

ANALISIS POLA SEBARAN TUMPAHAN MINYAK MENTAH (*CRUDE OIL*) DENGAN PENDEKATAN MODEL HIDRODINAMIKA DAN *SPILL ANALYSIS* DI PERAIRAN BALONGAN, INDRAMAYU, JAWA BARAT

Maya Eria Br Sinurat ^{*)}, Aris Ismanto ^{*)}, Hariyadi ^{*)}

^{*)} Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H, Tembalang, Semarang. 50275 Telp/fax (024)7474698

Email : mayaeria@yahoo.co.id ; aris.ismanto@gmail.com

Abstrak

Perairan Balongan Kabupaten Indramayu merupakan salah satu perairan yang dimanfaatkan untuk distribusi minyak mentah. Kegiatan distribusi minyak mentah tidak terlepas dari kegiatan bongkar muat kapal minyak pada sarana tambat. Kegiatan bongkar muat dapat mengakibatkan terjadinya masalah tumpahan minyak. Minyak mentah yang tumpah mengakibatkan penutupan fisik permukaan air dan memberikan dampak negatif bagi lingkungan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sebaran tumpahan minyak mentah di Perairan Balongan pada kondisi pasang surut sehingga dapat memberikan informasi kepada pembaca mengenai pola sebaran tumpahan minyak di Perairan Balongan, Indramayu, Jawa Barat. Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif. Tahapan penelitian ini yaitu pengukuran data lapangan, pemodelan hidrodinamika dan pemodelan tumpahan minyak mentah. Penentuan titik pengukuran data arus menggunakan metode *purposive sampling* dan pengukuran data arus laut lapangan menggunakan metode *Lagrange*. Sebaran tumpahan minyak mentah dianalisis dengan pendekatan model hidrodinamika dan *spill analysis*. Simulasi model hidrodinamika di Perairan Balongan menghasilkan pola arus yang berotasi berlawanan dengan arah jarum jam dalam satu periode pasang surut. Simulasi model tumpahan minyak di Perairan Balongan menghasilkan dominan sebaran tumpahan minyak mentah ke arah barat-laut dan bergerak mengikuti arah arus sesuai kondisi pasang surut. Pada saat pasang, minyak mentah bergerak ke barat-laut sedangkan pada saat surut, minyak mentah bergerak ke arah tenggara.

Kata Kunci: Tumpahan Minyak Mentah, Model Hidrodinamika, Model *Spill Analysis*, Perairan Balongan.

Abstract

Balongan Waters, Indramayu district is one of the waters utilized in the distribution of crude oil. Activities of crude oil distribution can not be separated from the activities of loading and unloading of crude oil on the boat mooring facilities. Loading and unloading activities may lead to the problem of crude oil spill. The crude oil spilled will cover surface of the water and give a negative impact to the environment. This study was conducted to determine the distribution of spilled crude oil on tidal condition in the Balongan Waters so that research results can provide information for the readers of the crude oil spill distribution pattern in the Balongan Waters, Indramayu, West Java. This research method using quantitative method. Stages of this research are the measurement of field data, hydrodynamics modeling and modeling of the oil spill. Determination of the flow of data measurement point using purposive sampling method and ocean current data measurement field using Lagrange. Distribution spilled crude oil is analyzed using hydrodynamics model and spill analysis. Simulation of hydrodynamics model in the Balongan Waters produce a rotating flow pattern and the current move counter of clockwise for a period of tides. Simulation model of crude oil spill in the Balongan Waters show that the dominant distribution crude oil spill to the northwest and move to follow the direction of the flow according

to the tidal conditions. At high tide, crude oil moves to the northwest, while at low tide crude oil moving toward the southeast.

Keywords: Crude Oil Spill, Hydrodynamics Model, Spill Analysis Model, Balongan Waters.

1. Pendahuluan

Perairan Balongan Kabupaten Indramayu merupakan salah satu perairan yang dimanfaatkan untuk distribusi minyak mentah dan minyak hasil pengolahan oleh perusahaan minyak dan gas. Distribusi minyak mentah ke kilang Balongan menggunakan kapal pengangkut (*tanker*). Kapal pengangkut minyak mentah ditambat pada sarana tambat yaitu SPM (*Single Point Mooring*). Melalui SPM, minyak mentah yang ada di kapal pengangkut dibongkar serta dialirkan ke kilang Balongan. Kegiatan bongkar muat minyak mentah dapat mengakibatkan terjadinya kasus tumpahan minyak mentah di laut.

