

**Analisis Beberapa Karakteristik Lingkungan Perairan
yang Mempengaruhi Akumulasi Logam Berat Timbal
dalam Tubuh Kerang Darah di Perairan Pesisir Timur Sumatera Utara**

(Analysis of Several Characteristics of Aquatic Environment which Affect on the
Lead Accumulation in Shellfish Body at Eastern Coastal Waters of North Sumatera)

Hasan Sitorus

ANALISIS BEBERAPA KARAKTERISTIK LINGKUNGAN PERAIRAN YANG MEMPENGARUHI AKUMULASI LOGAM BERAT TIMBAL DALAM TUBUH KERANG DARAH DI PERAIRAN PESISIR TIMUR SUMATERA UTARA

(Analysis of Several Characteristics of Aquatic Environment which Affect on the Lead Accumulation in Shellfish Body at Eastern Coastal Waters of North Sumatera)

Hasan Sitorus¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk: 1) menganalisis beberapa karakteristik lingkungan perairan yang mempengaruhi akumulasi logam berat timbal dalam tubuh kerang darah (*Anadara granosa*) di perairan pesisir timur Sumatera Utara, melalui sidik regresi berganda (*multiple regression analysis*), 2) mereduksi data melalui sidik komponen utama (*principal component analysis*) untuk mengurangi biaya monitoring pencemaran logam berat timbal di masa mendatang, dan 3) menganalisis lokasi perairan yang memiliki karakteristik yang sama dalam akumulasi logam berat timbal melalui sidik gerombol (*cluster analysis*). Berdasarkan sidik regresi, kadar logam berat timbal dalam air, kadar logam berat timbal dalam sedimen dasar perairan dan kadar sulfur dalam sedimen berpengaruh sangat nyata ($p < 0.01$) terhadap akumulasi logam berat timbal dalam tubuh kerang darah, sedangkan kadar COD perairan berpengaruh nyata ($p < 0.05$), dengan koefisien determinasi (R^2) 0.97. Melalui sidik komponen utama, kadar logam berat timbal dalam sedimen, COD perairan dan kadar sulfur dalam sedimen cukup memadai digunakan dalam monitoring pencemaran logam berat timbal dalam tubuh kerang darah di perairan pesisir timur Sumatera Utara di masa mendatang. Berdasarkan sidik gerombol, lokasi perairan terbagi menjadi 3 kelompok, dan perairan pesisir Belawan dan Tanjung Balai mempunyai kesamaan karakteristik yang tinggi dalam akumulasi logam berat timbal.

Kata kunci: karakteristik perairan, akumulasi logam berat timbal, kerang darah, perairan pesisir, Sumatera Utara.

ABSTRACT

The research objectives are: 1) to analyze several characteristics of aquatic environment that affect on the lead accumulation in shellfish body (*Anadara granosa*) at eastern coastal waters of North Sumatera by using multiple regression analysis, 2) to reduce the variables through principle component analysis in order to reduce the research cost for monitoring of lead pollution in the next time, and 3) to analyze the locations which has similarity characteristics of lead accumulation by using hierarchical cluster analysis. Based on the multiple regression analysis, variables of lead concentration in water, lead concentration in sediment and sulphur concentration in sediment has very significant effect ($p < 0.01$) on the lead accumulation in shellfish body, while COD of waters has significant effect ($p < 0.05$), which determination coefficient (R^2) is 0.97. Through the principle component analysis, the lead concentration in sediment, COD of waters and sulphur concentration in sediment gives the most variance contribution on the total data variance. Therefore, this variables are sufficient used in monitoring of lead pollution on shellfish at coastal waters of North Sumatera. By using cluster analysis, the locations is agglomerated to be 3 clusters. The coastal water of Belawan and Tanjung Balai has the high similarity characteristics of lead accumulation.

Key words: aquatic characteristics, lead accumulation, shellfish, coastal waters, North Sumatera.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perairan pantai timur Sumatera Utara termasuk perairan yang tercemar berat oleh limbah domestik, limbah industri, limbah pertanian ter-

masuk limbah tambak (Salim, 1997). Namun demikian, perairan ini masih tetap daerah penangkapan ikan yang intensif, baik demersal maupun pelagis. Menurut Dahuri (2003), perairan pantai timur Sumatera (Selat Malaka), merupakan kawasan perairan yang mengalami tangkap lebih (*over fishing*) khususnya ikan pelagis. Dalam kondisi demikian, nelayan lokal semakin banyak mengarahkan upaya pencarian

¹ Jurusan Perikanan, Fakultas Peternakan Universitas Nommensen, Medan.

terhadap ikan-ikan demersal yang bernilai ekonomis. Salah satu jenis demersal yang banyak menarik usaha perikanan tradisional adalah penangkapan kerang laut. Usaha ini sangat merangsang, karena disamping permintaan yang cenderung meningkat, juga mempunyai harga pasar yang kompetitif.

