

## Pemodelan Pola Arus dan Sebaran Konsentrasi Tembaga (Cu) Terlarut di Teluk Jakarta

Harpasis S. Sanusi<sup>1\*</sup>, Alan F. Koropitan<sup>1</sup>, Haeruddin<sup>2</sup> dan Andis K. Nugraha<sup>3</sup>

<sup>1)</sup> Staf pengajar Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor

<sup>2)</sup> Staf pengajar Program Studi Manajemen Sumberdaya Perikanan, Jurusan Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

<sup>3)</sup> Alumni Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor

### Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pola arus dan sebaran konsentrasi logam berat tembaga (Cu) terlarut di Teluk Jakarta, DKI Jakarta, dengan menggunakan model gabungan hidrodinamika-transpor konsentrasi Cu terlarut. Solusi numerik yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan numerik beda hingga eksplisit Upstream. Hasil verifikasi menunjukkan kemiripan antara hasil model dengan data lapangan. Secara umum, saat pasang arus pasut masuk ke dalam teluk dari mulut teluk bagian timur menuju daerah pantai teluk Jakarta dan akhirnya keluar melalui mulut teluk bagian barat. Demikian sebaliknya saat surut arus pasut masuk ke dalam teluk dari mulut teluk bagian barat dan keluar melalui mulut teluk bagian timur. Simulasi dengan pengaruh angin menunjukkan pola yang sama dengan arus pasut saja. Pola sebaran konsentrasi Cu terlarut umumnya mengikuti pola arus yang ada, dengan degradasi penurunan konsentrasi terlihat tinggi pada dekat sumber (muara-muara sungai) kemudian menurun dengan semakin jauhnya dari sumber. Hal ini menunjukkan bahwa peranan adveksi sangat dominan dalam menyebarkan suatu material di suatu perairan.

**Kata kunci:** Teluk Jakarta, model gabungan hidrodinamika-transpor konsentrasi Cu terlarut

### Abstract

This research was done to study flow pattern and heavy metal distribution of dissolved Cu concentration in Jakarta Bay, DKI Jakarta, by using a coupled hydrodynamic-dissolved Cu concentration transport model. The coupled model has been solved numerically, which is explicit finite difference of Upstream. Model verification showed a good agreement between model results and field observation. Generally, tidal current inflows from eastern part of mouth-bay and outflows to western part of mouth-bay during flood tide. Reversely, the tidal current inflows from western part of mouth-bay and outflows to eastern part of mouth-bay during ebb tide. The water current still has a similar pattern for wind influence in the simulation. Distribution pattern of dissolved Cu concentration mainly follows the flow pattern, with concentration degradation showed high near source area (mouth of rivers) and decrease as far from the sources. Therefore, the role of advection is more dominant in material distribution in the waters.

**Key words:** Jakarta Bay, coupled hydrodynamic-dissolved Cu concentration transport model

### Pendahuluan

Aktifitas manusia yang dilakukan di darat seperti industri dapat menjadi sumber pencemaran bagi lingkungan perairan laut sekitarnya. Salah satu limbah pencemar tersebut adalah logam berat tembaga (Cu) yang berbahaya dan banyak digunakan dalam industri baik sebagai bahan baku maupun katalis. Logam Cu digunakan sebagai kabel listrik, electroplating, pembuatan logam campuran, pipa tembaga, fotografi, cat anti jasad penempel dan dalam ramuan pestisida. Berbagai industri yang menghasilkan limbah

mengandung Cu adalah pertambangan, peleburan logam, industri penyulingan dan industri yang menggunakan bahan bakar batubara (US Marine SACP, 2005). Berbagai industri tersebut dapat memasukkan limbah ke dalam lingkungan perairan hingga konsentrasi yang signifikan. Disamping itu logam Cu berasal dari sumber alami seperti proses pelapukan batuan (CCREM, 1987). Pemahaman mengenai aspek-aspek oseanografi, seperti arus dan pasang surut sangat diperlukan karena dapat dimanfaatkan untuk mempelajari pola sebaran limbah pencemar logam