Fakhrudin (2004 dalam Kuncowati, 2010) menyatakan bahwa tumpahan minyak mentah di laut mengakibatkan dampak jangka pendek dan dampak jangka panjang. Dampak jangka pendek yaitu rusaknya membran sel biota laut yang menyebabkan penetrasi molekul hidrokarbon ke dalam sel biota laut. Hal tersebut mengakibatkan biota laut berbau minyak sehingga mutunya menurun. Adapun dampak jangka panjang dari pencemaran minyak mentah di laut yaitu terganggunya rantai makanan di laut. Hal tersebut dikarenakan komponen minyak mentah tidak dapat larut di dalam air sehingga minyak mentah mengapung dan mengakibatkan permukaan air berwarna hitam. Lapisan minyak mentah yang berada di permukaan air menghalangi pertukaran gas dari atmosfer dan mengurangi kelarutan oksigen di air sehingga mengganggu proses respirasi dan fotosintesis pada fitoplankton yang merupakan produsen makanan di laut. Terganggunya rantai makanan di laut berdampak negatif pada ekosistem laut. Oleh karena itu, tindakan penanggulangan kasus tumpahan minyak mentah perlu dilakukan.

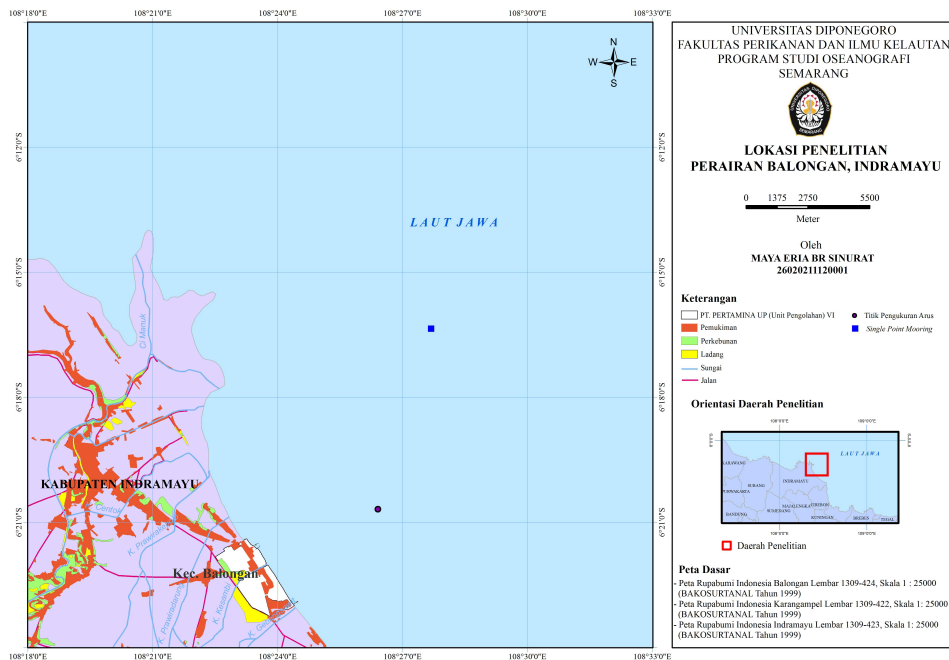
Salah satu cara dalam penanggulangan kasus tumpahan minyak yaitu kajian resiko dengan memperkirakan penyebaran tumpahan minyak di laut. Penyebaran tumpahan minyak dapat diperkirakan menggunakan pemodelan. Pemodelan dilakukan dengan pendekatan numerik eksak pada faktor-faktor yang berpengaruh dalam penyebaran tumpahan minyak tersebut. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan sebaran tumpahan minyak di Perairan Balongan menggunakan pendekatan hidrodinamika dan *spill analysis* yang diharapkan dapat mewakili kejadian yang sebenarnya untuk membantu proses penanganan tumpahan minyak.

1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif. Metode kuantitatif ini telah memenuhi kaidah-kaidah ilmiah yaitu konkret atau empiris, objektif, terukur, rasional, dan sistematis. Metode ini memberikan data penelitian berupa angka-angka dan menganalisisnya menggunakan statistik atau model (Sugiyono, 2006). Metode ini digunakan untuk menggambarkan dan menerangkan pola sebaran tumpahan minyak mentah di perairan Balongan.

Titik pengukuran arus laut ditentukan menggunakan metode *purposive sampling*. Menurut Sugiyono (2006), metode *purposive sampling* merupakan metode penentuan titik percontohan berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tertentu. Penentuan titik pengukuran arus yang jauh dari pantai pada penelitian ini berdasarkan pertimbangan peruntukan data yaitu mengetahui karakteristik arus laut lepas pantai.

