

Simulasi Pola Sebaran Logam Berat Tembaga (Cu) di Perairan Kota Pekalongan

Osen Faber Romario Tampubolon^{1*}, Aris Ismanto¹, Agus Anugroho Dwi Suryo¹, Muslim¹,
Elis Indrayanti¹

¹Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro.
Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang Semarang, 50275 Telp/fax (024) 747 4698
Email : *osentampu@gmail.com

Abstrak

Logam tembaga (Cu) banyak digunakan dalam proses produksi suatu industri baik sebagai bahan baku, katalisator ataupun bahan utama. Logam Cu termasuk ke dalam kelompok logam essential, karena pada konsentrasi yang rendah dibutuhkan oleh organisme. Namun demikian, pada konsentrasi tinggi logam Cu ini akan mempunyai sifat toksik. Keberadaan logam dari industri akan mencemari lingkungan perairan, termasuk perairan laut. Kota Pekalongan merupakan salah satu sentra industri tekstil (Batik). Selama proses pembuatan batik ini dapat menghasilkan limbah, logam Cu. Logam Cu dari daerah industri akan terbawa oleh aliran air sungai atau *run off* daratan dan menuju ke perairan laut. Selama berada di perairan laut, logam ini akan mengalami distribusi dan pengenceran oleh arus laut. Tujuan penelitian ini adalah untuk memprediksi sebaran Cu di Perairan Kota Pekalongan serta simulasi distribusinya dengan pendekatan model matematika dua dimensi. Tahap pemodelan distribusi Cu menggunakan pemodelan hidrodinamika untuk memprediksi arah dan kecepatan arus laut serta dilanjutkan modul transport untuk memodelkan distribusi Cu. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi Cu di perairan Kota Pekalongan berkisar antara 0,011 – 0,007 mg/l. Simulasi persebaran Cu di Perairan Kota Pekalongan pada musim timur menunjukkan bahwa pola persebaran menuju ke arah Barat.

Kata Kunci : Distribusi Cu, hidrodinamika, pemodelan matematika, Perairan Pekalongan.

Abstract

Cu (Cuprum) is one of heavy metals than commonly used for industry as raw material, or catalyst. Cu is included in the essential heavy metal group, which is a low level that is needed by organisms, but it's toxic when at a high level. Thus, high concentration of Cu elements in the waters tends to pollute the waters. Pekalongan City is the center of the textile (Batik) industry, where one of the wastes produced in the batik-making process is heavy metal Cu, which is used during the batik washing process. The purpose of this research is to predict the condition of Cu in the water of Pekalongan City Waters and to simulate its distribution using 2 dimension mathematical model approach. The Cu distribution modeling stage used the hydrodynamic model to predict the direction and velocity of ocean currents, followed by the transport module to model the Cu distribution. The results show that the Cu concentration in the waters of Pekalongan City range from 0.011 - 0.007 mg/l. Simulation of the distribution of Cu in the waters of Pekalongan City in the eastern season shows that the Cu concentration is distributed westward.

Keywords : Cu Distribution, Hydrodynamic Model, Pekalongan City Waters.

PENDAHULUAN

Perairan Pekalongan memiliki garis pantai kurang lebih sepanjang 6 km membentang dari Barat ke Timur dan berhadapan langsung dengan Laut Jawa. Secara morfologis pantainya berbentuk landai yang didominasi oleh hamparan pasir, tidak berbatu, perairannya bersifat terbuka, bukan merupakan teluk dan ombak pantainya relatif berkekuatan rendah. Warna perairan pantai keruh kecoklatan dan baru kurang lebih 1 mil warna terlihat hijau kebiruan. Kedalaman perairan pantai antara 0,5 – 25 m dengan kecepatan arus yang

cukup deras (Pemprov Jateng, 2020). Pekalongan sebagai salah satu kota di Jawa Tengah, dikenal sebagai sentra produksi batik di Indonesia. Industri batik merupakan industri utama yang berperan terhadap sektor ekonomi Kota Pekalongan selain sektor perikanan dan kelautan (Mratihayani, 2013).

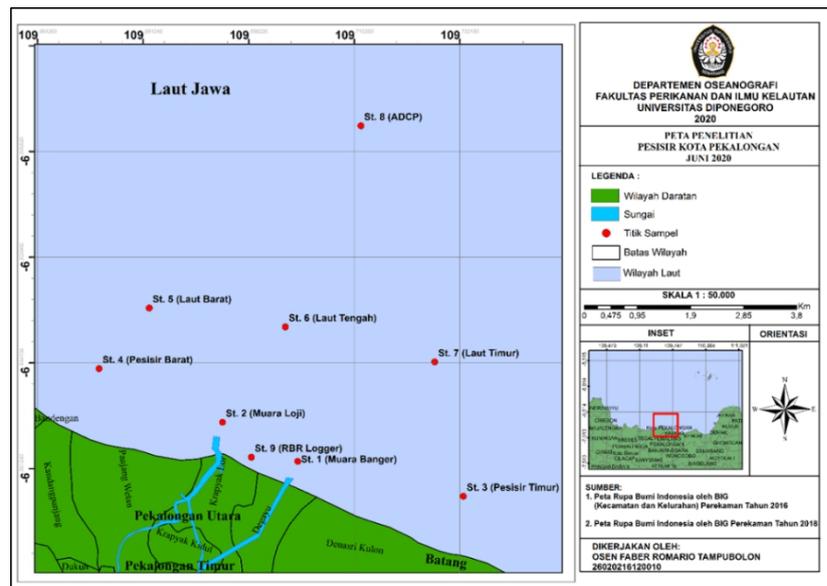
Fajri (2013) menyatakan bahwa pencemaran sungai di Kota Pekalongan sebagian besar berasal dari pembuangan limbah air dari hasil pada proses pewarnaan batik dan sablon. Limbah industri batik ini mengandung bahan-bahan sintetik yang tidak larut dan sulit diuraikan. Proses pewarnaan menghasilkan limbah cair yang berwarna keruh pekat dan mengandung logam berat. Hasil proses industri batik telah berdampak pada parameter kualitas air seperti COD (*Chemical Oxygen Demand*), kandungan tembaga, kandungan fosfor, kandungan nitrogen dan lain-lain menjadi di atas ambang baku mutu menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 115 Tahun 2003 tentang pedoman penentuan status mutu air (Pemerintah Kota Pekalongan, 2020).

