cu dan Zn dalam Sedimen dan Bioavailabilitasnya bagi Biota di Perairan Teluk Jakarta. *Ilmu Kelaut*. 14, 27–32.
- Cahyani, M.D., Azizah, R., Yulianto, B., 2012. Studi Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Air, Sedimen, dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Sungai Sayung dan Sungai Gonjol, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak. *J. Mar. Res.* 1, 73–79.
- Emilia, I., Suheryanto., Hanafiah, Z., 2013. Distribusi Logam Kadmium dalam Air dan Sedimen di Sungai Musi Kota Palembang. *J. Penelitian Sains* 3, 59–64.
- Eshmant, M.E., Mahasri, G., Rahardja, B.S., 2014. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) di Perairan Ngembah Kabupaten Gresik Jawa Timur. *J. Ilmu Perikanan dan Kelautan* 6, 101–108.
- Febrita, E., Darmadi, D., Trisnani, T., 2013. Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Siput Merah (*Cerithidea* sp) di Perairan Laut Dumai Provinsi Riau. *Pros. SEMIRATA* 2013 1.
- Fitriyah, A.W., Utomo, Y., Kusumaningrum, I.K., 2013. Analisis Kandungan Tembaga (Cu) dalam Air dan Sedimen di Sungai Surabaya. *FMIPA Univ. Negeri Malang*.
- Hidayati, N.V., Siregar, A.S., Sari, L.K., Putra, G.L., Hartono, I., Syakti, A.D., 2014. Pendugaan Tingkat Kontaminasi Logam Berat Pb, Cd dan Cr pada Air dan Sedimen di Perairan Segara Anakan, Cilacap. *Omni-Akuatika* XIII, 30–39.
- Happy, A., Masyamsyir., Dhahiyat, Y., 2012. Distribusi Kandungan Logam Berat Pb dan Cd pada Kolom Air dan Sedimen Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu. *J. Perikanan dan Kelautan* 3, 175–182.
- Huboyo, H.S., Zaman, B., 2007. Analisis Sebaran Temperatur dan Salinitas Air Limbah PLTU-PLTGU Berdasarkan Sistem Pemetaan Spasial (Studi Kasus : PLTU-PLTGU Tambak Lorok Semarang). *J. Presipitasi* 3, 40–45.
- Idris, A.M., Eltayeb, M.A.H., Potgieter-Vermaak, S.S., Van Grieken, R., Potgieter, J.H., 2007. Assessment of heavy metals pollution in Sudanese harbours along the Red Sea Coast. *Microchem. J.* 87, 104–112. doi:10.1016/j.microc.2007.06.004
- Istarani, F.F., Pandebesie, E.S., 2014. Studi Dampak Arsen (As) Dan Kadmium (Cd) Terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan. *J. Tek. ITS* 3, 53–58.
- Kep. Men LH No. 51 Tahun, 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut.