\* Corresponding Author

© Ilmu Kelautan, UNDIP

Diterima / Received : 25-07-2005

Disetujui / Accepted : 16-08-2005

berat tersebut di suatu perairan (Neumann and Pierson, 1966; Dietrich *et al.*, 1980; Pond and Pickard, 1983). Peranan arus di suatu perairan sangat penting yaitu membawa massa air beserta partikel-partikel yang dikandungnya bergerak dari suatu tempat ke tempat lainnya yang mempunyai pola tertentu yang dapat dipelajari.

Salah satu cara untuk mempelajari pola penyebaran limbah pencemar tersebut yaitu menggunakan suatu model yang berupa persamaan hidrodinamika dan adveksi-difusi, dimana proses resuspensi dan pengendapan ikut dilibatkan dalam persamaan adveksi-difusi tersebut (Liebes, 1992). Logam berat yang dapat mewakili kondisi perairan dan karakteristik dari jenis limbah pencemar yang diamati dalam penelitian ini adalah logam berat Cu. Daerah model yang diamati adalah Perairan Teluk Jakarta yang terletak di bagian utara propinsi DKI Jakarta. Teluk Jakarta merupakan penerima beban limbah dalam volume besar dari berbagai aktivitas yang terdapat di sepanjang pantai dan daerah aliran sungai yang bermuara di Teluk Jakarta.

Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasi pola arus dan pola sebaran logam berat Cu terlarut di Perairan Teluk Jakarta, dengan menggunakan model gabungan hidrodinamika dan transport konsentrasi Cu terlarut.

**Materi dan Metode**

Penelitian ini berupa simulasi model transport mengenai pola arus dan sebaran konsentrasi logam berat tembaga (Cu) terlarut di Perairan Teluk Jakarta, DKI Jakarta. Waktu simulasi yang dilakukan selama satu bulan yang dimulai pada tanggal 01 - 28 Februari 1998. Bahan yang digunakan berupa data arus di Teluk Jakarta yang diperoleh dari Laporan Neraca Kualitas Lingkungan Daerah Propinsi DKI Jakarta Buku III Tahun 1999.

Model persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah model persamaan gabungan antara persamaan hidrodinamika dan persamaan transport logam berat Cu terlarut yaitu:

Persamaan Hidrodinamika (Ramming and Kowalik, 1980)

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -\frac{U}{H} \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{V}{H} \frac{\partial U}{\partial y} - gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} - rU \frac{(U^2 + V^2)^{1/2}}{H^2} + A\Delta U \dots (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -\frac{U}{H} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{V}{H} \frac{\partial V}{\partial y} - gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} - rV \frac{(U^2 + V^2)^{1/2}}{H^2} + A\Delta V \dots (2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \dots \dots \dots (3)$$

dimana :  $U = \int_{-H_0}^{\zeta} u dz ; V = \int_{-H_0}^{\zeta} v dz$

- U = Transpor dalam arah sumbu x (m<sup>2</sup>/det)
- V = Transpor dalam arah sumbu y (m<sup>2</sup>/det)
- T = Waktu (detik)
- A = koefisien viskositas eddy lateral atau koefisien pertukaran momentum pada arah horisontal

$$\Delta = \text{operator Laplace} = i \frac{\partial^2}{\partial x^2} + j \frac{\partial^2}{\partial y^2}$$

- i, j = unit vektor pada sumbu x dan y
- g = percepatan gravitasi bumi (m/det<sup>2</sup>)
- ζ = elevasi muka air dari muka air rata-rata
- H = kedalaman perairan (Ho + ζ)
- Ho = muka air rata-rata
- r = koefisien gesekan dasar = 0,003

(Chapra, 1997)

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U \frac{\partial c}{\partial x} + V \frac{\partial c}{\partial y} = A_D \left[ \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right] + \frac{v_r c_2}{H} - \frac{v_s c_1 Fp_1}{H}$$