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya di perairan Kota Pekalongan akibat dari limbah batik berkaitan dengan studi kualitas perairan Sungai Banger dan berkaitan tentang proses laju sedimentasi di perairan pesisir muara sungai. Penelitian terkait konsentrasi logam berat di perairan Pekalongan juga telah dilakukan pada sampel sedimen. Penelitian tentang bagaimana pola sebaran logam, khususnya Cu di wilayah muara akibat adanya arus laut belum pernah dilakukan. Muara Sungai Banger dipilih sebagai daerah penelitian karena dianggap sebagai salah satu sungai yang dipengaruhi oleh keberadaan industri batik di Kota Pekalongan. Diharapkan hasil simulasi model persebaran logam berat dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai kajian mitigasi bencana terjadinya pencemaran logam Cu, sehingga arah dan pola sebarannya serta luasan dari dampak pencemaran dapat diketahui. Sebaran logam berat tembaga (Cu) dan konsentrasinya di perairan berperan penting dalam penentuan tingkat pencemaran perairan dan pengaruhnya terhadap biota yang ada di perairan itu sendiri.

MATERI DAN METODE

Materi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan adalah sampel air yang selanjutnya dilakukan pengukuran konsentrasi Cu. Data sekunder berupa peramalan pasang surut perairan Pekalongan, peta bathimetri, debit air sungai Banger, arus laut dan Peta Rupa Bumi Indonesia.

Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif, yaitu metode ilmiah yang meneliti sekelompok objek atau suatu objek, kondisi, sistem atau peristiwa pada masa sekarang (Sudjana, 1992) yang bertujuan untuk menggambarkan suatu keadaan keadaan tertentu. Dalam penelitian akan menggambarkan kondisi logam berat tembaga (Cu) di muara sungai Banger perairan Pekalongan berdasarkan kondisi perairan yang dipengaruhi oleh arus, pasang surut, dan debit sungai Banger, di perairan Pekalongan. Penentuan lokasi penelitian menggunakan metode *purposive sampling*, yaitu teknik pengambilan sampel dengan pertimbangan tertentu oleh peneliti (Sugiyono, 2009). Lokasi penelitian secara lengkap disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian dan Titik Pengamatan

Pengambilan sampel air laut dilakukan pada saat kondisi perairan dalam keadaan pasang menuju surut. Sampel air diambil dengan menggunakan botol nansen dengan 2 kali pengulangan (5-15cm dari permukaan) dan selanjutnya dimasukkan ke botol sampel dan disimpan dalam cool box. Semua wadah sampel air dan botol nansen yang digunakan dilakukan pencucian terlebih dahulu sebelum digunakan. Hal ini untuk meminimalisir kontaminasi zat pencemar lainnya (Fitriyah *et al.*, 2011).

Sampel air diambil dengan menggunakan botol nansen minimal sebanyak 2 kali pengulangan. Air sampel diambil pada kolom air tepat sedikit masuk dibawah permukaan air (5-15 cm), kemudian dimasukkan ke botol sampel yang tidak tembus cahaya dengan volume 2 Liter kemudian disimpan dalam kotak pendingin yang sudah ditambahkan es kristal (*cool box*).

Analisis Logam Cu

Analisis konsentrasi logam berat Cu dilakukan di Balai Pengujian dan Laboratorium Lingkungan Hidup Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Jawa Tengah dengan menggunakan metode pengujian tembaga (Cu) Spektrofotometri Serapan Atom Graphite Furnace SSA (GF) dengan acuan metode SNI 6989-84:2019.

Pengukuran Pasang Surut

Data pasang surut perairan Pekalongan diukur langsung menggunakan logger pasut RBR dilapangan dengan mengikat alat logger pasut pada sebuah tongkat kayu yang tertancap pada dasar perairan serta ditambahkan dengan hasil peramalam instansi BIG sebagai pembanding data.

Batimetri

Data batimetri diukur langsung menggunakan echosounder dimana GPS dan Transduser diletakkan pada posisi sejajar vertikal menggunakan tongkat serta dengan kedalaman transduser yang tercelup sebesar 40cm. Bathimetri juga diperoleh dari hasil pengolahan data dari instansi terkait yang berwenang untuk mengeluarkan peta bathimetri (PUSHIDROSAL) dan kedua data tersebut diolah untuk memperoleh nilai bathimetri yang lebih presisi.

Debit Sungai

Nilai debit air sungai diamati secara langsung (in situ) dengan memperhitungkan dimensi dan kecepatan aliran sungai serta didukung oleh studi literatur atau informasi dari instansi Balai Besar Wilayah sungai (BBWS) Direktorat Jendral Sumber Daya Air, Kementerian PUPR, dan data yang diterbitkan oleh Pemerintah propinsi Jawa Tengah 2019

Data Angin

Data angin perairan Pekalongan Web Resmi Pemprov Jateng, 2019). dapat diperoleh dari instansi BMKG, Website Pemprov Jateng, dan mendownload langsung pada Website ECMWF.

Arus

Data arus diukur langsung menggunakan ADCP pada titik yang ditentukan dengan interval priode waktu pengukuran setiap 10 menit sepanjang 3 hari pengamatan, yang nanti akan digunakan untuk memverifikasi arus hasil pemodelan.

Tahap Validasi

Menurut Prasetya *et al.* (2017) pemodelan yang akurat membutuhkan representasi yang memadai baik mengenai parameter, proses dan kondisi batasan model. Aspek-aspek penting yang di perlukan sebagai pertimbangan dalam memilih/membuat sebuah model:

- 1) Kesesuaian dengan kondisi sesungguhnya, harus berhubungan dengan asumsi-asumsi yang diambil sebelum membuat model.
- 2) Kepentingan pemodel sesuai dengan informasi yang dibutuhkan.
- 3) Perlu validasi data berdasarkan pengalaman yang telah ada.

Untuk memastikan bahwa model yang akan digunakan sebagai analisis maka sebelumnya perlu dilakukan verifikasi terhadap hasil yang diperoleh dari simulasi dengan hasil pengamatan di lapangan; grafik pasang surut untuk membandingkan hasil model dan pengamatan serta verifikasi arus.

Verifikasi model dilakukan dengan menghitung *Root Mean Square (RMS Error)*. RMSE merupakan pengukuran yang menyatakan perbandingan antara nilai pengamatan dengan nilai hasil pemodelan (Chai and Draxler, 2014). Nilai RMSE dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{obs,i} - x_{model,i})^2}{n}}$$

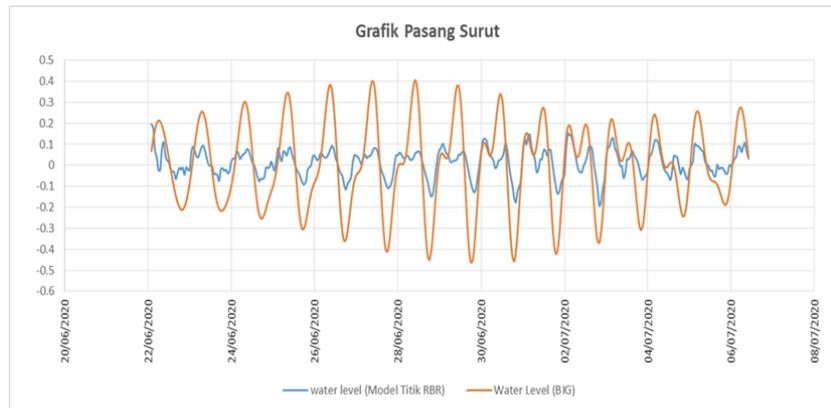
Dimana $X_{obs,i}$ menyatakan nilai observasi dan $X_{model,i}$ adalah nilai model; sedangkan n adalah banyaknya populasi. Proses verifikasi ini, dilihat sejauh mana kemiripan hasil simulasi terhadap data lapangan dan eror data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Pasang Surut