- Komala, P.S., Primasari, B., Rivai, F., 2008. Pengaruh sistem Open Dumping di Lokasi Pembuangan Akhir (LPA) Terhadap Kandungan Logam Berat pada Air Tanah Dangkal di Sekitarnya (Studi Kasus LPA Air Dingin Padang). *Environmental Technology Sanotary Engineering* 1, 1–8.
- Lestari, L., Budiyo, F., 2013. Konsentrasi Hg, Cd, Cu, Pb, dan Zn dalam Sedimen di Perairan Gresik. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 5, 182–191.
- Mawaddah, A., Rossi, E., Restuhadi, F., 2015. Potensi Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*) Dalam Pengembangan Produk Burger Prebiotik Rasa Daging Panggang. *Jom Faperta* 2.
- Patty, S.I., 2013. Distribution Temperature, Salinity And Dissolved Oxygen In Waters Kema, North Sulawesi. *J. Ilm. PLATAX* 1, 148–157.
- PP RI No. 19 Tahun, 1999. Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran dan atau kerusakan laut.
- Purba, C., Ridlo, A., Suprijanto, J., 2014. Kandungan Logam Berat Cd pada Air, Sedimen dan Daging Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tanjung Mas Semarang Utara. *J. Mar. Res.* 3, 285–293.
- Purba, N.P., Khan, A.M., 2010. Karakteristik Fisika-Kimia Perairan Pantai Dumai Pada Musim Peralihan. *J. Akuatika* 1.
- Putri, M.R., Mihadja, D.K., 1999. Permodelan Sirkulasi Air Laut dan Penyebaran Logam Berat Cadmium (Cd) di Kolam Pelabuhan Tanjung Priok. *JMS* 4, 32–50.
- Rochyatun, E., Rozak, A., 2007. Pemantauan kadar logam berat dalam sedimen di perairan Teluk Jakarta. *Makara Sains* 11, 28–36.
- Ruaeny, T.A., Soegianto, A., Hariyanto, S., 2012. Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb), Tembaga (Cu) Dan Seng (Zn) Lima Jenis Ikan yang Dikonsumsi yang Diambil Dari Tempat Pelelangan Ikan Muncar-Banyuwangi. *J. Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam* 15, 57–60.
- Rumahlatu, D., 2011. Konsentrasi Logam Berat Kadmium Pada Air, Sedimen dan Deadema setosum (*Echinodermata*, *Echinoidea*) di Perairan Pulau Ambon. *Ilmu Kelautan* 16, 78–85.
- Safitri, N.A., Hamidy, R., Rifardi, 2009. Konsentrasi Logam Berat (Cd Dan Pb) pada Sedimen Permukaan Perairan Teluk Bayur Provinsi Sumatera Barat Indonesia. *J. Ilmu Lingkungan* 3, 85–94.
- Samskerta, I.P., Bachtar, H., Riandini, F., Air, B.P.-P.S.D., 2011. Perubahan Karakteristik Pola Arus Laut Pulau Bali Terkait Kejadian Enso. *Kolok. Pus. Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air*.
- Santoso, S., 2010. *Statistik Multivariat*. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Sanusi, H.S., Putranto, S., 2009. *Kimia Laut dan Pencemaran*. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor, Jakarta.
- Setiawan, H., 2014. Pencemaran Logam Berat di Perairan Pesisir Kota Makassar dan Upaya Penanggulangannya. *Info Tek. EBONI* 11, 1–13.
- Simanjuntak, M., 2012. Oksigen Terlarut dan Apparent Oxygen Utilization di Perairan Teluk Klabat, Pulau Bangka. *Ilmu Kelautan. Indonesia. J. Mar. Sci.* 12, 59–66.
- Siregar, Y.I., Putra, C., Anita, S., 2014. Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Sedimen, Air dan Ikan Tembakul (*Periophthalmus* sp) di Perairan Dumai. *J. Kajian Lingkungan* 1, 251–262.
- Sudirman, N., Husrin, S., Ruswahyuni, R., 2013. Baku Mutu Air Laut untuk Kawasan Pelabuhan dan Indeks Pencemaran Perairan di Pelabuhan Perikanan Nusantara Kejawanan, Cirebon. *J. Saintek Perikan.* 9, 14–22.

- Sustianti, A.F., Suryanto, A., others, 2014. Kajian Kualitas Air dalam Menilai Kesesuaian Budidaya Bandeng (*Chanos chanos* Forsk) di Sekitar PT Kayu Lapis Indonesia Kendal. *Manag. Aquat. Resour. J.* 3, 1–10.
- Taftazani, A., 2007. Distribusi Konsentrasi Logam Berat Hg dan Cr Pada Sampel Lingkungan Perairan Surabaya. *Prosiding PPI - PDIPTN*, 36-45.
- Tampubolon, H.S., Bakti, D., Lesmana, I., 2013. Studi Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) di Perairan Danau Toba, Provinsi Sumatera Utara. *AQUACOASTMARINE* 1.
- Wahyuni, H., Sasongko, S.B., Sasongko, D.P., 2013. Kandungan Logam Berat pada Air, Sedimen dan Plankton di Daerah Penambangan Masyarakat Desa Batu Belubang Kabupaten Bangka Tengah. *Pros. Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*
- Widiyanti, C.A., Sunarto, S., Handajani, N.S., 2005. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) serta Struktur Mikroanatomi Ctenidia dan Kelenjar Pencernakan (Hepar) *Anodonta woodiana* Lea., di Sungai Serang Hilir Waduk Kedung Ombo. *BioSMART J. Biol. Sci.* 7.
- Wulan, S.P., Thamrin., Amin, B., 2013. Konsentrasi, Distribusi, dan Korelasi Logam Berat Pb, Cr dan Zn pada Air dan Sedimen di Perairan Sungai Siak Sekitar Dermaga PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang - Propinsi Riau. *Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Riau*, 72-92.
- Yin, S., Feng, C., Li, Y., Yin, L., Shen, Z., 2015. Heavy metal pollution in the surface water of the Yangtze Estuary: A 5-year follow-up study. *Chemosphere* 138, 718–725. [chemosphere.2015.07.060](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.07.060)
- Yudiati, E., Sedjati, S., Enggar, I., Hasibuan, I., 2009. Dampak Pemaparan Logam Berat Kadmium pada Salinitas yang Berbeda terhadap Mortalitas dan Kerusakan Jaringan Insang Juvenile Udang Vename (*Litopenaeus vannamei*). *J. Ilmu Kelautan* 14, 29-35.