I                  II                                  III                                  IV                  V

dimana:

- I = perubahan konsentrasi terhadap waktu
- II = persamaan adveksi
- III = persamaan difusi
- IV = persamaan resuspensi
- V = persamaan pengendapan

$v_r$  = kecepatan resuspensi (m/det)

$C_1$  = konsentrasi logam berat Cu (mg/l)

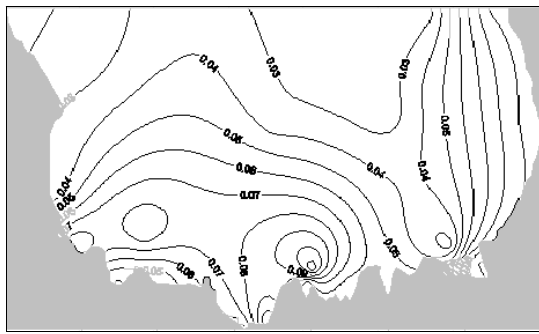
$C_2$  = konsentrasi TSS (mg/L)

$v_s$  = kecepatan mengendap (*settling*) (0,0025 m/det)

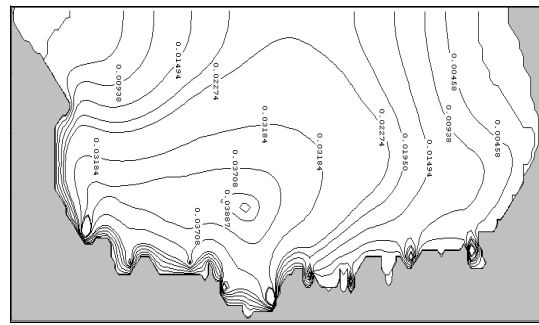
$Fp_1$  = fraksi partikel

Pada model ini, jumlah sel yang digunakan adalah 141 x 50 sel dengan lebar sel Δx dan Δy adalah 250 m.

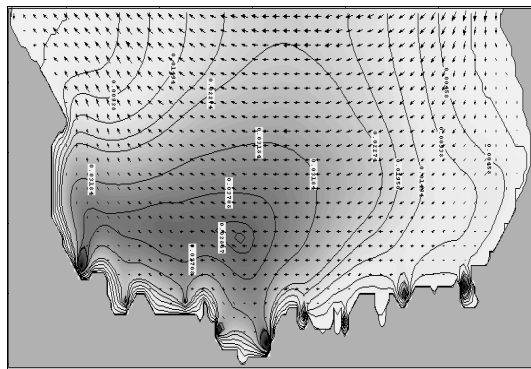
Sebagai nilai awal, diterapkan nilai nol untuk semua parameter yang ada dalam model. Selanjutnya, pada syarat batas terbuka (daerah model yang berbatasan dengan laut terbuka) menggunakan syarat batas radiasi untuk kecepatan arus dan konsentrasi Cu terlarut. Selain itu, diterapkan pula hasil ramalan ORI-Tide di batas terbuka sebagai gaya pembangkit arus.



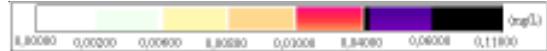
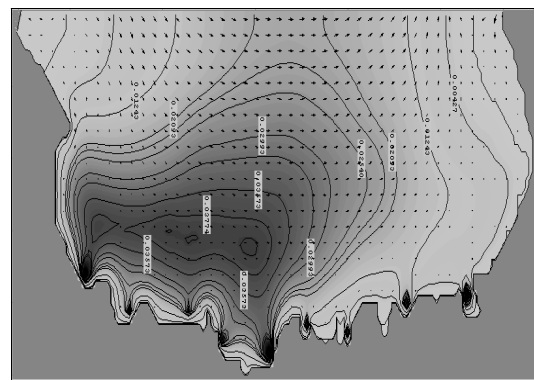
**Gambar 1.** Pola sebaran konsentrasi Cu hasil pengamatan