Kondisi pasang surut daerah penelitian disajikan pada Gambar 2. Data elevasi muka air laut hasil pemodelan memiliki kemiripan dengan data elevasi muka air laut hasil observasi lapangan yaitu menunjukkan pola pasang surut yang sama yaitu campuran condong harian tunggal (mixed tide prevailing diurnal). Hasil tersebut juga didukung oleh hasil validasi secara kuantitatif dengan nilai koefisien determinasi (R^2) cukup baik sebesar 0,6. Nilai ini menggambarkan bahwa nilai pasang surut hasil pemodelan dan hasil pengukuran lapangan memiliki hubungan korelasi yang baik dengan mendekati nilai 1. Ismanto *et al.*, (2019), menjelaskan bahwa besar magnitudo dan fase dari elevasi muka air model sudah mampu merepresentasikan kondisi di alam dan model memiliki kriteria yang cukup bagus, jika memiliki koefisien determinasi

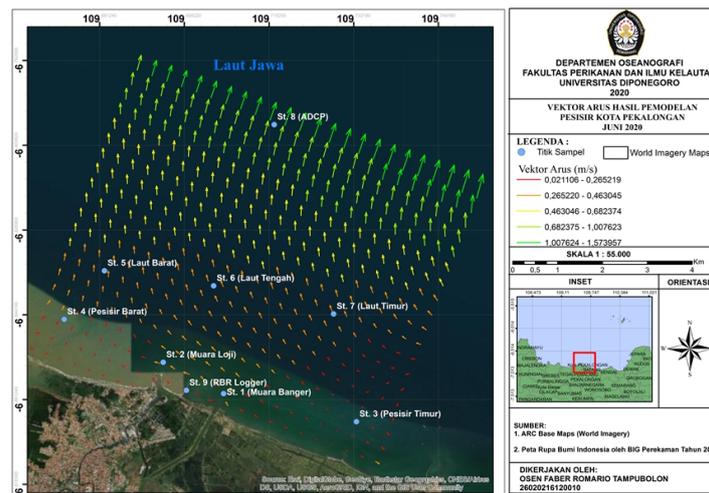
mendekati 1. Selanjutnya setelah dilakukan dengan uji RMSE, model juga memiliki nilai eror yang cukup kecil mendekati 0 yaitu 0,16. Elevasi muka air laut hasil model memiliki nilai eror yang kecil mendekati 0 dan nilai koefisien determinasi mendekati 1, maka model tersebut dikatakan sudah mampu untuk menggambarkan elevasi muka air laut di alam (Ismanto *et al.*, 2019). Dengan demikian hasil model pasut sudah dapat digunakan sebagai tahap awal pemodelan untuk sebaran logam Cu di perairan Kota Pekalongan.



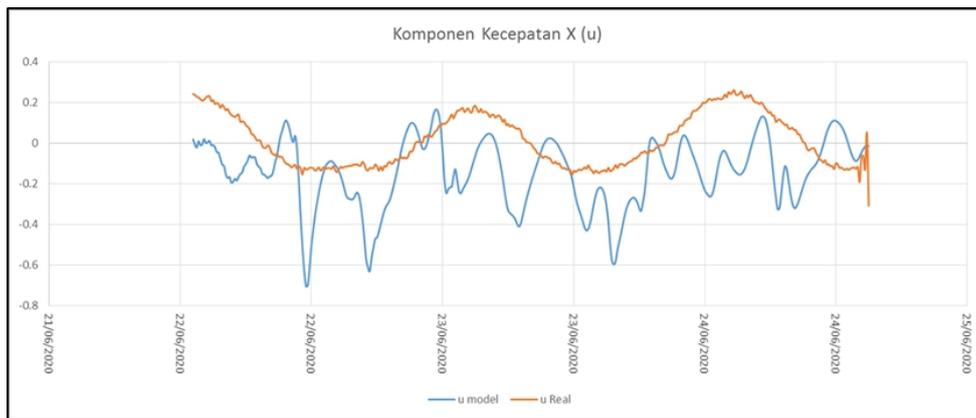
Gambar 2. Grafik Pasang Surut BIG dan Pemodelan Pada Titik RBR *Logger* Pasut.

Arus

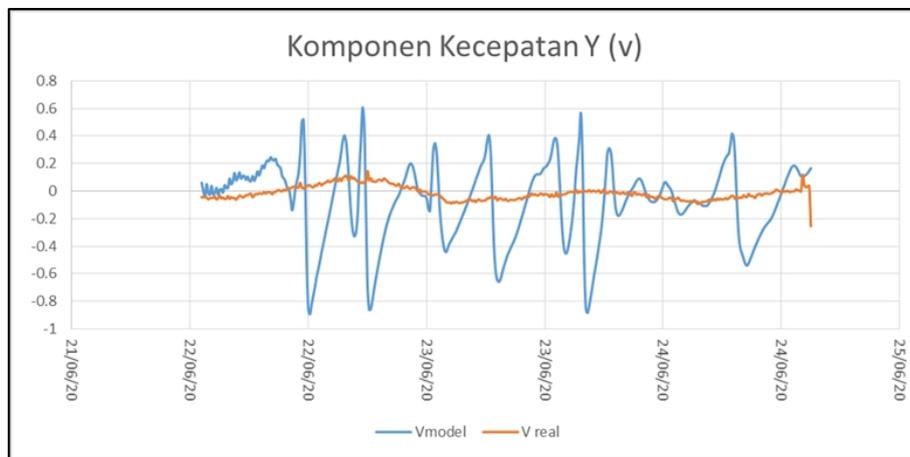
Data Arus hasil pemodelan diolah dengan pemodelan matematika dua dimensi. Simulasi pemodelan dilakukan selama 15 hari (22 Juni-06 Juli 2020). Kondisi pola arus hasil simulasi model saat pengambilan sampel di sajikan pada Gambar 3. Selanjutnya vektor arus tersebut diuraikan komponennya kecepatannya berdasarkan komponen u (kecepatan arah x) dan v (kecepatan arah y) (Gambar 4 dan Gambar 5).