Lampiran

Lampiran 1. Hasil Pengukuran Parameter Logam Berat



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN KIMIA

Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
 Telp: 031-5943353, Fax: 031-5928314, PABX: 1207-1208
 E-mail : kimia@its.ac.id, http://www.chem.its.ac.id

Kepada Yth :
 Ayu Diaztari Dwi Putri
 Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan
 Dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya - Malang

LAPORAN ANALISIS Subyek : Air dan Sediment	No	: 170/IT2.1.1.4/PM.05.02/2016
	Tanggal	: 02 Maret 2016
	Metode	: ---
	Diteliti Oleh	: Fataty K

Tanggal diterima sampel : 25 Februari 2016

No	Kode Sampel Air	Hasil Analisa (Cu) ppm	Hasil Analisa (Zn) ppm	Hasil Analisa (Cd) ppm	Metode
1	ST 1	0,3441	2,6487	0,0880	
2	ST 2	0,3387	1,7755	0,0836	
3	ST 3	0,2905	2,7815	0,0806	
4	ST 4	0,2610	0,9973	0,0814	
No	Kode Sampel Sediment	Hasil Analisa (Cu) %	Hasil Analisa (Zn) %	Hasil Analisa (Cd) %	
1	ST 1	0,00381	0,2325	0,00086	
2	ST 2	0,00303	0,2267	0,00096	
3	ST 3	0,00381	0,1674	0,00069	
4	ST 4	0,00381	0,2689	0,00067	

Catatan :

1. Hasil analisis ini mengacu pada sampel yang diterima laboratorium Kimia ITS dan tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum
2. Pengambilan sampel tidak dilakukan oleh Laboratorium Kimia ITS



Hormat Kami,

Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M. Sc
 Ketua



Lampiran 2. Hasil Pengukuran Parameter Lingkungan

1. Docking Kapal								3. Dermaga Lama Dekat Area Pemukiman							
Stasiun		Suhu (°C)	Kecerahan (cm)	Arus (m/s)	DO (mg/l)	pH	Salinitas (‰)	Stasiun		Suhu (°C)	Kecerahan (cm)	Arus (m/s)	DO (mg/l)	pH	Salinitas (‰)
1	Pengukuran 1	32	40	0,014	3,6	7,3	29	3	Pengukuran 1	33	33	0,076	6,2	7,51	31
	Pengukuran 2	31	37	0,048	3	7,3	29		Pengukuran 2	33,2	27,5	0,161	5,8	7,63	31
	Pengukuran 3	32	28,5	0,033	3,3	7,48	30		Pengukuran 3	34	36	0,156	5,2	7,7	31
	Rata-Rata	31,7	35,2	0,032	3,3	7,36	29,3		Rata-Rata	33,4	32,2	0,131	5,7	7,6	31
	Std. Deviasi	0,58	5,97	0,02	0,3	0,1	0,58		Std. Deviasi	0,53	4,31	0,05	0,5	0,1	0
2. Pelabuhan Kamal								4. Pemutilasian Kapal Rongsok							
Stasiun		Suhu (°C)	Kecerahan (cm)	Arus (m/s)	DO (mg/l)	pH	Salinitas (‰)	Stasiun		Suhu (°C)	Kecerahan (cm)	Arus (m/s)	DO (mg/l)	pH	Salinitas (‰)
2	Pengukuran 1	33,5	26,5	0,026	4	7,33	31	4	Pengukuran 1	34,2	36,5	0,143	1,8	7,9	30
	Pengukuran 2	32,7	26	0,024	3,4	7,39	31		Pengukuran 2	34,3	46,5	0,078	2	7,9	34
	Pengukuran 3	32,4	21	0,016	3,6	7,46	31		Pengukuran 3	34	49	0,156	0,9	7,88	30
	Rata-Rata	32,9	24,5	0,022	3,7	7,4	31		Rata-Rata	34,2	44	0,126	1,6	7,9	31,3
	Std. Deviasi	0,57	3,04	0,01	0,31	0,07	0		Std. Deviasi	0,15	6,61	0,04	0,59	0,01	2,31

Lampiran 3. Hasil Analisa *Clustering*

1. Parameter Lingkungan

Cluster

Average Linkage (Between Groups)

Agglomeration Schedule

Stage	Cluster Combined		Coefficients	Stage Cluster First Appears		Next Stage
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	2	3	6.647	0	0	2
2	1	2	9.369	0	1	3
3	1	4	15.538	2	0	0

Case Processing Summary^a

Cases					
Valid		Missing		Total	
N	Percent	N	Percent	N	Percent
4	80.0%	1	20.0%	5	100.0%

a. Squared Euclidean Distance used

Cluster Membership

Case	3 Clusters	2 Clusters
1:1	1	1
2:2	2	1
3:3	2	1
4:4	3	2

2. Parameter Logam Berat

Cluster

Average Linkage (Between Groups)