**Gambar 2.** Pola sebaran konsentrasi Cu hasil simulasi model



**Gambar 3.** Pola arus pasut dan sebaran konsentrasi Cu terlarut saat pasang



**Gambar 4.** Pola arus pasut dan sebaran konsentrasi Cu terlarut saat surut

## Hasil dan Pembahasan

Hasil penyebaran Cu terlarut untuk data lapangan dan model diperlihatkan pada Gambar 1 dan 2. Dapat dilihat bahwa pola sebaran konsentrasi Cu hasil simulasi model memiliki pola yang mendekati dengan pola sebaran konsentrasi Cu hasil pengamatan sebagai data validasi. Nilai konsentrasi Cu hasil simulasi model memiliki nilai yang lebih kecil daripada nilai konsentrasi Cu hasil pengamatan lapang. Hal ini disebabkan oleh metode *upstream* yang digunakan dalam model memiliki kelemahan dimana hasil perhitungan numeriknya lebih kecil dari hasil data lapangan, serta tidak dilibatkannya nilai debit air dalam model hidrodinamika. Secara umum pola konsentrasi hasil model mendekati dengan pola hasil pengamatan lapang.

Hasil dari simulasi model ini merupakan pola arus yang dibangkitkan oleh pasut (arus pasut), yang merupakan nilai kecepatan arus rata-rata (average velocity) untuk seluruh kolom perairan yang telah diintegrasikan terhadap kedalaman dari dasar sampai

ke permukaan bebas (Chapra, 1997). Simulasi model pola arus ini dilakukan pada kondisi pasang (flood tide) dan surut (ebb tide). Dari hasil simulasi pola arus pasut saat air pasang menunjukkan bahwa arus masuk ke dalam teluk dari mulut teluk bagian timur menuju daerah pantai teluk Jakarta dan akhirnya keluar melalui mulut teluk bagian barat dengan kecepatan maksimum sebesar 10,6 cm/det dan kecepatan rata-ratanya sebesar 1,8 cm/det (Gambar 3). Saat surut arus masuk ke dalam teluk dari mulut teluk bagian barat dan keluar melalui mulut teluk bagian timur dengan kecepatan maksimum sebesar 17,1 cm/det dan kecepatan arus rata-ratanya sebesar 1,1 cm/det (Gambar 4).

Simulasi pola sebaran konsentrasi logam berat Cu terlarut juga terlihat mengikuti pola arus yang ada. Dalam simulasi ini telah ditentukan sebelumnya posisi sumber (source) dan nilai konsentrasi dari logam berat Cu yang diperoleh dari Pemda DKI Jakarta (1999). Posisi sumbernya berada di muara-muara sungai yang dapat mewakili sungai-sungai yang bermuara ke Perairan Teluk Jakarta dengan nilai konsentrasi yang

konstan dan berbeda-beda. Masukan (source) dan pengurangan (sink) nilai konsentrasi Cu terlarut dari faktor resuspensi dan pengendapan (settling) nilainya konstan, tetapi berbeda untuk setiap posisi sel. Dari hasil simulasi diperoleh nilai konsentrasi dari resuspensi pada sel terpilih di dekat sumber sebesar 0,367 µg/L dan 0,037 µg/L pada posisi yang jauh dari sumber, sedangkan pengurangan (sink) nilai konsentrasi akibat pengendapan (settling) pada posisi dekat sumber sebesar 0,212 µg/L dan 0,021 µg/L.

Pola sebaran konsentrasi Cu terlarut oleh arus pasut saat kondisi air pasang (posisi MSL) memiliki pola yang menyebar dari posisi sumbernya ke arah barat sesuai dengan pola arus yang terbentuk dengan nilai konsentrasi rata-rata yang diperoleh saat kondisi ini adalah 8,832 µg/L (Gambar 3). Saat kondisi air surut (posisi MSL) pola sebaran konsentrasi Cu terlarut yang terbentuk cenderung menyebar dari posisi sumbernya ke arah timur mengikuti arus yang terbentuk dengan nilai konsentrasi rata-rata yang diperoleh saat kondisi ini adalah 8,670 µg/L (Gambar 4). Pola penyebaran logam Cu di dalam kolom air demikian ini, diduga berkaitan dengan pola arus yang timbul di Teluk Jakarta pada saat pasang. Pada saat pasang arus mengalir dari timur ke barat, sedang pada saat surut terjadi sebaliknya. Oleh karena itu pada saat pasang konsentrasi Cu cenderung lebih tinggi ke arah barat, karena didorong oleh arus pasang dari arah timur, sementara pada saat surut terjadi sebaliknya.