Gambar 3. Pola Pergerakan Arus Pada Saat Pengambilan Sampel air (24 Juni 2020, pada kondisi pasang menuju surut)

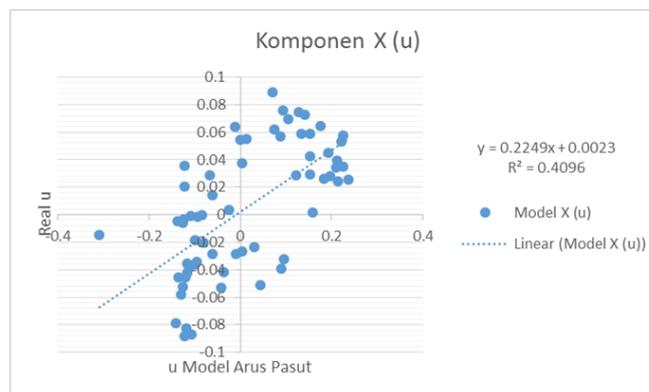


Gambar 4. Grafik Komponen Kecepatan Arah X (u).

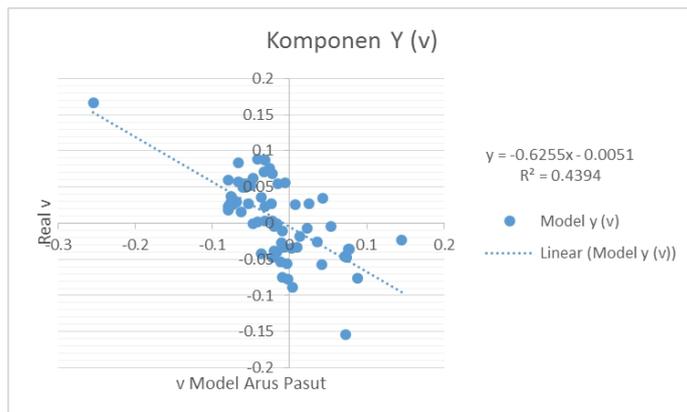


Gambar 5. Grafik Komponen Kecepatan Arah Y (v).

Selanjutnya data kecepatan arah u dan v hasil model dilakukan verifikasi dengan data kecepatan arah arus dari hasil pengukuran lapangan. Verifikasi dilakukan dengan melihat nilai korelasi kedua variabel tersebut. Hubungan korelasi kedua parameter selengkapnya disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

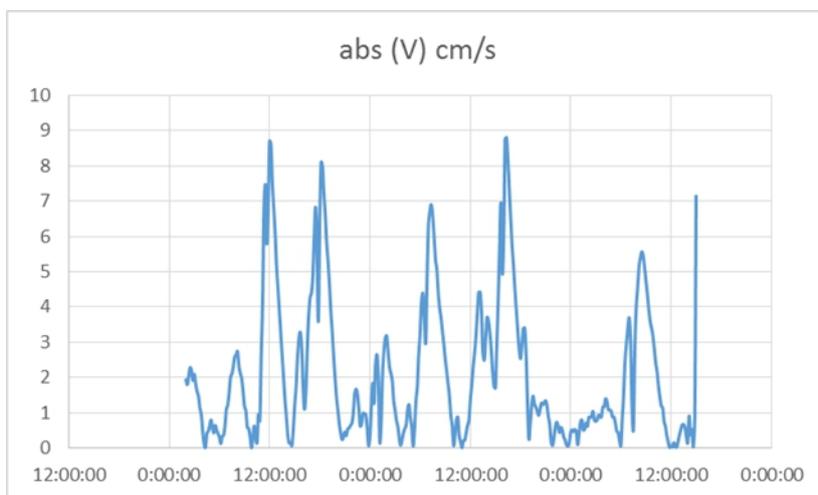


Gambar 6. Korelasi Kecepatan Arah U Hasil Pemodelan dan ADCP Lapangan.

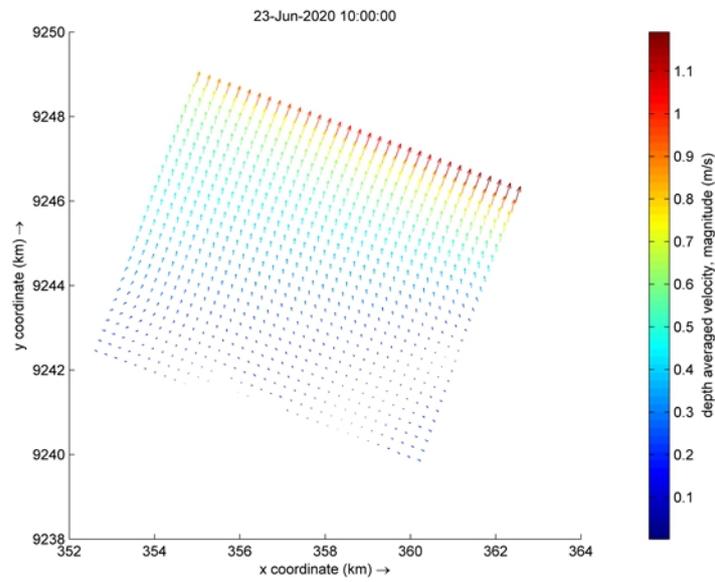


Gambar 7. Korelasi Kecepatan Arah V Hasil Pemodelan dan ADCP Lapangan.

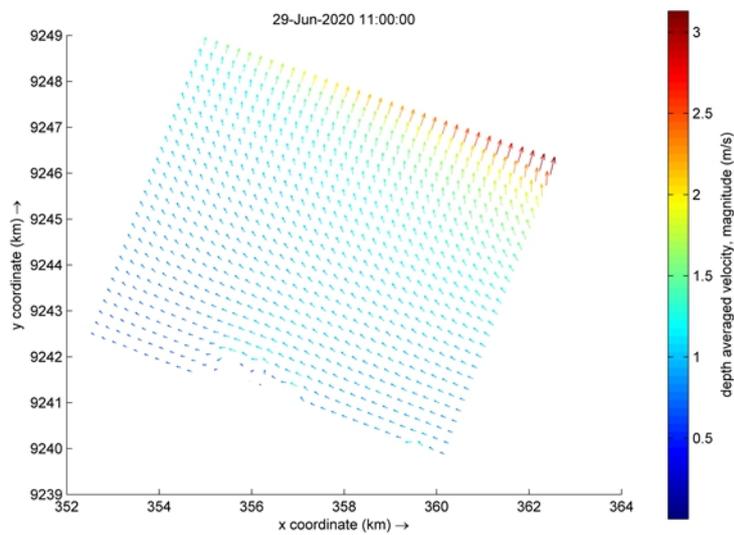
Pada hasil pemodelan komponen kecepatan u dan v didapatkan kecepatan arus maksimum adalah berturut-turut sebesar 0,17 m/s dan 0,59 m/s. Hasil tersebut tidak jauh berbeda dari hasil data yang diperoleh dilapangan untuk komponen kecepatan u dan v yaitu sebesar 0,22 m/s dan 0,18 m/s. Pola kecepatan arus hasil pemodelan dan data lapangan dapat dilihat pada gambar diatas. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa pola arus hasil pemodelan dan hasil observasi lapangan memiliki kemiripan. Arus hasil pemodelan dan lapangan memilki hubungan korelasi yang cukup baik dengan nilai korelasi /R-squared (R2) komponen u dan v berturut-turut 0,41 dan 0,44. Selain membandingkan kecepatan arus komponen u dan v, dilakukan juga pembuatan grafik residu dari kecepatan arus hasil pemodelan dan hasil observasi lapangan yang menunjukkan nilai kecepatan arus maksimum 0,086 m/s.



