

# Studi Identifikasi Sebaran Ion Logam Pb, Cu, As dan Cd pada Air dan Sedimen di Perairan Bontang Kalimantan Timur Menggunakan Metode *Kriging* (*Ordinary Kriging*)

<sup>1,3</sup>Ani, <sup>2</sup>Wahidah, <sup>2,3\*</sup>Idris Mandang

<sup>1</sup>*Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman*

<sup>2</sup>*Program Studi Geofisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman*

<sup>3</sup>*Laboratorium Oseanografi, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman*

\*Email: [idris@fmipa.unmul.ac.id](mailto:idris@fmipa.unmul.ac.id)

## ABSTRAK

Bontang merupakan salah satu kota di Kalimantan Timur yang secara geografis terletak di daerah pesisir sehingga sangat rentan terhadap pencemaran laut baik yang berasal dari aktivitas domestik manusia maupun industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat dan pola penyebaran polutan ion logam Pb, Cu, As dan Cd pada air dan sedimen di perairan Bontang menggunakan metode *Kriging* (*Ordinary Kriging*). Pada penelitian ini digunakan 4 sampel observasi yang diuji di laboratorium untuk mengetahui kandungan logam beratnya. Selanjutnya, data hasil uji laboratorium beserta 4 data sekunder diinterpolasi menggunakan metode *ordinary kriging* dengan model *exponential* untuk menentukan pola sebaran kontur pada perairan Bontang. Hasilnya menunjukkan bahwa logam berat dengan nilai sebaran tertinggi di air maupun sedimen adalah kadmium dengan rentan nilai berkisar 0.006 mg/l sampai 9.070 mg/l. Secara umum pola penyebaran logam berat Cu, Pb dan As baik pada air maupun sedimen berasal dari daerah pesisir ke arah Timur Laut, kecuali Cd yang mengarah ke tenggara. Hal paling berpengaruh pada pola penyebaran ini adalah arus, pasang surut dan batimetri.

**Kata Kunci :** Pola Sebaran, *Ordinary Kriging*, Logam Berat, Bontang

## ABSTRACT

*Bontang is one of the cities in East Kalimantan which is geographically located in coastal areas so that it is very vulnerable to marine pollution both from domestic human and industrial activities. This study aims to determine the level and pattern of distribution of polution metal ions Pb, Cu, As and Cd in water and sediments in Bontang waters using the Kriging (Ordinary Kriging) method. In this study, 4 observation samples were used which were tested in the laboratory to determine the content of heavy metals. Furthermore, the data from laboratory tests along with 4 secondary data were interpolated using the ordinary kriging method with an exponential model to determine the pattern of contour distribution in Bontang waters. The results showed that the heavy metal with the highest distribution value in water and sediment is cadmium with a susceptibility value ranging from 0.006 mg/l to 9.070 mg/l. In general, the pattern of spread of heavy metals originates from coastal areas in a southeasterly direction. The most influential thing on this pattern of spread is tidal currents and bathymetry.*

**Keywords :** Spread Pattern, *Ordinary Kriging*, Heavy Metals, Bontang

## 1. PENDAHULUAN

Kota Bontang merupakan salah satu kota di Kalimantan Timur yang secara geografis terletak di daerah pesisir [1]. Pada wilayah pesisir termasuk daerah yang sangat rentan terhadap pencemaran laut baik berasal dari aktivitas domestik manusia maupun industri-industri. Limbah yang berasal dari industri-industri dan rumah tangga dapat membahayakan bagi masyarakat yang tinggal di sekitar wilayah tersebut, khususnya masyarakat yang mengkonsumsi hasil dari laut yang telah tercampur dengan logam berat. Logam berat merupakan salah satu limbah yang tidak baik bagi kesehatan dan mempunyai sifat toksik (racun) yang berbahaya bagi tubuh manusia. Selain mengubah kualitas perairan, logam berat yang terendapkan dengan sedimen dapat menyebabkan perpindahan bahan kimia beracun dari sedimen ke organisme [2].

Oleh karena itu, dalam penelitian ini, untuk mengidentifikasi polutan ion rairan menjadi dinamis. Pergerakan arus membawa material-material serta sifat-sifat yang terdapat dalam badan air.

### 2.2 Logam Berat

Logam timbal (Pb) yang terdapat pada perairan akan menyebabkan proses biokumulasi dalam tubuh biota di perairan [4]. Penyebab utama peningkatan kadar timbal di perairan yaitu penggunaan cat yang mengandung timbal, pengelasan kapal, dan bahan bakar yang bocor dari kapal perikanan [5].