Pengukuran arus laut untuk perairan dengan sifat pasang surut campuran seperti Perairan Balongan dilakukan sekurang-kurangnya 25 jam dengan interval 30 menit (Poerbandono dan Djunasjah, 2005). Pada penelitian ini dilakukan pengukuran arus laut selama tiga hari. Teknik pengukuran arus laut dilakukan dengan metode *Lagrange*. Sudarto (1993) menyatakan bahwa pengukuran arus laut menggunakan metode Lagrange dilakukan dengan pengamatan gerakan massa air menggunakan pelampung yang dilepas di permukaan air dalam rentang waktu tertentu. Arah arus ditentukan dengan menggunakan kompas penunjuk arah yang diarahkan ke pelampung.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Perairan Balongan, Indramayu.

Pembuatan model pola arus dilakukan dengan tiga tahapan model seperti di bawah ini:

1. *Pre-processing hydrodynamic model*

Tahapan awal pada pemodelan ini yaitu melakukan digitasi data batimetri dan garis pantai. Desain domain pemodelan dibagi menjadi bentuk *grid dimension* sebanyak 249 x 219 sel dengan jarak sel (*grid spacing*) yaitu 150 meter. Domain model memiliki batas darat yaitu daratan Kabupaten Indramayu yang merupakan batas barat dan batas perairan Laut Jawa yang merupakan batas utara, batas timur, dan batas selatan domain model.

2. *Processing hydrodynamic model*

Tahapan *processing model* yaitu tahapan pengaturan model hidrodinamika yang terdiri dari pengaturan parameter dasar dan parameter hidrodinamika.

a. Parameter dasar

Modul yang dipilih pada pengaturan ini yaitu *Hydrodynamic only*. *Bathymetry* diatur dengan *type cold start*, *map projection UTM-49*, *apply coriolis forcing*. Pengaturan waktu simulasi model dilakukan sebagai berikut:

- lama simulasi : 15 hari
- jumlah langkah waktu (*time step range*) : 43200 langkah
- langkah waktu (*time step interval*) : 30 detik
- tanggal awal simulasi (*simulation start date*) : 1/11/2014
- tanggal akhir simulasi (*simulation end date*) : 15/11/2014.

b. Parameter hidrodinamika

Elevasi awal muka air laut (*Initial Surface Elevation*) yaitu -0,12m. Data elevasi pasang surut diperoleh dari ramalan selama 15 hari. Viskositas Eddy (*Eddy Viscosity*) diatur menggunakan formula *smargorinsky* dengan nilai 0,5. Koefisien gaya gesek dasar (*resistance*) diatur menggunakan *manning number* dengan nilai 30 m^{1/3}/det. *Wind Conditions* diatur menjadi *Constant in Space* menggunakan data angin yang diperoleh dari *ECMWF*.

3. *Post-processing hydrodynamic model*

Tahapan *post-processing model* terdiri dari ekstraksi data dan *plotting* data. Ekstraksi data dilakukan untuk memperoleh nilai angka dari hasil model yang telah disimulasikan. Data di

titik pengamatan diekstrak dalam format txt. *Plotting* data dilakukan untuk menampilkan visualisasi dari hasil simulasi model.

Perhitungan validasi dilakukan dengan analisis statistik dengan menghitung nilai CF (*Cost Function*). CF adalah nilai *non-dimensional* yang menghitung perbedaan antara nilai-nilai model dengan data pengukuran sehingga menunjukkan kecocokan antara dua kumpulan data tersebut (George *et al.*, 2010). CF dihitung dengan rumus:

$$CF = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (D_n - \bar{D})^2} \quad (2)$$

Keterangan:

N : jumlah data pengamatan

n : nilai ke n , dengan $n = 1, 2, 3, \dots$

D : nilai pengamatan

M : nilai model

σ_D : standar deviasi.

Standar deviasi dihitung dengan rumus :

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (D_n - \bar{D})^2} \quad (3)$$

Keterangan:

\bar{D} : rata-rata data pengamatan.

George *et al.* (2010) membagi validasi data berdasarkan nilai CF menjadi empat kriteria, masing-masing yaitu:

1. $CF < 1$: sangat baik
2. $1 < CF < 2$: baik
3. $2 < CF < 3$: bersyarat
4. $CF > 3$: buruk.