Hasil simulasi ini memperlihatkan adanya degradasi penurunan nilai konsentrasi, dimana nilai tertinggi terdapat pada dekat sumber (muara sungai) dan menurun dengan semakin jauhnya dari sumber. Secara umum, peranan adveksi atau arus pasut sangat dominan dalam pola penyebaran logam berat Cu terlarut. Liebes (1992) menyatakan bahwa pergerakan air di laut merupakan hasil 2 proses : adveksi dan turbulensi. Kebanyakan transpor advectif di laut disebabkan oleh arus. United States Congress (1987) menyatakan bahwa arus merupakan salah satu faktor yang dapat membawa bahan pencemar dari satu tempat ke tempat lain.

Hasil simulasi ini memberikan gambaran mengenai dispersi logam Cu dalam kolom air pada saat pasang maupun surut. Data ini sangat bermanfaat dalam menduga luas persebaran dampak logam Cu yang berasal dari muara-muara sungai yang bermuara di Teluk Jakarta, sehingga dapat dilakukan langkah-langkah antisipatif dalam pengelolaan dampak lingkungan yang ditimbulkan.

## Kesimpulan

Secara umum, pola sebaran konsentrasi logam berat Cu terlarut memiliki pola yang mirip dengan data lapangan. Peranan komponen adveksi sangat dominan dalam pola penyebaran konsentrasi Cu terlarut. Walaupun demikian, penelitian ini perlu disempurnakan, yaitu dengan melibatkan debit air serta komponen logam berat Cu yang tidak terlarut. Selain itu, data arus lapangan diperlukan dalam memvalidasi model hidrodinamika ini.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada segenap pihak yang telah membantu penerbitan tulisan ini, terutama rekan-rekan reviewer pada Jurnal Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro atas saran dan perbaikan makalah ini.

## Daftar Pustaka

- [CCREM] Canadian Council of Resource and Environmental Ministers. 1987. Canadian Water Quality Guidelines. Inland Waters Directorate, Environmental Canada, Ottawa. Chapra, S. C. (1997). Surface Water-Quality Modelling. The McGraw Hill Companies, New York.
- Dietrich G, Kalle K, Krauss W, Siedler G. 1980. General oceanography, an introduction, 2<sup>nd</sup> edition. John Wiley and Sons
- Liebes SM. 1992. An Introduction to Marine Biogeochemistry. John Willey & Sons, INC.
- Neumann G and Pierson WJ. 1966. Principles of Physical Oceanography. Prentice Hall Inc.
- Pemda DKI Jakarta. 1999. Laporan Neraca Kualitas Lingkungan Daerah Propinsi DKI Jakarta Buku III. Jakarta.
- Pond S and Pickard GL. 1983. Introductory Dynamical Oceanography. Pergamon Press.
- Rammig, H. G. and Z. Kowalik. 1980. Numerical Modelling of Marine Hydrodynamics Applications to Dynamic Physical Processes. Elsevier Scientific Publishing Company. New York
- [UK Marine SACP] United Kingdom Marine Sanctuary and Conservaton Projects. 2005. Water quality. [www.Ukmarinesac.org.uk/activities/waterquality/wq](http://www.Ukmarinesac.org.uk/activities/waterquality/wq) diakses tanggal 12 Maret 2005 jam 06.10 WIB.
- [USC] United States Congress. 1987. Waste in marine environments. US Government Printing. Washington DC.