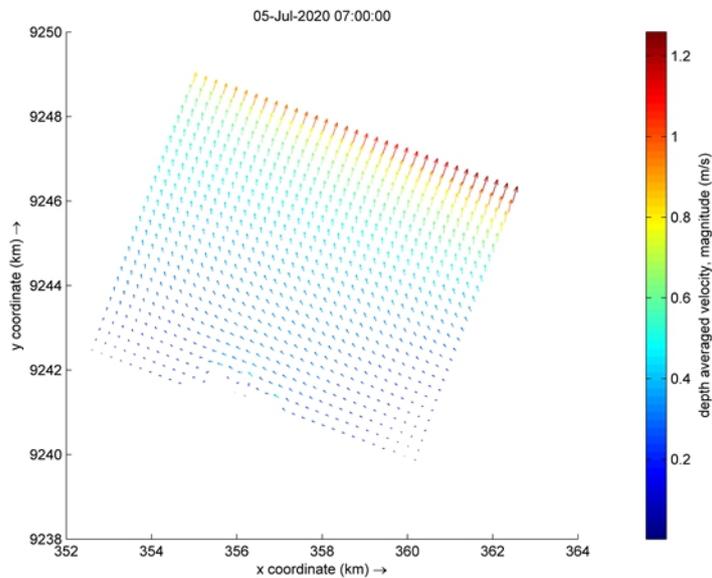
Gambar 8. Absolute Residu Kecepatan Pemodelan dan ADCP Lapangan



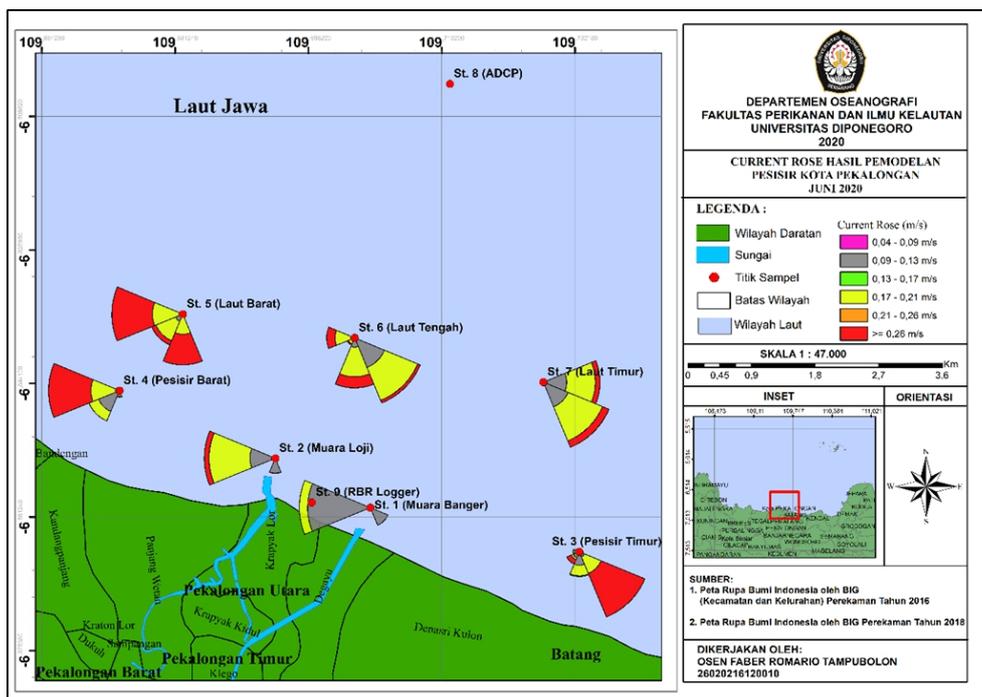
Gambar 9. Pola Pergerakan Arus 23 juni 2020 – Kondisi Pasang Menuju Surut



Gambar 10. Pola Pergerakan Arus 29 juni 2020 – Kondisi Pasang Menuju Surut



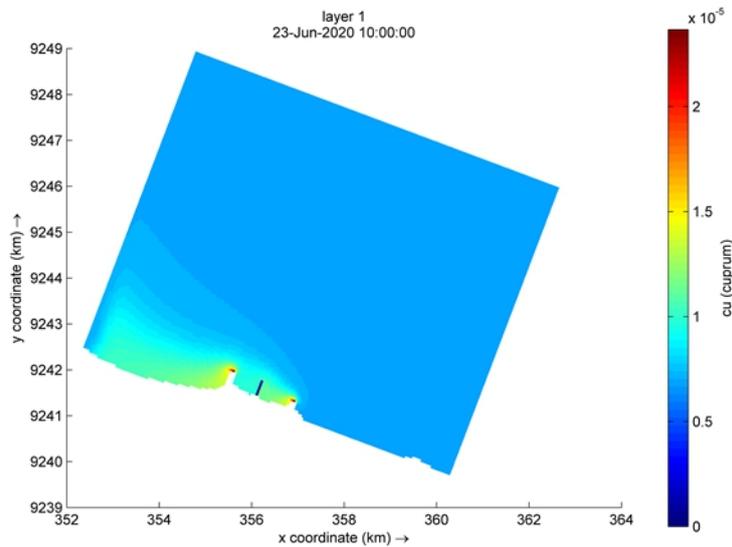
Gambar 11. Pola Pergerakan Arus 05 Juli 2020 – Kondisi Pasang Menuju Surut