Analisis sebaran tumpahan minyak menggunakan pendekatan model numerik. Pelaksanaan penyelesaian dengan metode numerik dilakukan dengan tiga tahapan model, yaitu:

1. *Pre-processing* model tumpahan minyak
Tahapan awal pada pemodelan tumpahan minyak mentah yaitu persiapan data *input* awal yang menjadi masukan dalam simulasi model tumpahan minyak yaitu *oil properties* dan data hasil keluaran simulasi model hidrodinamika yang berupa debit perairan dalam arah u dan v (P dan Q flux).
2. *Processing oil spill model*
Tahapan *processing model* yaitu tahapan pengaturan model tumpahan minyak mentah yang terdiri dari pengaturan parameter dasar dan parameter tumpahan minyak (*oil spill parameters*).
 - a. Parameter dasar
Modul yang dipilih pada pengaturan ini yaitu *oil spill analysis*. Tipe data yang dipilih yaitu *Hydrodynamic* dan dimasukkan data fluks hasil model hidrodinamika. Skenario jenis minyak mentah yang tumpah yaitu *light crude* yang berasal dari kebocoran *loading/discharge* pada SPM 150.000 DWT. Skenario volume minyak mentah yang tumpah yaitu 240 m^3 selama 60 menit sehingga debitnya yaitu $0,06 \text{ m}^3/\text{det}$. Nilai suhu perairan diatur dengan nilai yang konstan berdasarkan nilai rata-rata dari data situs *ECMWF* yaitu $27,6^\circ\text{C}$ dan nilai salinitas yang diberikan yaitu 33 ppm. Pengaturan periode simulasi model dilakukan
 - b. Parameter tumpahan minyak
Parameter suhu udara diisi $27,88^\circ\text{C}$ dan nilai *cloudiness* diisi 0,7212%. Adapun data *oil properties* dimasukkan data *properties* minyak mentah.
3. *Post-processing model*
Tahapan *post-processing model* merupakan ekstraksi data hasil simulasi model numerik. Tahapan ini terdiri dari bagian ekstraksi dengan untuk melihat pola sebaran lapisan tumpahan

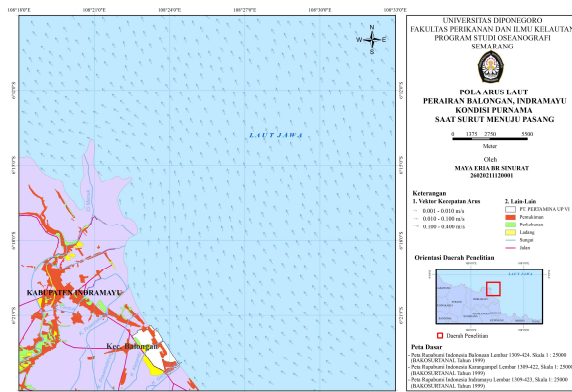
minyak mentah. Hasil pemodelan berupa degradasi warna yang menunjukkan ketebalan minyak mentah di permukaan laut.

2. Hasil dan Pembahasan

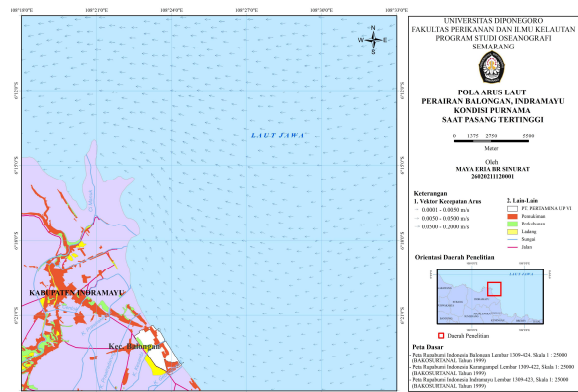
A. Hasil

Hasil simulasi model hidrodinamika

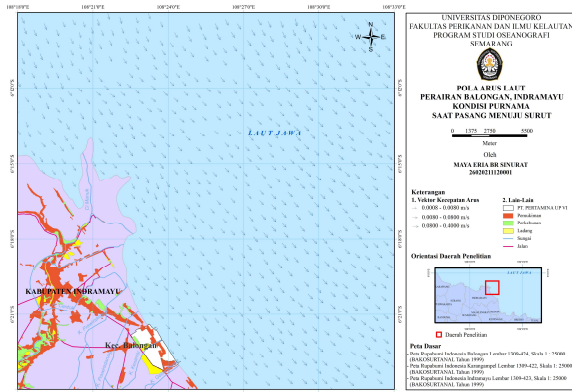
Hasil simulasi model hidrodinamika memperlihatkan pola atau arah pergerakan arus Perairan Balongan sesuai dengan kondisi pasang surut di perairan tersebut. Hasil simulasi pola arus ditampilkan dalam kondisi pasang surut purnama dan kondisi pasang surut perbani. Pada masing-masing kondisi pasang surut dibagi lagi menjadi empat yaitu pola arus pada saat surut menuju pasang, pola arus saat pasang tertinggi, pola arus saat pasang menuju surut serta pola arus saat surut terendah. Hasil simulasi pola arus dapat dilihat pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 9.