Logam tembaga (Cu) merupakan elemen mikro yang sangat dibutuhkan oleh organisme, baik darat maupun perairan, namun dalam jumlah sedikit. Keberadaan Cu di suatu perairan umum berasal dari daerah industri yang berada di sekitar perairan tersebut [6].

Logam Arsen (As) merupakan bahan kimia yang bersifat metaloid yang ada dalam berbagai bentuk organik dan anorganik di alam [7].

Logam Kadmium (Cd) merupakan logam yang bila masuk ke dalam tubuh

logam Pb, Cu, As, dan Cd pada air laut dan sedimen di perairan Kota Bontang dilakukan uji laboratorium. Adapun untuk mengetahui tingkat penyebaran dan menentukan pola sebaran ion logam Pb, Cu, As dan Cd pada air laut dan sedimen di perairan Kota Bontang dimodelkan menggunakan metode *kriging (ordinary kriging)*.

## 2. TEORI

### 2.1 Wilayah Pesisir

Wilayah pesisir adalah suatu wilayah peralihan antara daratan dan lautan. Arus merupakan salah satu faktor hidro-oseanografi yang berperan dalam menentukan kondisi suatu perairan. Pergerakan arus memiliki arah dan kecepatan, sehingga arus membentuk suatu pola pergerakan dalam suatu wilayah perairan [3]. Pada pola dan karakteristik arus yang meliputi jenis arus dominan, kecepatan dan arah serta pola pergerakan arus laut menyebabkan kondisi suatu perairan akan mengendap dan berakumulasi dalam waktu tertentu. Industri yang dapat menghasilkan limbah kadmium (Cd) adalah industri tekstil, baterai, cat, industri plastik dan lain-lain [8].

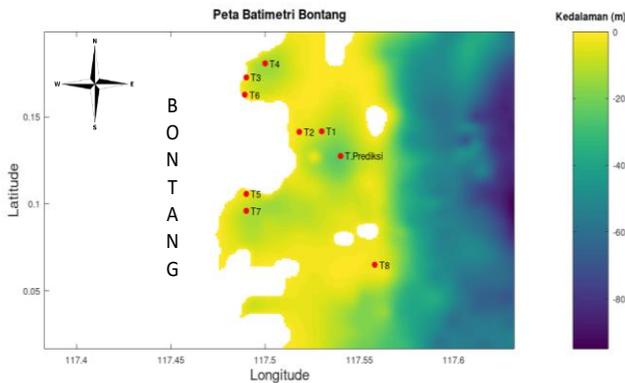
### 2.3 Sedimen

Logam berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran dan dispersi kemudian diserap oleh organisme yang hidup di perairan tersebut. Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air [9].

## 3. METODE

### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Daerah yang akan diteliti adalah perairan Bontang, Kalimantan Timur dengan posisi koordinat kota terletak pada 117°21' - 117°29' BT dan 0°01' - 0°11' LU.



**Gambar 1** Titik Pengambilan Data

Pengambilan sampel berlangsung pada tanggal 28 September 2021 sampai dengan 04 Oktober 2021 pada saat keadaan pasang surut perbani (*neap*) dan pasang surut purnama (*spring*). Pengukuran konsentrasi ion logam pada sampel di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Laboratorium Kualitas Air Laut, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan dan Laboratorium Oseanografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

### 3.1 Metode Ordinary Kriging

*Kriging* merupakan analisis data geostatistika yang digunakan untuk mengestimasi besarnya nilai yang mewakili suatu titik yang tidak tersampel berdasarkan titik-titik tersampel yang berada di sekitarnya dengan mempertimbangkan korelasi spasial yang ada dalam data tersebut.

Estimator *kriging*  $\hat{Z}(u)$  dapat tulis sebagai berikut [10]:

$$\hat{Z}(u) = m(u) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} [Z(u_{\alpha}) - m(u_{\alpha})] \quad (1)$$

dengan:

- $u, u_{\alpha}$  : vektor lokasi untuk estimasi dan Salah satu dari data yang berdekatan, dinyatakan sebagai  $a$
- $m$  : nilai *mean* (konstanta skalar)
- $\lambda_{\alpha}(u)$  : nilai  $Z(u_{\alpha})$  untuk estimasi lokasi  $u$ . nilai  $Z(u_{\alpha})$  yang sama akan memiliki nilai yang berbeda untuk estimasi pada lokasi berbeda.
- $n$  : banyak sampel yang digunakan

untuk estimasi

Dalam analisis data geostatistika, proses pencocokan antara semivariogram eksperimental dengan semivariogram teoritis ini disebut dengan analisis struktural (*struktural analisis*). Semivariogram eksperimental didefinisikan sebagai berikut [11]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(s_i + h) - z(s_i)]^2 \quad (2)$$

dengan:

- $\gamma(h)$  : nilai semivariogram antara titik  $s_i$  dengan  $s_i + h$
- $z(s_i)$  : nilai pengamatan data dititik  $s_i$
- $z(s_i + h)$  : nilai pengamatan data dititik  $s_i + h$
- $N(h)$  : banyak pasangan titik pada jarak  $h$
- $h$  : jarak antara titik-titik data

Terdapat 3 jenis model semivariogram teoritis yang digunakan sebagai pembanding dari semivariogram eksperimental berikut [12]:

#### 1. Model Spherical

Garis singgung pada titik asal memotong *sill* pada jarak  $\frac{2}{3}a$ .

$$\gamma(h) = \begin{cases} c \left[ \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^2 \right] + c_0, & \text{untuk } h < a \\ c + c_0 & \text{untuk } h \geq a \end{cases} \quad (3)$$

Dengan  $h$  adalah jarak antara lokasi antar sampel,  $c$  adalah *sill* yaitu variogram untuk jarak pada saat besarnya konstan (tetap) yakni sama dengan nilai variansi data dan  $a$  adalah range yaitu jarak pada saat nilai variogram mencapai *sill*. Bentuk Gambar model *spherical*.

#### 2. Model Exponential

Untuk persamaan model *Exponential* sebagai berikut:

$$\gamma(h) = c \left[ 1 - \exp \left( -\frac{h}{a} \right) \right] + c_0 \quad (4)$$

#### 3. Model Gaussian

Model gaussian dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$\gamma(h) = c \left[ 1 - \exp \left( -\frac{h^2}{a} \right) \right] + c_0 \quad (5)$$

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Uji Laboratorium

**Tabel 1** Kandungan Logam Berat pada Air Laut saat Purnama

Sampel	Lokasi	Kandungan Logam Berat (mg/l)			
		Pb	Cu	As	Cd
1	Wisata Bahari	0.003	0.004	0.001	0.006
2	Bontang Kuala	0.003	0.017	0.0004	0.017
3	Pelabuhan Loktuan	0.003	0.033	0.0004	0.014
4	Pelabuhan	0.003	0.011	0.001	0.008
5	Pelabuhan	0.003	0.010	0.001	0.007
6	Wisata Bahari	0.003	0.004	0.001	0.010
7	Pelabuhan Tanjung Laut	0.003	0.010	0.0004	0.010
8	Beras Basah	0.003	0.010	0.0004	0.015

Berdasarkan Tabel 1, Konsentrasi ion Cu bernilai antara 0.010 mg/l sampai 0.053 mg/l, nilai tertinggi pada logam Cu berada pada titik 7 yang dapat di lihat pada Tabel 1. Kemungkinan penyebab tingginya logam Cu pada air dikarenakan logam Cu berasal dari industri, pabrik listrik, zat warna dan aktivitas manusia yang menghasilkan logam Cu cukup besar. Nilai tertinggi pada logam Cu telah melebihi standar baku mutu menurut Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur No. 02 Tahun 2011 yaitu sebesar 0.05 mg/l, tetapi masih dalam batas toleransi. Pada sedimen (Tabel 2), konsentrasi ion logam berat Cu memiliki nilai cukup besar dibandingkan air karena adanya pengendapan yang terjadi pada sedimen oleh biota laut. Namun, konsentrasi ion logam Cu pada sedimen tetap tidak melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh *Nasional Sediment Quality Survey* US-EPA (2004).

**Tabel 2** Kandungan Logam Berat pada Sedimen saat Purnama

Sampel	Lokasi	Kandungan logam berat (mg/l)			
		Pb	Cu	As	Cd
1	Bontang Kuala	0.200	3.400	0.001	4.820
2	Pelabuhan Loktuan	0.128	1.800	0.001	8.510
3	Pelabuhan Tanjung Laut	0.110	2.800	0.001	9.070
4	Beras Basah	0.110	2.000	0.001	8.400

Berdasarkan Tabel 1 dan 2, konsentrasi ion Pb pada air laut dan sedimen tidak melebihi standar baku mutu. Logam berat Pb tidak terdeteksi oleh SSA maupun US-EPA, kemungkinan hal ini disebabkan oleh kandungan logam Pb sangat kecil. Rata-rata nilai konsentrasi ion Pb pada air diperoleh sebesar <0.003 mg/l. Adapun nilai konsentrasi logam berat Pb yang tertinggi pada sedimen sebesar 0.200 mg/l yang terletak pada titik 1. Sedangkan, konsentrasi logam Pb terendah sebesar 0.110 mg/l terletak pada titik 3 dan 4. Rendahnya konsentrasi ion logam berat Pb mungkin berkaitan dengan terbatasnya aktivitas penggunaan logam ini, dikarenakan logam Pb berasal dari cat yang mengandung timbal dan pengelasan kapal.