Namun, dibalik semua faktor yang menarik tersebut, suatu hal yang kurang mendapat perhatian masyarakat adalah kandungan logam berat dalam tubuh kerang. Salah satu unsur logam berat yang berbahaya bagi kesehatan manusia adalah logam berat timbal (Pb). Suprihar-yono (2002) menyatakan, kerang adalah salah satu hewan laut yang paling efisien mengakumulasi logam berat. Hal ini disebabkan, kerang hidup di lapisan sedimen dasar perairan, bergerak sangat lambat dan makanannya adalah detritus di dasar perairan, sehingga peluang masuknya logam berat ke dalam tubuh sangat besar. Dalam kondisi perairan pesisir Timur Sumatera Utara yang tercemar berat, tidak tertutup kemungkinan kandungan logam berat dalam tubuh kerang konsumsi sudah melampaui ambang batas yang diperkenankan. Penyakit Minamata di Jepang (*Minamata Disease*) tahun 1950-an yang membawa banyak korban merupakan contoh keracunan logam berat melalui konsumsi ikan dari laut, dan dikategorikan sebagai tragedi dunia.

Logam berat timbal sangat beracun, mempunyai sifat bioakumulatif dalam tubuh organisme air, dan akan terus diakumulasi hingga organisme tersebut tidak mampu lagi mentolerir kandungan logam berat timbal dalam tubuhnya (Connell dan Miller, 1995). Karena sifat bioakumulatif logam berat timbal, maka bisa terjadi konsentrasi logam tersebut dalam bentuk terlarut dalam air adalah rendah, dalam sedimen semakin meningkat akibat proses-proses fisika, kimia dan biologi perairan, dan dalam tubuh hewan air meningkat sampai beberapa kali lipat (*biomagnification*).

Akibat sifat toksisitas logam berat timbal yang sangat tinggi, maka limbah yang mengandung logam berat ini dikelompokkan menjadi Bahan Berbahaya dan Beracun (B-3) yang pengendaliannya diatur secara khusus dalam peraturan pemerintah dengan Baku Mutu yang lebih ketat. Kadar logam berat timbal yang diperbolehkan dalam air untuk kehidupan biota air maksimum 0.03 ppm, dalam air minum mak-

simum 0.01 ppm, dan dalam tubuh ikan maksimum 0.02 ppm (Fergusson, 1990). Oleh sebab itu, pengukuran kadar logam berat dalam tubuh kerang menjadi sangat penting, karena kerang merupakan bahan pangan penting bagi manusia dan bisa menjadi mata rantai perpindahan logam berat timbal ke dalam tubuh manusia.

Akumulasi logam berat dalam tubuh hewan air menurut Manahan (2002) dipengaruhi banyak faktor, antara lain: 1) konsentrasi logam berat dalam air, 2) konsentrasi logam berat dalam sedimen, 3) pH air dan pH sedimen dasar perairan, 4) tingkat pencemaran air dalam bentuk COD (*chemical oxygen demand*), 5) kandungan sulfur dalam air dan sedimen, 6) jenis hewan air, 7) umur dan bobot tubuh, dan 8) fase hidup (telur, larva). Selanjutnya Rompas (1998) dan Manahan (2002) menjelaskan, bila konsentrasi logam berat tinggi dalam air, ada kecenderungan konsentrasi logam berat tersebut tinggi dalam sedimen, dan akumulasi logam berat dalam tubuh hewan demersal semakin tinggi. Bila COD perairan relatif tinggi, ada kecenderungan kandungan logam berat dalam air dan sedimen akan tinggi, karena COD menunjukkan kadar bahan organik yang bersifat *non biodegradable* yang umumnya bersumber dari limbah industri. Demikian juga kadar sulfur (S) dalam sedimen juga mempengaruhi kandungan logam berat dalam sedimen, karena unsur sulfur sangat mudah berikatan dengan logam berat membentuk logam-sulfida yang mengendap di dasar perairan. Disamping itu, pH air dan pH sedimen juga mempengaruhi akumulasi logam berat dalam tubuh hewan air, karena semakin rendah pH air dan pH sedimen, maka logam berat semakin larut dalam air (bentuk ion) sehingga semakin mudah masuk ke dalam tubuh hewan tersebut, baik melalui insang, bahan makanan, ataupun melalui difusi. Dengan demikian, menganalisis beberapa faktor yang mempengaruhi akumulasi logam berat dalam tubuh hewan air menjadi penting, sehingga dapat diambil tindakan untuk meminimalkan pengaruh faktor tersebut dalam upaya mencegah kemungkinan terjadinya keracunan pada manusia akibat mengkonsumsi bahan pangan yang bersumber dari perairan laut.

Bila logam berat timbal masuk ke dalam tubuh manusia, maka logam berat tersebut akan diakumulasi dalam jaringan tubuh dan tidak bisa diekskresikan lagi ke luar tubuh. Pada kadar

yang sudah tinggi dalam tubuh manusia, akan menyebabkan dampak negatif yang serius, yakni: 1) menghambat aktivitas enzim sehingga proses metabolisme terganggu, 2) menyebabkan abnormalitas kromosom (gen), 3) menghambat perkembangan janin, 4) menurunkan fertilitas wanita, 5) menghambat pembentukan sel sperma pada pria (spermatogenesis), 6) mengurangi konduksi syaraf tepi, 7) menghambat pembentukan hemoglobin, 8) menyebabkan kerusakan ginjal, 9) menyebabkan kekurangan darah (anemia), 10) pembengkakan kepala (encefalopati), dan 11) menyebabkan gangguan emosional dan tingkah laku (Fergusson, 1990).