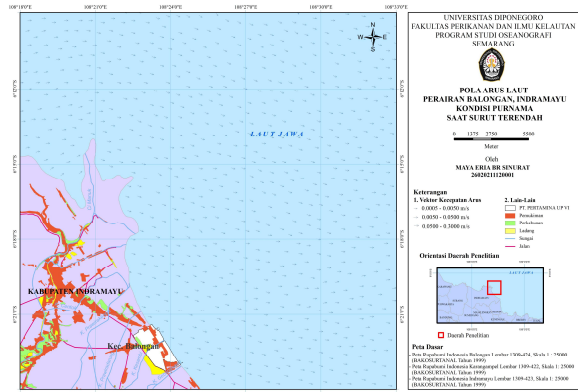
Gambar 2. Pola Arus Pada Kondisi Purnama saat Surut Menuju Pasang.



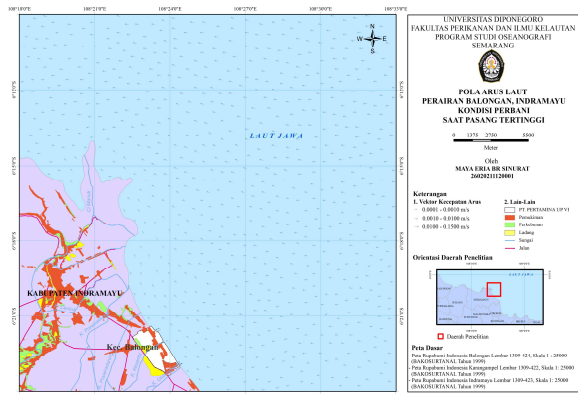
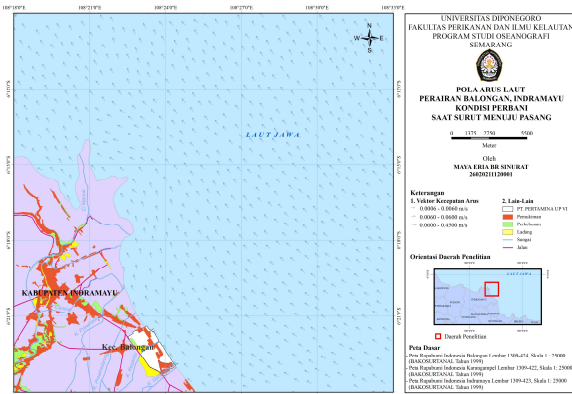
Gambar 3. Pola Arus Pada Kondisi Purnama saat Pasang Tertinggi.



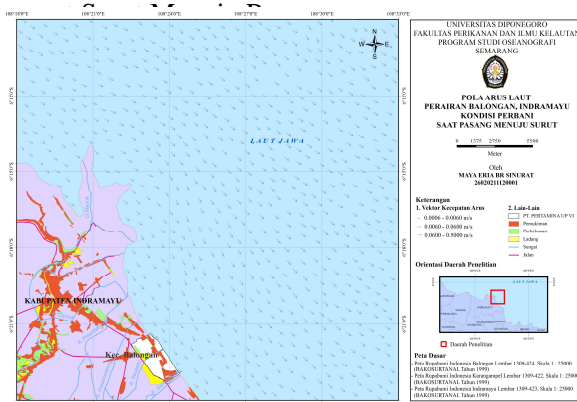
Gambar 4. Pola Arus Pada Kondisi Purnama saat Pasang Menuju Surut.



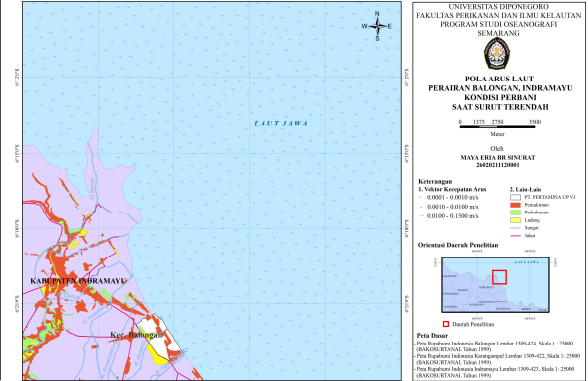
Gambar 5. Pola Arus Pada Kondisi Purnama saat Surut Terendah.