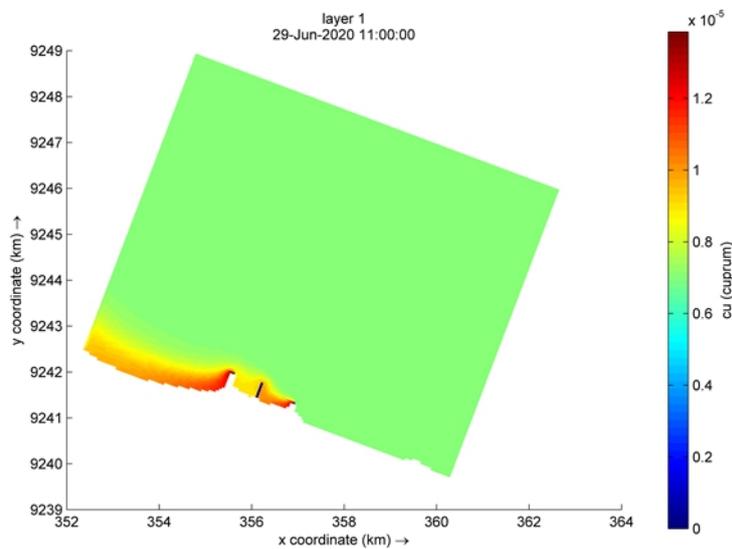
Gambar 12. Current Rose di Setiap Stasiun Pengamatan

Persebaran Cu (Cuprum)

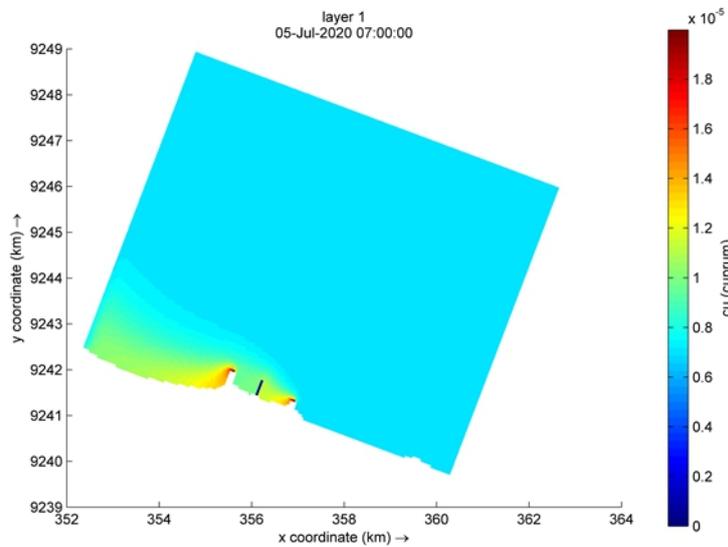
Persebaran Cu (Cuprum) hasil pemodelan diolah dengan pendekatan model matematika dua dimensi (Deltares, 2014), panjang waktu pemodelan 15 hari (22 juni-06 Juli 2020).



Gambar 13. Persebaran Cu pada tanggal 23 Juni 2020, kondisi pasang menuju surut.



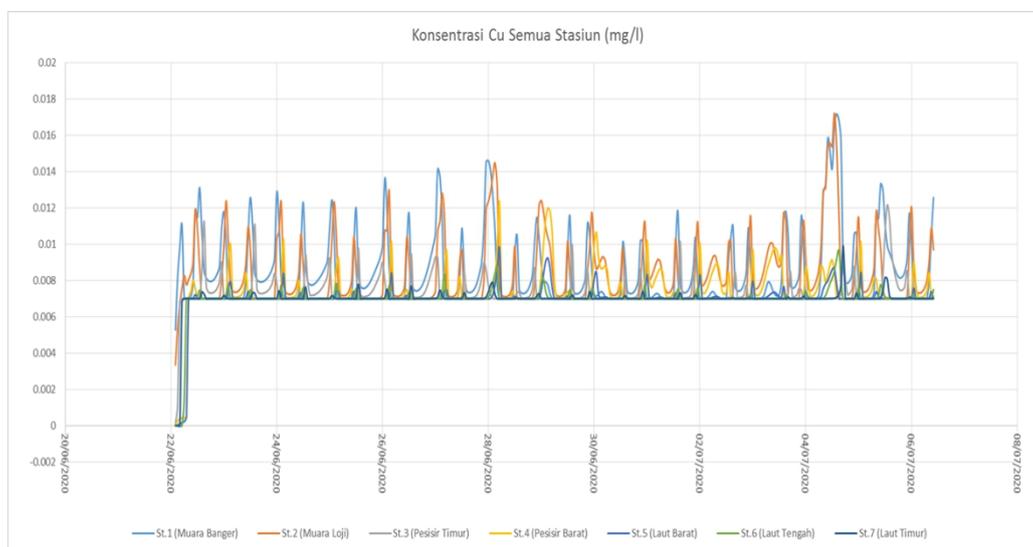
Gambar 14. Persebaran Cu pada tanggal 29 Juni 2020, kondisi pasang menuju surut.



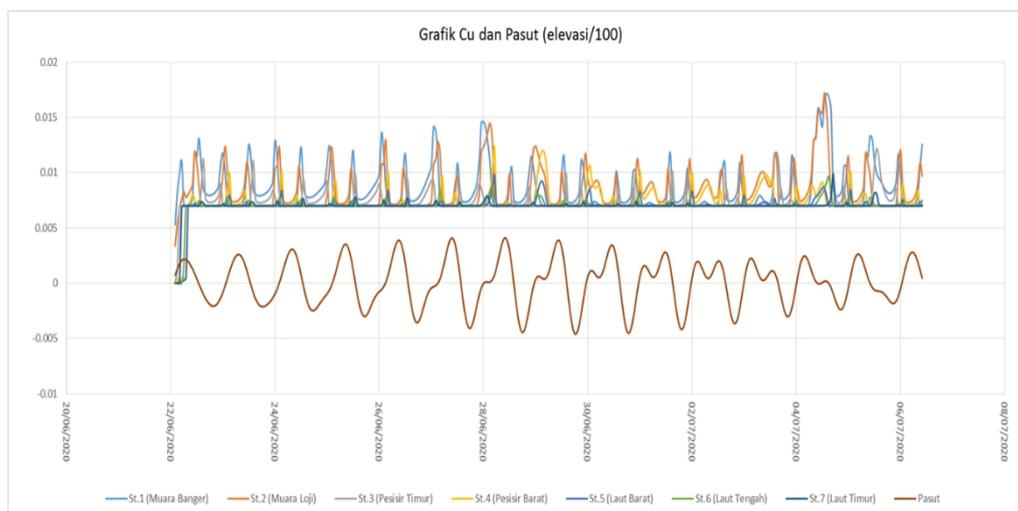
Gambar 15. Persebaran Cu pada tanggal 05 Juli 2020, kondisi pasang menuju surut.

Konsentrasi Cu

Berdasarkan hasil dari pengamatan dan analisa lab konsentrasi Cu (Cuprum) di perairan Kota Pekalongan memiliki nilai konsentrasi < 0,002 mg/l.