Tujuan dan Kegunaan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah: 1) mengetahui beberapa faktor yang mempengaruhi akumulasi logam berat timbal dalam tubuh kerang darah (*Anadara granosa*) di perairan pantai timur Sumatera Utara melalui sidik regresi berganda (*Multiple Linier Regression*); 2) mereduksi data untuk efisiensi biaya dan waktu penelitian di masa datang dalam monitoring pencemaran logam berat timbal di perairan pesisir timur Sumatera Utara melalui sidik komponen utama (*Principle Component Analysis*); dan 3) mengetahui lokasi-lokasi perairan di wilayah pesisir timur Sumatera Utara yang mempunyai kesamaan karakteristik dalam akumulasi logam berat timbal melalui sidik gerombol (*Cluster Analysis*).

Adapun kegunaan penelitian ini adalah: 1) sebagai sumbangan informasi bagi pemerintah daerah dan masyarakat dalam upaya pengendalian pencemaran logam berat timbal di perairan pesisir timur Sumatera Utara; dan 2) dapat digunakan sebagai masukan dalam penentuan peubah utama yang akan diukur untuk monitoring pencemaran logam berat timbal di perairan pesisir timur Sumatera Utara pada waktu yang akan datang sebagai upaya mengurangi biaya penelitian.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di perairan pesisir timur Propinsi Sumatera Utara (Selat Malaka) pada 10 lokasi perairan, mulai dari pesisir Kabupaten Langkat hingga pesisir Kota Tanjung Balai. Pemilihan lokasi penelitian di-

dasarkan pada pertimbangan: 1) perairan pesisir ini banyak terdapat populasi kerang darah, dan 2) perairan Selat Malaka sudah termasuk kategori perairan tercemar berat. Lokasi tersebut meliputi: 1) Pantai Secanggang (Kabupaten Langkat), 2) Pantai Tanjung Ibus (Kabupaten Langkat), 3) Pantai Hamparan Perak (Kota Medan), 4) Pantai Belawan (Kota Medan), 5) Pantai Per-cut Sei Tuan (Kabupaten Deli Serdang), 6) Pantai Cermin (Kabupaten Deli Serdang), 7) Pantai Labuhan Deli (Kabupaten Deli Serdang), 8) Pantai Indrapura (Kabupaten Asahan), 9) Pantai Tanjung Tiram (Kabupaten Asahan), dan 10) Pantai Tanjung Balai. Penelitian berlangsung mulai bulan Januari sampai Maret 2002.

Metode Pengambilan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei lapangan. Data primer diperoleh dari hasil pengukuran parameter pada contoh dari lokasi penelitian. Pengambilan contoh kerang darah dilakukan secara acak (*Random Sampling*) yang diperoleh dari 3 titik lokasi dasar perairan, dan sekaligus pengambilan contoh lumpur dasar perairan pada setiap wilayah perairan pesisir. Sedangkan contoh air diambil dari lapisan air atas dengan ulangan yang sama. Pengambilan contoh air hanya dari permukaan karena kedalaman air relatif dangkal (2 - 3 m). Kandungan logam berat timbal dalam contoh dan parameter lainnya dianalisis di Laboratorium Kimia Rispa Medan. Sedangkan data sekunder seperti perkembangan industri dan transportasi diperoleh dari instansi terkait.

Parameter yang Diukur

Parameter yang diukur dalam penelitian ini ada 7 (tujuh), yakni 1) kandungan logam berat timbal (Pb) dalam tubuh kerang darah (ppm), 2) kadar logam berat timbal dalam perairan (ppm), 3) kadar logam berat timbal dalam sedimen dasar perairan (ppm), 4) pH air, 5) pH sedimen dasar, 6) kadar COD perairan (ppm), dan 7) kadar sulfur dalam sedimen (ppm).

Analisa Data

Sidik Regresi Berganda

Untuk melihat hubungan beberapa faktor yang diduga kuat mempengaruhi akumulasi logam berat timbal dalam tubuh kerang darah digunakan sidik regresi berganda $Y_j = b_0 + b_1 X_{1j}$

$b_2X_{2j} + b_3X_{3j} + b_4X_{4j} + b_5X_{5j} + b_6X_{6j} + e_j \cdot Y_j$ adalah kadar logam berat Pb dalam tubuh kerang pada lokasi ke- j (ppm), X_1 adalah kadar logam berat Pb dalam air (ppm), X_2 adalah kadar logam berat Pb dalam sedimen dasar perairan (ppm), X_3 adalah pH air, X_4 adalah pH sedimen dasar perairan, X_5 adalah COD perairan (ppm), dan X_6 adalah kadar sulfur sedimen (ppm).

Dalam sidik regresi ini akan dilihat besar koefisien korelasi parsial (r) hubungan peubah bebas ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$) dengan peubah tidak bebas (Y) serta taraf nyatanya. Disamping itu, untuk melihat apakah model regresi linier berganda yang digunakan cukup baik sebagai model penduga, maka akan dilihat nilai koefisien determinasi (R^2) dari persamaan regresi yang dihasilkan dalam penyidikan.