Konsentrasi ion logam As pada air dan sedimen memiliki jumlah yang relatif sedikit. Konsentrasi ion logam As pada air maupun sedimen dominan memiliki nilai yang sama yaitu <0.001 mg/l dapat dilihat pada Tabel 1. Hal ini dikarenakan pada logam berat arsen terdapat pada wilayah yang memiliki pabrik peleburan. Sedangkan, wilayah tempat penelitian tidak memiliki industri peleburan sehingga konsentrasi arsen relatif sedikit.

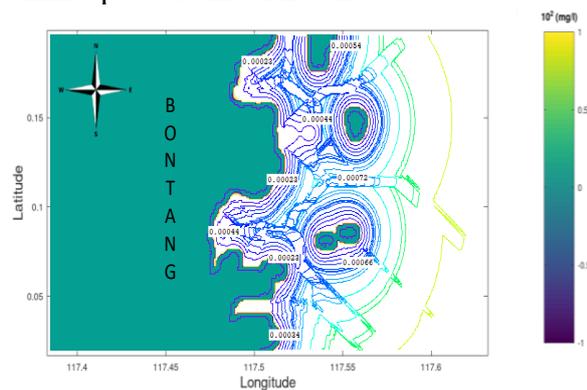
Konsentrasi logam Cd pada air masih berada di standar baku mutu yang dikeluarkan oleh Kementerian Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 sebesar 0.01 mg/l. Adapun hasil lapangan yang didapatkan untuk konsentrasi ion tertinggi pada air adalah 0.017 mg/l di titik 7 yang dapat di lihat pada Tabel 1. Sedangkan, konsentrasi logam berat kadmium pada sedimen secara umum jika dibandingkan dengan *Dutch Quality Standar For Metal In Sediment* (IADC/CEDA, 1997) konsentrasi logam Cd di sedimen pada perairan Bontang tergolong dalam level intervensi yaitu 12 mg/l. Namun, hasil lapangan yang didapatkan nilai tertinggi pada titik 4 (Tabel 2) yang dapat ketahui bahwa wilayah tersebut termasuk daerah tercemar sedang. Hal ini kemungkinan adanya

limbah dari pemukiman dan pabrik industri (industri pupuk Kaltim) di daerah tersebut.

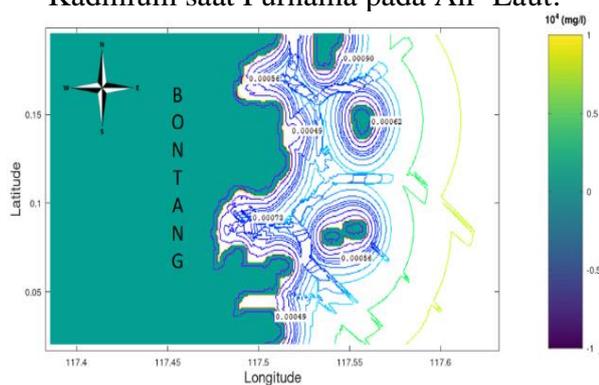
#### 4.2 Hasil Pemodelan *Ordinary Kriging*

Penelitian ini menggunakan metode interpolasi *ordinary kriging* dengan model *exponential*. Pemilihan model ini berdasarkan hasil perhitungan dari nilai RMSE terkecil dibandingkan dengan model semivariogram yang lain.

Hasil pemodelan *ordinary kriging* menunjukkan sebaran kontur kandungan logam berat Pb, Cu, As dan Cd yang dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.



**Gambar 2** Pola Sebaran Logam Berat Kadmium saat Purnama pada Air Laut.



**Gambar** Pola Sebaran Logam Berat Kadmium saat Purnama pada Sedimen

Pada logam berat Cd yang mengarah ke Tenggara mengikuti arus dominan. Hal ini menunjukkan bahwa pola arus juga berpengaruh terhadap sebaran logam berat pada sedimen khususnya pada Cd.