Gambar 6. Pola Arus Pada Kondisi Perbani



Gambar 7. Pola Arus Pada Kondisi Perbani saat Pasang Tertinggi

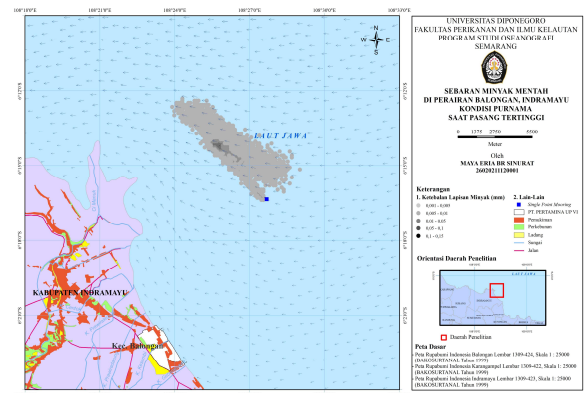
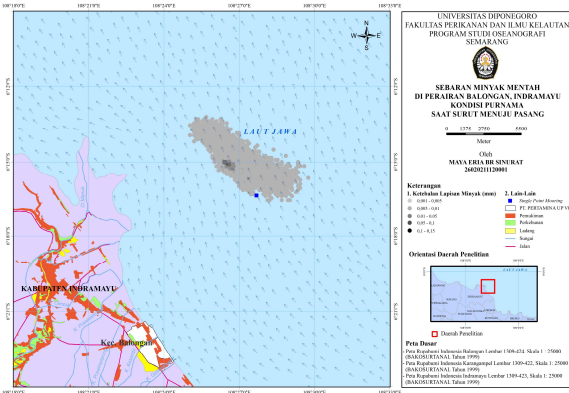


Gambar 8. Pola Arus Pada Kondisi Perbani saat Pasang Menuju Surut.

Gambar 9. Pola Arus Pada Kondisi Perbani saat Surut Terendah.

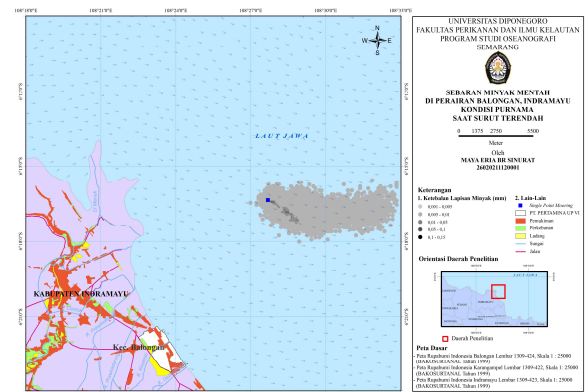
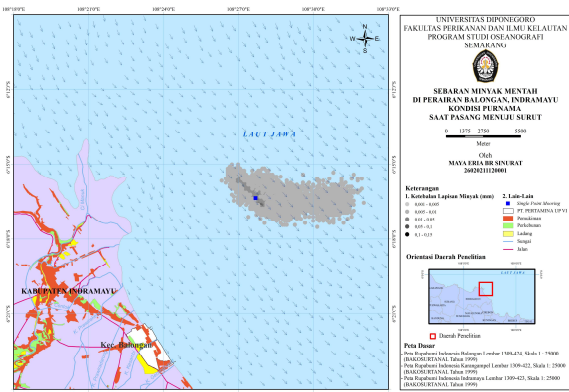
Sebaran minyak mentah berdasarkan kondisi pasang surut

Sebaran minyak mentah berdasarkan kondisi pasang surut ditampilkan dengan dua kondisi yaitu kondisi pasang surut purnama dan kondisi pasang surut perbani. Masing-masing kondisi pasang surut dibagi menjadi empat yaitu sebaran minyak mentah pada saat surut menuju pasang, sebaran minyak mentah saat pasang tertinggi, sebaran minyak mentah saat pasang menuju surut serta sebaran minyak mentah saat surut terendah. Hasil simulasi model tumpahan minyak dapat dilihat pada Gambar 10 sampai dengan Gambar 17.

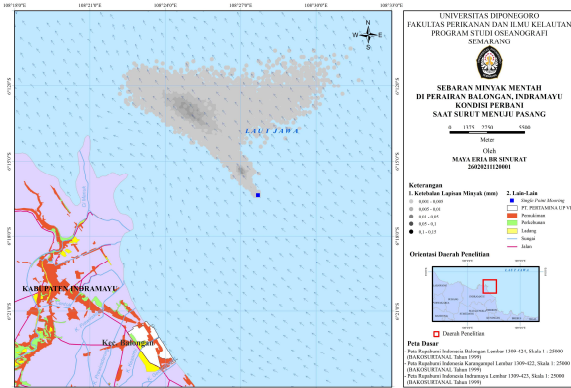


Gambar 10. Sebaran Minyak Mentah Pada Kondisi Purnama saat Surut Menuju Pasang.