Sidik Komponen Utama

Dalam upaya efisiensi biaya dan waktu untuk pelaksanaan penelitian dengan topik yang sama pada waktu yang akan datang (monitoring pencemaran logam berat), maka alangkah baiknya jika dapat ditentukan peubah-peubah apa saja (2 atau 3 peubah) yang secara dominan menjelaskan struktur ragam dari data pengamatan, sehingga dengan mengukur peubah tersebut sudah cukup baik untuk menjelaskan masalah yang sedang diteliti. Ini perlu dilakukan mengingat biaya analisis kandungan logam berat dalam contoh cukup mahal karena menggunakan peralatan *Atomic Absorption Spectrophotometric* (AAS).

Menurut Jolliffe (1986), sidik komponen utama (*principles component analysis*) adalah salah satu metode reduksi data, sehingga sebagian besar ragam data pengamatan (sekitar 70%) dapat dijelaskan komponen baru tanpa adanya kehilangan informasi yang berarti. Komponen baru tersebut merupakan kombinasi linier peubah yang memberikan ragam terbesar dan tidak saling berkorelasi yang ditunjukkan oleh besarnya nilai akar ciri atau vektor ciri peubah tersebut.

Dengan mengetahui faktor yang sangat nyata mempengaruhi akumulasi logam berat dalam tubuh kerang, maka untuk penelitian di masa yang akan datang cukup mengukur parameter tersebut tanpa adanya kehilangan informasi yang berarti, sehingga sangat membantu dalam efisiensi biaya dan waktu pelaksanaan penelitian.

Sidik Gerombol Hierarkis

Untuk mengetahui lokasi-lokasi perairan pesisir timur Sumatera Utara yang mempunyai karakteristik yang hampir sama, baik dalam akumulasi logam berat timbal dalam tubuh kerang maupun faktor-faktor lingkungan perairan yang mempengaruhinya, maka dilakukan sidik gerombol (*cluster analysis*) terhadap data penelitian. Analisis ini cukup bermanfaat untuk menjelaskan lokasi perairan yang memiliki karakteristik yang sama terhadap masalah yang sedang dikaji, sehingga dapat ditentukan lokasi perairan di pesisir timur Sumatera Utara yang perlu mendapat prioritas dalam penanganan pencemaran logam berat timbal, metoda penanganan yang akan digunakan, dan anggarannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Karakteristik Lingkungan Perairan

Berdasarkan hasil pengukuran kandungan logam berat timbal dalam tubuh kerang dari 10 lokasi penelitian, ternyata kandungan logam berat timbal pada contoh kerang darah yang berasal dari perairan pesisir Belawan dan Tanjung Balai sudah melebihi ambang batas yang diperkenankan Departemen Kesehatan, yakni sudah melebihi 0.02 ppm . Kadar rata-rata logam berat timbal dalam tubuh kerang di perairan pesisir Belawan mencapai 0.042 ppm dan Tanjung Balai mencapai 0.033 ppm (Tabel 1).

Tingginya kadar logam berat timbal di kedua lokasi penelitian diduga disebabkan oleh limbah industri dan limbah lainnya yang mengandung logam berat yang masuk ke perairan pesisir melalui aliran sungai. Daerah Belawan merupakan pusat industri, perdagangan dan pelabuhan Kota Medan, sehingga perairan pesisir Belawan menjadi tempat penampungan berbagai jenis limbah yang terbawa melalui aliran Sungai Deli. Demikian halnya Kota Tanjung Balai, mempunyai karakteristik yang sama dengan Belawan, yang dicirikan oleh penduduk yang padat, lalu lintas padat, pusat industri, perdagangan dan pelabuhan, sehingga perairan pesisir Tanjung Balai mempunyai peluang besar tercemar limbah yang mengandung logam berat timbal. Melihat kandungan logam berat yang sudah melebihi ambang batas yang diperkenankan, pemerintah Kota Medan dan Tanjung Balai harus melakukan tindakan yang serius dalam

pengendalian pencemaran logam berat timbal tersebut melalui implementasi UU No. 23/1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, dan penerapan Baku Mutu Lingkungan (*ambient standards dan emission standards*) secara lebih ketat. Logam berat timbal dapat masuk ke tubuh manusia melalui rantai makanan yang bersumber dari laut seperti kerang, dan dapat menimbulkan dampak yang sangat berbahaya terhadap kesehatan manusia.