Berdasarkan Gambar 3, hasil sebaran logam berat pada sedimen baik ketika purnama maupun perbani cenderung menuju ke arah Timur Laut kecuali logam berat Cd yang mengarah ke Tenggara

mengikuti arus dominan. Hal ini menunjukkan bahwa arus juga berpengaruh terhadap sebaran logam berat pada sedimen khususnya pada Cd. Sebaran logam berat biasanya mengikuti arah arus dominan tetapi pada penelitian ini arah sebaran Pb, Cu dan As berbeda. Hal ini diduga karena pengaruh batimetri dan jalur lalu lintas kapal yang ada di pelabuhan (titik 3, 4, 5 dan 7).

#### 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji laboratorium, logam berat dengan nilai sebaran tertinggi di air maupun sedimen adalah kadmium (Cd) dengan rentan nilai berkisar 0.006 mg/l sampai 9.070 mg/l. Tingkat penyebaran ion logam Cd pada air berkisar 0.006 mg/l - 0.0017 mg/l, dimana kadar tertingginya terletak pada titik 2 (Bontang Kuala) dan nilai terendahnya pada titik 8 (Beras Basah) yang terjadi pada kondisi purnama. Sedangkan pada sedimen, tingkat penyebaran Cd berada pada rentang nilai 4.820 mg/l – 9.070 mg/l yang terjadi pada kondisi purnama pada titik 3 (Pelabuhan Tanjung Laut).

Berdasarkan metode *ordinary kriging*, pola sebaran konsentrasi logam berat Cu, Pb dan As baik pada air maupun sedimen di perairan Bontang cenderung mengarah ke Timur Laut, kecuali Cd menuju ke arah Tenggara mengikuti arus dominan.

#### 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis kepada Bapak Dr. Sc. Mustaid Yusuf, M.Si selaku dosen penguji I dan Bapak Drs. Piter Lepong, M.Si selaku dosen penguji II yang telah banyak memberikan masukan dan saran. Serta pihak – pihak terkait dalam penyelesaian penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sulistianto, E. (2010). Penilaian ekonomi ekosistem terumbu karang di perairan bontang kota bontang. *Jurnal Ekonomi Pertanian Dan Pembangunan*, 7(1), 20–24.
- [2] Permanawati, Y., Zuraida, R., Andrian Ibrahim Puslitbang Geologi Kelautan,

- D., & Djundjuran, J. D. (2013). Heavy Metal Content (Cu, Pb, Zn, Cd, and Cr) In Sea Water and Sediment in Jakarta. *Jurnal Geologi Kelautan*, Jakarta.
- [3] Permadi, L., Indrayanti, E., & Rochaddi, B. (2015). Studi Arus Pada Perairan Laut Di Sekitar Pltu Sumuradem Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Oseanografi*, 4(2), 116387.
- [4] Nurhamiddin, F., dan Ibrahim, M. H. (2018). Studi Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Sedimen Laut di Pelabuhan Bastiong Kota Ternate Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Dintek*, 11(1), 41–55.  
<http://jurnal.umm.ac.id/index.php/dintek/article/view/139>.
- [5] Pratiwi, D. Y. (2020). Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) terhadap Organisme Perairan dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*, 1(1), 59–65.
- [6] Cahyani, M., 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. *Journal of Marine Research*, 1(2), 73–79.
- [7] Lasut, H. E., Kawung, N. J., & Lasut, M. T. (2016). Kandungan Arsen (As), Berbentuk Suspensi dan Terlarut, di Perairan Teluk Manado. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 4(1), 30.  
<https://doi.org/10.35800/jplt.4.1.2016.12220>.
- [8] Indirawati, S. M. (2017). Pencemaran Pb dan Cd dan Keluhan Kesehatan pada Masyarakat di Kawasan Pesisir Belawan. *Jurnal Jumantik*, 2(2), 54–60.
- [9] Hutagalung, H.P. 1984. Logam Berat dalam Lingkungan Laut. *Osean.*, 1x(1): 11-20.
- [10] Alfiana, A. N. (2010). *Metode ordinary kriging pada geostatistika*.
- [11] Armstrong, M. 1998. *Basic Linear Geostatistic*. Springer. Germany.
- [12] Eze, P.N. dan Kumahor, S.K. 2019. Gasussian Procces Simulation of Soil Zn Micronutrien Spatial Heterogeneity and Uncertainty- A Performance Appraisal of Three Semivariogram Model. *Scientific African*.