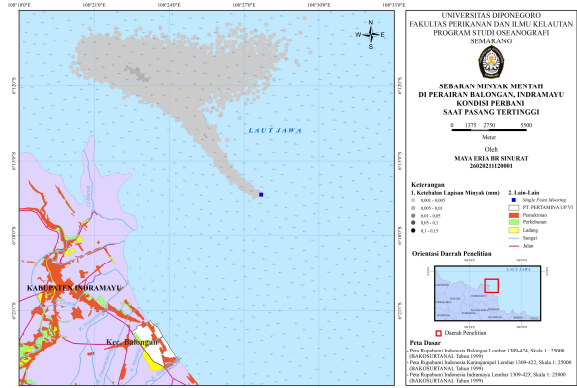
Gambar 11. Sebaran Minyak Mentah Pada Kondisi Purnama saat Pasang Tertinggi.



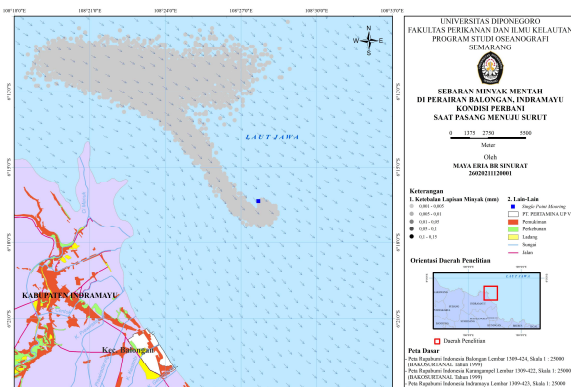
Gambar 12. Sebaran Minyak Mentah Pada Kondisi Purnama saat Pasang Menuju Surut.



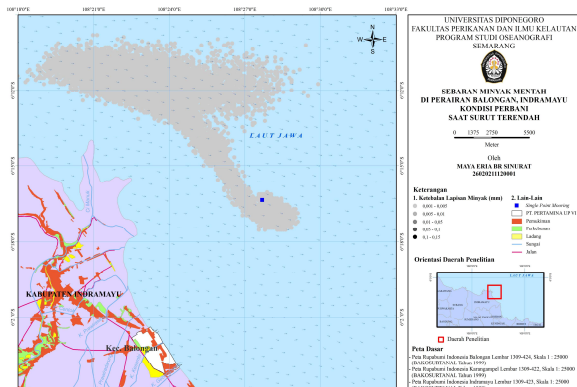
Gambar 13. Sebaran Minyak Mentah Pada Kondisi Purnama saat Surut Terendah.



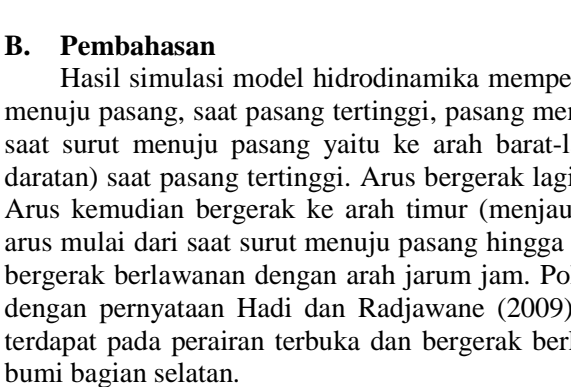
Gambar 14. Sebaran Minyak Mentah Pada Kondisi Perbani saat Surut Menuju Pasang.



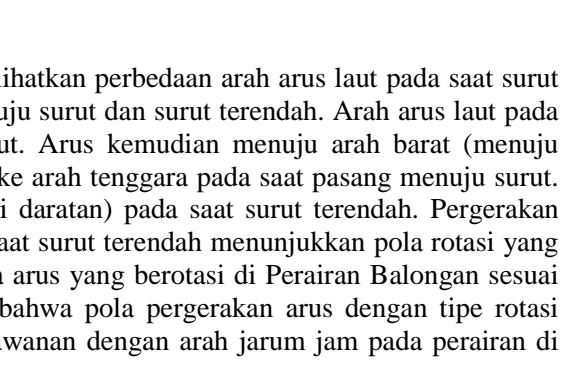
Gambar 15. Sebaran Minyak Mentah Pada Kondisi Perbani saat Pasang Tertinggi.