Tabel 1. Kandungan Logam Berat Timbal dalam Tubuh Kerang dan Beberapa Parameter yang Mempengaruhinya di Perairan Pesisir Timur Propinsi Sumatera Utara

Lokasi	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
Secanggang	0.008	0.0002	0.0005	6.8	6.3	135.42	0.23
Tanjung Ibus	0.011	0.0008	0.0012	6.7	6.1	140.24	0.27
Hampan Perak	0.016	0.0010	0.0018	6.2	6.0	158.42	0.34
Belawan	0.042	0.0013	0.0030	6.2	6.0	180.52	0.52
Percut Sei Tuan	0.014	0.0010	0.0012	6.3	6.2	160.23	0.32
Pantai Cermin	0.005	0.0001	0.0008	6.9	6.5	124.60	0.16
Labuhan Deli	0.012	0.0008	0.0010	6.6	6.2	145.83	0.26
Tanjung Balai	0.033	0.0022	0.0028	6.4	6.1	172.24	0.46
Tanjung Tiram	0.013	0.0008	0.0012	7.0	6.7	112.42	0.12
Indrapura	0.018	0.0012	0.0014	6.8	6.5	124.25	0.18

Keterangan: Cetak tebal menunjukkan kadar logam berat timbal melampaui ambang batas (Baku Mutu Lingkungan), Y = kadar logam berat timbal dalam tubuh kerang (ppm), X₁ = kadar logam berat timbal dalam air (ppm), X₂ = kadar logam berat dalam sedimen dasar perairan (ppm), X₃ = pH air (unit pH), X₄ = pH sedimen dasar perairan (unit pH), X₅ = COD perairan (ppm), dan X₆ = kadar sulfur dalam sedimen (ppm).

Berdasarkan hasil sidik regresi hubungan antara peubah bebas (X₁, X₂, X₃, X₄, X₅ dan X₆) dengan peubah tidak bebas (Y), diperoleh hasil bahwa koefisien determinasi (R²) sebesar 0.97. Dengan melihat nilai korelasi ini, dapat dinyatakan bahwa sekitar 97 % peubah Y (akumulasi logam berat timbal dalam tubuh kerang) dapat dijelaskan oleh peubah bebas X₁ (kandungan logam berat dalam air), X₂ (kadar logam berat timbal dalam sedimen), X₃ (pH air), X₄ (pH sedimen dasar perairan), X₅ (COD perairan) dan X₆ (kadar sulfur dalam sedimen) dan hanya 3% yang disebabkan oleh faktor lain. Dugaan persamaan regresi linier berganda adalah $Y = -0.006 + 0.070 X_1 + 3.694 X_2 - 0.012 X_3 - 0.024 X_4 + 0.00072 X_5 + 0.191 X_6$.

Berdasarkan persamaan regresi di atas, terlihat bahwa koefisien peubah X₁, X₂, X₅ dan X₆ bernilai positif, sedangkan peubah X₃, dan

X₄ bernilai negatif. Hal ini mengandung arti, bahwa kenaikan sebesar 1 unit peubah X₁, 1 unit X₂, 1 unit X₅ dan 1 unit X₆ akan menyebabkan meningkatnya peubah Y berturut-turut sebesar 0.070, 3.694, 0.0007 dan 0.191 unit. Sedangkan reduksi 1 unit X₃ dan 1 unit X₄ menyebabkan peubah Y menurun sebesar 0.0123 dan 0.0238 unit. Dengan perkataan lain, peningkatan kadar logam berat timbal dalam air dan sedimen dasar perairan akan menyebabkan meningkatnya (efek positif) akumulasi logam berat timbal dalam tubuh kerang darah. Hal ini disebabkan peluang logam berat timbal masuk ke dalam tubuh kerang relatif besar karena hidup di lapisan dasar perairan (*benthos*). Hal ini selaras dengan penjelasan Manahan (2002), bahwa peningkatan kadar logam berat dalam air akan cenderung menyebabkan meningkatnya kandungan logam berat dalam sedimen akibat proses-proses fisika, kimia dan hayati perairan, dan akibatnya akumulasi logam berat dalam tubuh hewan dasar (demersal) seperti kerang akan semakin tinggi, karena hewan tersebut bergerak sangat lambat dan memakan detritus dalam sedimen. Sedangkan pH air dan pH sedimen bersifat mereduksi akumulasi logam berat timbal dalam tubuh kerang. Sebagaimana dijelaskan Saeni (1997), semakin tinggi pH kelarutan logam berat semakin menurun dalam air dan sedimen dasar perairan, sehingga mengurangi peluang logam berat masuk ke dalam tubuh hewan air.

Dari analisis regresi juga terlihat, bahwa peningkatan kadar sulfur dalam sediment menyebabkan akumulasi logam berat dalam tubuh kerang semakin tinggi. Hal ini disebabkan unsur sulfur (S) mudah berikatan dengan logam berat membentuk *logam-sulfida* yang mengendap di dasar perairan (Fergusson, 1990; Saeni, 1997), sehingga berpeluang besar termakan kerang yang hidup menetap di dasar perairan. Begitu juga dengan kadar COD perairan, ternyata berpengaruh positif terhadap akumulasi logam berat dalam tubuh kerang. Hal ini selaras dengan penjelasan Rompas (1998) dan Manahan (2002) bahwa kadar COD menunjukkan kadar bahan organik dalam air yang tidak dapat terurai secara biologis (*non-biodegradable matter*) yang umumnya bersumber dari limbah industri dan berpeluang besar mengandung logam berat (limbah B-3).