Agglomeration Schedule

Stage	Cluster Combined		Coefficients	Stage Cluster First Appears		Next Stage
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	1	2	7.413	0	0	3
2	3	4	11.058	0	0	3
3	1	3	13.382	1	2	0

Case Processing Summary^a

Cases					
Valid		Missing		Total	
N	Percent	N	Percent	N	Percent
4	100.0%	0	.0%	4	100.0%

a. Squared Euclidean Distance used

Cluster Membership

Case	3 Clusters	2 Clusters
1:1	1	1
2:2	1	1
3:3	2	2
4:4	3	2

3. Parameter Lingkungan dan Logam Berat

Cluster

Average Linkage (Between Groups)

Agglomeration Schedule

Stage	Cluster Combined		Coefficients	Stage Cluster First Appears		Next Stage
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	1	2	14.082	0	0	3
2	3	4	21.305	0	0	3
3	1	3	27.153	1	2	0

Case Processing Summary^a

Cases					
Valid		Missing		Total	
N	Percent	N	Percent	N	Percent
4	100.0%	0	.0%	4	100.0%

a. Squared Euclidean Distance used

Cluster Membership

Case	3 Clusters	2 Clusters
1:1	1	1
2:2	1	1
3:3	2	2
4:4	3	2

Lampiran 4. Hasil Analisa *Principal Componen Analysis* (PCA)

Correlation matrix (Pearson (n)):

Variables	Stasiun	Suhu	Kecerahan	Kecepatan Arus	pH	Salinitas	DO	Cd Air	Cu Air	Zn Air	Cd Sedimen	Cu Sedimen	Zn Sedimen
Stasiun	1	0.986	0.546	0.859	0.952	0.850	-0.238	-0.887	-0.964	-0.613	-0.779	0.258	0.153
Suhu	0.986	1	0.422	0.781	0.902	0.922	-0.222	-0.913	-0.907	-0.659	-0.670	0.095	0.151
Kecerahan	0.546	0.422	1	0.606	0.772	0.042	-0.616	-0.141	-0.713	-0.423	-0.758	0.784	0.527
Kecepatan Arus	0.859	0.781	0.606	1	0.841	0.574	0.079	-0.798	-0.934	-0.163	-0.970	0.632	-0.187
pH	0.952	0.902	0.772	0.841	1	0.666	-0.442	-0.710	-0.977	-0.657	-0.836	0.446	0.349
Salinitas	0.850	0.922	0.042	0.574	0.666	1	-0.027	-0.928	-0.686	-0.586	-0.389	-0.256	-0.010
DO	-0.238	-0.222	-0.616	0.079	-0.442	-0.027	1	-0.193	0.246	0.817	0.038	-0.049	-0.994
Cd Air	-0.887	-0.913	-0.141	-0.798	-0.710	-0.928	-0.193	1	0.795	0.333	0.632	-0.040	0.259
Cu Air	-0.964	-0.907	-0.713	-0.934	-0.977	-0.686	0.246	0.795	1	0.501	0.910	-0.504	-0.145
Zn Air	-0.613	-0.659	-0.423	-0.163	-0.657	-0.586	0.817	0.333	0.501	1	0.139	0.221	-0.804
Cd Sedimen	-0.779	-0.670	-0.758	-0.970	-0.836	-0.389	0.038	0.632	0.910	0.139	1	-0.790	0.076
Cu Sedimen	0.258	0.095	0.784	0.632	0.446	-0.256	-0.049	-0.040	-0.504	0.221	-0.790	1	-0.045
Zn Sedimen	0.153	0.151	0.527	-0.187	0.349	-0.010	-0.994	0.259	-0.145	-0.804	0.076	-0.045	1

Lampiran 5. Dokumentasi

Adapun dokumentasi kegiatan penelitian Skripsi pada saat proses pengukuran parameter lingkungan dan parameter logam berat.

1. Pengukuran Parameter Lingkungan



Proses Pengukuran Kecerahan



Proses pengukuran Oksigen Terlarut (DO)



2. Pengukuran Parameter Logam Berat



Persiapan pengukuran logam berat pada sampel air laut



Penempatan sampel sedimen pada cawan petri



Mengeringkan sampel sedimen dalam oven



Hasil sampel sedimen setelah di oven



Proses menghaluskan sampel sedimen yang sudah kering



Menimbang sampel sedimen yang sudah halus



Proses ekstraksi bubuk halus sampel sedimen dengan HNO₃



Larutan sampel sedimen yang siap diukur menggunakan AAS



Proses pengukuran konsentrasi logam berat pada AAS