Gambar 16. Grafik Konsentrasi Cu Hasil Pemodelan juni, 2020



Gambar 17. Grafik Konsentrasi Cu Hasil Pemodelan dan Pasang Surut

Konsentrasi Cu (Cuprum) pada perairan Kota Pekalongan terbesar pada titik-titik stasiun yang berada didekat pesisir, berturut-turut nilai rata-rata dari konsentrasi terbesar ke terkecil dimulai dari stasiun 1 (muara sungai banger) 0,010973 mg/l, stasiun 2 (muara sungai loji) 0,010052, stasiun 4 (pesisir barat) 0,0077, dan stasiun 3 (pesisir timur) 0,00713 Gambar 16. Sedangkan pada stasiun laut tidak terlalu ada perubahan konsentrasi yang signifikan, hanya terdapat peningkatan konsentrasi di stasiun 5 (laut barat) 0,00724 dan pada kedua stasiun lainnya hanya memiliki konsentrasi yang sesuai dengan kondisi awal laut yaitu 0,007 mg/l Gambar 16. Berdasarkan nilai yang sudah dijelaskan dan pola hasil simulasi persebaran Cu (Cuprum) menunjukkan bahwa arus sejajar pantai (*Longshore current*) memiliki pengaruh yang cukup besar pada arah persebaran logam berat Cu (*Cuprum*). Pada Gambar 13 – Gambar 15 sebaran Cu (*Cuprum*) kita mengetahui bahwa arus pasang surut tidak begitu berpengaruh dengan kondisi sebaran logam berat Cu (Cuprum) di perairan Kota Pekalongan, sesuai dengan penelitian (Damayanti *et al.*, 2013) arus dominan yang bekerja di perairan Pekalongan adalah arus nonpasut. Pada daerah muara sungai juga terjadi proses *mixing* sehingga keberadaan Cu di kolom air akan segera berikatan dengan sedimen dan unsur-unsur yang ada pada kolom air tersebut.

Pada fase air surut Cu (Cuprum) condong menyebar luas dari titik lepasan menuju laut (Gambar 13 – 15). Sedangkan persebaran pada fase air laut pasang cenderung menyebar disekitar titik sumber lepasan. Secara umum, saat menuju pasang arah persebarannya mendekati pantai, sesuai dengan Purnama (2015) bahwa air pasang akan membawa elemen dari laut kedalam muara sungai untuk diendapkan di dalam muara sedangkan pada kondisi menuju surut terendah, arah persebaran dari titik lepasan menyebar luas ke arah lepas pantai. Pola persebaran ini didukung oleh pendapat Ismanto *et al.* (2019) bahwa pada saat surut, energi yang tercipta karena perubahan elevasi muka air laut lebih rendah apabila dibandingkan dengan pada saat pasang, yaitu ditandai dengan permukaan air yang tenang dan pergerakan massa air dari atau menuju ke laut relatif kecil. Pada grafik konsentrasi Cu (Cuprum) dan pasang surut gambar 17, kita dapat melihat bahwa *tren* grafik konsentrasi Cu akan meningkat disaat *tren* grafik pasang surut mengalami penurunan/ keadaan surut, disini dinyatakan bahwa disaat keadaan surut aliran arus (debit) sungai akan membawa material dari sungai tersebut (Ismanto *et al.*, 2019) yang merupakan inputan untuk logam berat Cu (Cuprum) akan meningkat, sehingga kondisi konsentrasi Cu (Cuprum) di kolom air juga akan ikut meningkat.

Angin musim sangat mempengaruhi arus musiman di perairan Kota Pekalongan Gambar 9 – 11, sehingga pola arus mengalami perubahan total dua kali setahun sesuai dengan perkembangan musim (Anggraeni *et al.*, 2016). Pada bulan juni-juli arah arus masih dipengaruhi oleh hembusan angin dari tenggara, (musim timur) Indonesia yang memiliki kecepatan angin yang kuat sehingga menimbulkan arus sejajar garis pantai (Anggraeni *et al.*, 2016). Persebaran Cu (Cuprum) dominan kearah barat, pola persebaran yang seperti ditunjukkan pada Gambar 9 – 11 ini besar dipengaruhi oleh arus yang bergerak pada musim timur sejajar pantai (*longshore current*) dari arah tenggara menuju barat laut yang didukung juga oleh (Rezki *et al.*, 2013) mengenai kondisi arus di pesisir Kota Pekalongan didominasi oleh arus sejajar pantai (*longshore current*), hal ini menjelaskan bahwa material yang ada di dalam kolom air laut akan didistribusikan mendekati sejajar sumbu x (barat ke timur pada musim timur).

Nilai konsentrasi Cu (Cuprum) tertinggi terdapat pada stasiun 1 (Muara Sungai Banger). Hal ini sedikit berbeda dengan konsep arus sejajar pantai (*longshore current*) yang mengatakan arus akan membawa material ke arah barat pada musim timur, tetapi konsentrasi Cu pada stasiun 2 (Muara Loji) memiliki nilai rata-rata konsentrasi yang lebih rendah dibanding stasiun 1 (muara banger). Fenomena ini disebabkan karena adanya bangunan pantai berupa *groin* yang dibangun tegak lurus dengan garis pantai, dimana *groin* itu akan menahan material yang ada di dalam kolom air (Pranoto *et al.*, 2016) di sisi sebelah timur *groin* tersebut (pada musim timur, arus bergerak dari arah tenggara ke barat laut) sehingga material Cu (Cuprum) yang keluar dari sungai banger pun tertahan di muara (sisi timur *groin*). Proses pengadukan pada daerah pesisir muara sungai karena gelombang dan limpahan debit air sungai (kecepatan arus sungai yang tinggi) dapat menyebabkan terjadinya *mixing* (sedimen dasar kembali terangkat ke kolom air), besarnya arus sungai dan gelombang yang terjadi pada daerah muara di stasiun 1 (Muara Banger) dan stasiun 2 (Muara Loji) ini diduga ikut menjadi penyebab tingginya kandungan logam berat di stasiun ini, perairan ini mempunyai kedalaman yang dangkal sehingga memungkinkan terjadinya resuspensi logam berat karena pengadukan sedimen dasar.

Kita juga tidak lupa bahwa logam berat Cu (Cuprum) yang berada pada kolom air mudah berikatan dengan senyawa lain (kurang stabil) dan dapat mudah terendap bersama sedimen tergantung dengan ukuran butir sedimen tersebut, dimana wilayah pesisir perairan Kota Pekalongan didominasi oleh ukuran butir pasir dan pasir lanau (Ikhwan *et al.*, 2015) yang mudah mengikat logam berat Cu (Cuprum) dan memiliki hubungan positif (semakin kecil ukuran butir akan semakin mudah mengikat logam berat) sesuai dengan pernyataan Maslukah (2013), hal ini juga akan membatasi sebaran menjadi tidak terlalu luas dan jauh ke arah laut karena akan segera terendap bersama sedimen di daerah pesisir.