Untuk melihat korelasi parsial antar peubah dan taraf nyatanya, maka secara ringkas ni-

lain nilai korelasi tersebut diperlihatkan pada Tabel 2. Pada tabel tersebut terlihat bahwa hubungan antar peubah umumnya kuat dan sangat nyata ($p < 0.01$). Hal ini memberikan arti, bahwa akumulasi logam berat timbal dalam komponen lingkungan perairan pesisir saling mempengaruhi satu sama lain. Dalam hal ini, kadar logam berat timbal dalam air dipengaruhi oleh pH dan COD perairan, dan kadar logam berat timbal dalam air akan mempengaruhi besarnya kadar logam berat timbal dalam sedimen, dan kadar logam berat timbal dalam sedimen akan mempengaruhi kadar sulfur dalam sedimen dan sebaliknya kadar sulfur dalam sedimen juga mempengaruhi kadar logam berat timbal dalam sedimen dasar perairan. Kadar logam berat timbal dalam sedimen akan mempengaruhi kandungan logam berat timbal dalam tubuh kerang. Seluruh kondisi ini sesuai dengan karakteristik kimia logam berat dalam lingkungan perairan.

Tabel 2. Koefisien Korelasi Parsial Antar Peubah

Peubah	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
Y	1	.79**	.96**	-.63	-.49	.75*	.85**
X ₁	.79**	1	.84**	-.55	-.41	.62	.68*
X ₂	.96**	.84**	1	-.67*	-.54	.76*	.85**
X ₃	-.63	-.55	-.67*	1	.87**	-.93**	-.87**
X ₄	-.49	-.41	-.54**	.87**	1	-.89**	-.85**
X ₅	.75*	.62*	.76*	-.93**	-.89**	1	.98**
X ₆	.85**	.68**	.85**	-.87**	-.85**	.98**	1

** Korelasi sangat nyata ($p < 0.01$) dan * nyata ($p < 0.05$)

Di samping itu, korelasi antar peubah juga ada yang negatif, yang menunjukkan adanya hubungan antagonis. Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa 2 peubah yakni X₃ (pH air) dan X₄ (pH sedimen) mempunyai koefisien korelasi parsial yang *negatif* terhadap Y. Hal ini selaras dengan pembahasan di atas, dimana kedua peubah ini bersifat mereduksi terhadap akumulasi logam berat timbal dalam tubuh kerang. Namun demikian, pH air dan pH sedimen mempunyai hubungan yang tidak begitu kuat dengan Y. Hal ini diduga disebabkan oleh karena pH air dan pH sedimen dasar perairan di seluruh lokasi penelitian relatif sama (variasi kecil), sebagaimana sifat perairan pesisir yang mempunyai kapasitas penyangga yang relatif besar, sehingga pH relatif stabil berkisar netral. Nilai pH air yang berada di bawah angka 7 disebabkan lokasi pengambilan contoh air masih dipengaruhi oleh massa air sungai yang mengalir ke perairan pesisir dengan salinitas berkisar 25 - 29 ppt.

Angka ini relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan pH perairan pesisir timur Sumatera Utara yang jauh dari pengaruh massa air sungai yang umumnya mempunyai pH berkisar 7.4 - 7.8 dengan salinitas 30 - 33 ppt.

Peubah X₁ (kadar logam berat timbal dalam air), X₂ (kadar logam berat timbal dalam sedimen), COD perairan (X₅) dan X₆ (kadar sulfur dalam sedimen) mempunyai korelasi positif dan *nyata* terhadap Y. Sebagaimana dijelaskan terdahulu, berdasarkan sifat biokimia logam berat timbal, ke empat karakteristik lingkungan perairan ini berpengaruh positif terhadap akumulasi logam berat timbal dalam tubuh hewan air. Sedangkan pH air dan pH sedimen dasar perairan mempunyai hubungan yang tidak nyata terhadap Y. Hal ini mengandung arti, parameter pH air dan sedimen dasar perairan tidak layak digunakan sebagai parameter untuk monitoring kadar logam berat timbal di perairan pesisir Timur Sumatera Utara di waktu mendatang.

Reduksi Data Melalui Sidik Komponen Utama

Sebagaimana telah dijelaskan di depan, sidik komponen utama bertujuan untuk mereduksi data, dengan menemukan 2 atau 3 komponen utama (faktor baru) dari peubah asal yang diperoleh dari data lapangan. Berdasarkan sidik komponen utama terhadap data pada Tabel 1 dengan 7 peubah (Y s/d X₆) diperoleh hasil, bahwa dengan 3 faktor baru, sebesar **97% ragam** data pengamatan dapat dijelaskan faktor baru. Total akumulasi ragam ini, sebesar 79.12 % dijelaskan oleh komponen utama pertama (F1), 14.34% oleh komponen utama kedua (F2) dan 3.54% oleh komponen utama ketiga. Total ragam yang dapat dijelaskan (*total variance explained*) untuk setiap komponen diperlihatkan pada Tabel 3. Untuk mengetahui peubah asal yang sangat mempengaruhi faktor baru tersebut atau memberikan kontribusi ragam terbesar terhadap komponen utama, maka dilakukan analisis kontribusi ragam peubah asal berdasarkan panjang vektor ciri terhadap komponen utama dan hasilnya diperlihatkan pada Tabel 4.

Berdasarkan analisis vektor ciri pada Tabel 5. terlihat bahwa peubah X₃, X₆ dan X₇ mempunyai panjang vektor terbesar terhadap komponen utama pertama. Berarti pada komponen utama pertama, ketiga peubah ini memberikan kontribusi ragam terbesar terhadap data peng-

amatan. Dengan demikian, kadar logam berat dalam sedimen (X_3), COD perairan (X_6), dan kadar sulfur dalam sedimen (X_7) cukup memadai digunakan sebagai peubah dalam penelitian kandungan logam berat timbal dalam tubuh kerang darah di perairan pesisir Timur Sumatera Utara pada waktu yang akan datang. Dengan hanya mengukur 3 peubah saja, berarti sangat membantu dalam mengurangi biaya dan waktu pelaksanaan penelitian di waktu mendatang dalam monitoring pencemaran logam berat timbal di perairan pesisir timur Sumatera Utara.

Bila ketiga peubah asal ini, X_2 (kadar logam berat timbal dalam sedimen), X_5 (COD perairan) dan X_6 (kadar sulfur dalam sedimen) diregresikan terhadap Y (kadar logam berat timbal dalam tubuh kerang), diperoleh dugaan persamaan regresi $Y = 0.033 + 9.530 X_2 - 0.00038 X_5 + 0.089 X_6$ dengan $R^2 = 0.94\%$. Koefisien determinasi (R^2) untuk ketiga peubah pilihan ini tetap tinggi, sehingga dapat disarankan bahwa pengukuran ketiga peubah tersebut sudah cukup memadai untuk pendugaan kadar logam berat timbal dalam tubuh kerang darah di perairan pesisir timur Sumatera Utara pada waktu yang akan datang.

Tabel 3. Total Ragam yang Dijelaskan oleh Setiap Komponen.

Komponen Utama	Initial Eigenvalues (Akar Ciri)		
	Total	% Ragam	% Kumulatif
1	5.54	79.12	79.12
2	1.00	14.34	93.47
3	0.25	3.54	97.04
:	:	:	:

Tabel 4. Analisis Vektor Ciri Terhadap Komponen Utama.

Peubah	Komponen		
	1	2	3
X_6	0.981	-0.101	0.114
X_5	0.958	-0.244	0.025
X_2	0.905	0.376	0.112
:	:	:	:

Sidik Gerombol

Sidik gerombol terhadap data pengamatan dilakukan berdasarkan ketidaksamaan (*dissimilarity*) karakteristik parameter yang diukur pada setiap lokasi perairan dengan menggunakan jarak Euclidean. Matriks ketidaksamaan menurut lokasi perairan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Matriks Ketidaksamaan Berdasarkan Lokasi Perairan.

Lokasi Perairan Pesisir	Jarak Euclidean									
	Secanggang	Tanjung Ibus	Hampanan Perak	Belawan	Percut Sei Tuan	Pantai Cermin	Labuhan Deli	Tanjung Balai	Tanjung Tiram	Indrapura
Secanggang	.000	4.825	23.010	45.106	24.815	10.823	10.412	36.783	23.005	11.172
Tanjung Ibus	4.825	.000	18.187	40.284	19.994	15.647	5.592	31.962	27.828	15.996
Hampanan Perak	23.010	18.187	.000	22.101	1.824	33.831	12.598	13.782	46.013	34.179
Belawan	45.106	40.284	22.101	.000	20.292	55.928	34.694	8.323	68.110	56.276
Percut Sei Tuan	24.815	19.994	1.824	20.292	.000	35.637	14.403	11.972	47.818	35.985
Pantai Cermin	10.823	15.647	33.831	55.928	35.637	.000	21.234	47.605	12.182	.365
Labuhan Deli	10.412	5.592	12.598	34.694	14.403	21.234	.000	26.372	33.416	21.583
Tanjung Balai	36.783	31.962	13.782	8.323	11.972	47.605	26.372	.000	59.787	47.954
Tanjung Tiram	23.005	27.828	46.013	68.110	47.818	12.182	33.416	59.787	.000	11.834
Indrapura	11.172	15.996	34.179	56.276	35.985	.365	21.583	47.954	11.834	.000

Hasil penggerombolan dengan prinsip aglomerasi menghasilkan 3 gerombol (*cluster*) seperti disajikan pada Tabel 6. Berdasarkan sidik gerombol di atas, lokasi perairan pesisir Secanggang, Tanjung Ibus (keduanya di Kabupaten Langkat) dan Labuhan Deli berada dalam satu gerombol. Sedangkan perairan pesisir Hampanan Perak, Belawan (Kota Medan), Percut Sei Tuan (Kabupaten Deli Serdang) dan Tanjung

Balai (Kota Tanjung Balai) berada dalam satu gerombol. Demikian juga lokasi perairan Pantai Cermin (Kabupaten Deli Serdang), Tanjung Tiram dan Indrapura (Kabupaten Asahan) berada dalam satu gerombol. Hal ini mengandung arti, bahwa setiap gerombol lokasi perairan mempunyai kesamaan karakteristik akumulasi logam berat timbal dalam tubuh kerang serta beberapa parameter lainnya yang diukur. Dengan menge-

tahui lokasi perairan pesisir yang memiliki karakteristik yang sama dalam pencemaran logam berat timbal, dapat ditentukan lokasi perairan yang perlu mendapat prioritas dalam pengendalian pencemaran logam berat.