Stasiun-stasiun pengamatan pada daerah laut, hanya satu stasiun yang mengalami peningkatan nilai konsentrasi dari kondisi normal yaitu stasiun 5 (laut barat). Hal ini menunjukkan bahwa arus sejajar pantai (*longshore current*) bekerja memindahkan logam berat Cu (cuprum) ke arah barat dan selanjutnya terbawa oleh arus pasang surut hingga sampai pada titik pengamatan di daerah laut stasiun 5 (laut barat).

Nilai konsentrasi Cu (Cuprum) dari hasil pemodelan pada stasiun 1 (Muara Banger) dan stasiun 2 (Muara Loji) sudah melebihi nilai ambang batas aman bagi biota laut yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup yaitu 0,008 mg/l dan disaat konsentrasi yang cukup tinggi akan bersifat racun sesuai dengan pendapat serta logam berat Cu (Cuprum) merupakan salah satu logam berat yang paling beracun bagi organisme laut selain merkuri dan perak (Clark, 2003). Hasil model menunjukkan bahwa dapat diduga perairan pesisir kota Pekalongan terutama sekitar muara loji dan banger sudah tercemar. Hal ini juga dibenarkan oleh Dinas Kementerian Perikanan dan Kelautan kota Pekalongan, mereka menyebutkan bahwa cukup sulit untuk menemui/menangkap ikan di sekitar daerah pesisir (bahkan sudah jarang ada ikan) Kota Pekalongan. Para nelayan setidaknya harus berlayar minimal sejauh 5-7 km kearah laut untuk menangkap

ikan agar tangkapan maksimal. Dinas Kelautan dan Perikanan juga mengatakan bahwa di daerah pesisir Kota Pekalongan juga sudah sangat jarang ditemui karang dan lamun akibat dari pencemaran sungai yang juga sudah sampai mencemari laut.

KESIMPULAN

Hasil model menunjukkan bahwa pola persebaran Cu (Cuprum) di Perairan Kota Pekalongan pada musim timur menyebar mengikuti dengan arah gerak arus yaitu arus non-pasut (*longshore current*/ arus sejajar pantai) yang bergerak dominan ke arah barat pada musim timur dan hasil pemodelan persebaran Cu (Cuprum) pada perairan Kota Pekalongan hanya mendapati 2 stasiun yang sudah dikategorikan mengalami pencemaran (tingkat pencemaran ringan) yaitu stasiun 1 dengan rata-rata konsentrasi 0,011 mg/l dan stasiun 2 dengan rata-rata konsentrasi 0,01005 mg/l, melainkan pada 5 stasiun lainnya memiliki nilai rata-rata konsentrasi Cu berturut-turut dari stasiun 3 –7 yaitu 0,00713 mg/l, 0,0077 mg/l, 0,00724 mg/l, 0,007 mg/l, dan 0,007 yang sudah mendekati nilai ambang batas (NAB) 0,008 mg/l untuk kehidupan biota laut sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Tahun 2004 tentang “Baku Mutu Air laut”.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni, S., Satriadi, A., and Saputro, A. A. D., 2016. Karakteristik Kecepatan Dan Arah Dominan Arus Sejajar Pantai (*Longshore Current*) Di Pantai Larangan Kabupaten Tegal Jawa Tengah. *Journal of Oceanography*, 5(3) : 390 – 397.
- Chai, T., and Draxler, R. R., 2014. Root Mean Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE)? – Arguments Against Avoiding RMSE in The Literature. *Geosci. Model Dev.*, 7 (3) : 1247-1250.
- Clark, R.B. 2003. *Marine Pollution*. Oxford University Press. New York.
- Damayanti, R., Hariadi, H., and Atmodjo, W., 2013. Pengaruh Arus Terhadap Sebaran Muatan Padatan Tersuspensi Di Pantai Slamaran Pekalongan. *Journal of Oceanography*, 2(1) : 128-142.
- Deltares. 2014. *Delft3D-Flow: User Manual*. Deltares, Delft
- Fajri, P. Y. N., Yuwono, A. S., Yuli, S., 2013. Pemodelan Spasial untuk Penentuan Lokasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Batik di Kota Pekalongan, Jawa Tengah. Tesis- Pascasarjana IPB
- Fitriyah, A.W., Utomo, Y., dan Kusumaningrum, I.K. 2011. Analisis Kandungan Tembaga (Cu) Dalam Air Dan Sedumen Di Sungai Surabaya. Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Malang,
- Ikhwan, R., Saputro, S., and Hariadi, H., 2015. Studi Sebaran Sedimen Dasar Di Sekitar Muara Sungai Pekalongan, Kota Pekalongan. *Journal of Oceanography*, 4(3) : 617 - 624.
- Ismanto, A., D.H., Ismunarti. D.N., Sugianto. S., Maesarah. P., Subardjo. Suryoputro, A. A. D. and H., Siagian. 2019. The Potential of Ocean Currents Electrical Power Sources Alternatives in Karimunjawa Islands Indonesia. *ASTES*, 4(6): 126-133
- Maslukah, L., 2013. Hubungan antara Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn dengan Bahan Organik dan Ukuran Butir dalam Sedimen di Estuari Banjir Kanal Barat, Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 2(3) : 55-62.
- Mratihatani, A.S. 2013. Menuju Pengelolaan Sungai Bersih Di Kawasan industri Batik Yang Padat Limbah Cair (Studi Empiris : Watershed Sungai Pekalongan di Kota Pekalongan) . FEB UNDIP Semarang. Pemerintah Kota Pekalongan Jawa Tengah. 2019. <https://Pekalongankota.go.id/>
- Pemerintah Propinsi Jawa Tengah. 2019. <https://jatengprov.go.id/>.
- Pranoto, H., Atmodjo, W. and Sugianto, D. N., 2016. Studi Sedimentasi Pada Bangunan Groin di Perairan Timbulsloko, Kabupaten Demak. *Journal of Oceanography*, 5 (1) : 86 – 95.
- Prasetya, A., Yudianto, D. dan Guan, Y., 2017. Pemodelan Numerik 1-D Adveksi-Dispersi Untuk Memprediksi Konstruksi Polutan Dalam Badan Sungai . *Jurnal Teknik Sipil*. 14(3) : 188 – 194.
- Purnama, A.E., Hariadi, H., dan Saputro, S., 2015. Pengaruh Arus, Pasang Surut Dan Debit Sungai Terhadap Distribusi Sedimen Tersuspensi Di Perairan Muara Sungai Ciberes, Cirebon. *Jurnal Oseanografi.*, 4 (1) : 74 – 84.

- Rezki, C.T., Subardjo, P., Wulandari, S.Y. 2013. Studi Sebaran Logam Berat Pb (Timbal) Pada Sedimen Dasar Perairan Pantau Slamaran Kota Pekalongan. *Jurnal Oseanografi*, 2(1)
- Sudjana, M. M. 1992. *Metode Statistika*. Tarsito. Bandung
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif*. Alfabeta, Bandung.