Tabel 6. Hasil Penggerombolan Lokasi Perairan Pesisir Berdasarkan Jarak Euclidean.

Gerombol	Lokasi Perairan
1	Secanggang, Tanjung Ibus dan Labuhan Deli
2	Hamparan Perak, Belawan, Percut Sei Tuan dan Tanjung Balai
3	Pantai Cermin, Tanjung Tiram dan Indrapura

Dapat dinyatakan, bahwa perairan pesisir Belawan dan Tanjung Balai mempunyai tingkat kesamaan yang relatif tinggi dalam akumulasi logam berat timbal pada tubuh kerang. Hal ini didukung oleh fakta, bahwa Kota Belawan dan Tanjung Balai memiliki jumlah penduduk yang tinggi, pusat lokasi industri, perdagangan dan pelabuhan, serta lokasi tambak udang intensif. Oleh sebab itu sangatlah logis, bila perairan pesisir di kedua kota ini tercemar berat oleh berbagai jenis limbah termasuk logam berat timbal, sehingga akumulasi logam berat tersebut cukup tinggi dalam tubuh kerang dan bahkan sudah melebihi ambang batas yang diperkenankan ($> 0.02 \text{ ppm}$).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil sidik regresi berganda, kadar logam berat timbal dalam air (X_1), dalam sedimen (X_2), dan kadar sulfur dalam sedimen (X_6) berpengaruh sangat nyata ($p < 0.01$) terhadap akumulasi logam berat timbal dalam tubuh kerang darah (Y), sedangkan COD perairan (X_5) berpengaruh nyata ($p < 0.05$), dan pH air (X_3) serta pH sedimen dasar perairan (X_4) tidak berpengaruh nyata ($p > 0.05$). Koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.97, menunjukkan bahwa 97% akumulasi logam berat timbal dalam tubuh kerang darah dapat dijelaskan oleh keenam peubah bebas yang digunakan melalui hubungan $Y = -0.006 + 0.070 X_1 + 3.694 X_2 - 0.012 X_3 - 0.024 X_4 + 0.00072 X_5 + 0.191 X_6$.

Berdasarkan hasil sidik komponen utama (*Principle Component Analysis*), komponen utama pertama dapat menjelaskan 79.12% ra-

gam data pengamatan yang sebagian besar berasal dari peubah X_2 (kadar logam berat timbal dalam sedimen), X_5 (kadar COD perairan) dan X_6 (kadar sulfur dalam sedimen). Dengan demikian, untuk efisiensi biaya dan waktu penelitian, ketiga peubah ini dapat mewakili prediksi kadar logam berat timbal dalam tubuh kerang darah di waktu yang akan datang.

Berdasarkan hasil sidik gerombol (*cluster analysis*), terdapat 3 kelompok lokasi yang mempunyai kesamaan/ketidaksamaan karakteristik parameter yang diukur. Kelompok pertama adalah perairan pesisir Secanggang, Tanjung Ibus dan Labuhan Deli, kelompok kedua adalah Hamparan Perak, Belawan, Percut Sei Tuan dan Tanjung Balai, dan kelompok ketiga adalah Pantai Cermin, Tanjung Tiram dan Indrapura.

Perairan pesisir Belawan dan Tanjung Balai mempunyai tingkat kesamaan (*smilarity*) yang relatif tinggi dalam akumulasi logam berat timbal dalam tubuh kerang dan peubah lainnya yang diukur. Kota Belawan dan Tanjung Balai memiliki karakteristik yang hampir sama, yakni jumlah penduduk yang tinggi, pusat lokasi industri, perdagangan dan pelabuhan, sehingga perairan pesisir di kedua lokasi tersebut mempunyai peluang besar tercemar berat limbah industri yang mengandung logam berat timbal.

PUSTAKA

- Chatfield, C., and A. J. Collins. 1980. **Introduction to Multivariate Analysis**. Chapman and Hall, London.
- Connell, D. W., and G. J. Miller. 1995. **Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran**. Terjemahan. Penerbit UI Press, Jakarta.
- Dahuri, R. 2003. **Kebijakan dan Program Pembangunan Kelautan dan Perikanan Indonesia**. DKP, Jakarta.
- Fergusson, J. E. 1990. **The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effect**. Pergamon Press, New York.
- Jolliffe, I. T. 1986. **Principles Component Analysis**. Springer-Verlag, New York.
- Manahan, S. E. 2002. **Environmental Chemistry**. Seventh Edition. Lewis Publisher, New York.
- Rompas, R. M. 1998. **Kimia Lingkungan**, Tarsito, Bandung.
- Salim, E. 1997. **Pembangunan Berwawasan Lingkungan**. LP3S, Jakarta.
- Saeni, M. S. 1997. **Kimia Lingkungan**. Program Pasca-sarjana IPB, Bogor.
- Supriharyono. 2002. **Pelestarian dan Pengelolaan Sumberdaya Alam di Wilayah Pesisir Tropis**. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.