Gambar 16. Sebaran Minyak Mentah Pada Kondisi Perbani saat Pasang Menuju Surut.



Gambar 17. Sebaran Minyak Mentah Pada Kondisi Perbani saat Surut Terendah.



B. Pembahasan

Hasil simulasi model hidrodinamika memperlihatkan perbedaan arah arus laut pada saat surut menuju pasang, saat pasang tertinggi, pasang menuju surut dan surut terendah. Arah arus laut pada saat surut menuju pasang yaitu ke arah barat-laut. Arus kemudian menuju arah barat (menuju daratan) saat pasang tertinggi. Arus bergerak lagi ke arah tenggara pada saat pasang menuju surut. Arus kemudian bergerak ke arah timur (menjauhi daratan) pada saat surut terendah. Pergerakan arus mulai dari saat surut menuju pasang hingga saat surut terendah menunjukkan pola rotasi yang bergerak berlawanan dengan arah jarum jam. Pola arus yang berotasi di Perairan Balongan sesuai dengan pernyataan Hadi dan Radjawane (2009) bahwa pola pergerakan arus dengan tipe rotasi terdapat pada perairan terbuka dan bergerak berlawanan dengan arah jarum jam pada perairan di bumi bagian selatan.

Perbandingan hasil simulasi model hidrodinamika Perairan Balongan antara kondisi perbani dan kondisi purnama memperlihatkan arah arus yang cenderung sama tetapi kecepatan arus yang berbeda. Kecepatan arus pada kondisi purnama lebih besar daripada kecepatan arus pada kondisi perbani sesuai dengan pernyataan Hadi dan Radjawane (2009) bahwa kecepatan arus kuat terjadi saat kondisi purnama karena posisi bumi paling dekat dengan dengan bumi sehingga gaya tarik bulan terhadap bumi kuat. Wibisono (2005) menyatakan bahwa gaya tarik bulan yang kuat

terhadap bumi mengakibatkan perbedaan elevasi yang tinggi sehingga selisih antara pasang tertinggi dan surut terendah juga tinggi dan mengakibatkan volume massa air mengalir lebih besar.

Hasil pemodelan tumpahan minyak mentah di Perairan Balongan pada kondisi dan saat pasang surut memperlihatkan adanya sebaran minyak mentah di permukaan perairan dan peristiwa dispersi minyak di perairan. Minyak mentah yang terapung, terdispersi, dan tersebar di permukaan air dikarenakan oleh sifat minyak itu sendiri serta sifat fisika air laut. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Doerffer (1992 *dalam* Nugroho, 2006) bahwa karakteristik minyak akan menentukan nasib minyak pada saat tumpah.

Sifat minyak mentah seperti massa jenis yang lebih kecil dibandingkan dengan massa jenis air laut mengakibatkan minyak mentah terapung di permukaan laut. Sifat fisika air laut yaitu arus laut menyebabkan minyak mentah yang terapung di permukaan laut menyebar ke arah yang cenderung sama dengan arah arus. Minyak mentah yang tersebar di permukaan air memiliki ketebalan yang berbeda karena adanya proses pelapukan seperti penguapan dan perlapisan. Terdapat pula hasil dispersi minyak yaitu senyawa minyak yang berpisah dari kumpulan minyak terlihat pada titik-titik minyak yang berada di sekitar ujung kumpulan minyak mentah. Dispersi minyak terjadi akibat dari turbulensi terutama gelombang laut yang dibangkitkan oleh angin.

Analisis sebaran tumpahan minyak pada kondisi pasang surut dibagi menjadi delapan kondisi, masing masing yaitu:

1. Analisis sebaran minyak mentah pada kondisi purnama saat surut menuju pasang
Tumpahan minyak mentah di Perairan Balongan pada kondisi purnama saat surut menuju pasang menyebar ke arah barat-laut sejauh ± 7 km dan ke arah tenggara sejauh $\pm 3,7$ km dari sumber tumpahan.
2. Analisis sebaran minyak mentah pada kondisi purnama saat pasang tertinggi
Tumpahan minyak mentah di Perairan Balongan pada kondisi purnama saat pasang tertinggi menyebar ke arah barat-laut sejauh $\pm 9,4$ km dan menyebar ke arah timur-laut sejauh $\pm 3,78$ km dari sumber tumpahan.
3. Analisis sebaran minyak mentah pada kondisi purnama saat pasang menuju surut
Tumpahan minyak mentah di Perairan Balongan pada kondisi purnama saat pasang menuju surut menyebar ke arah timur sejauh $\pm 9,64$ km dan menyebar ke arah barat-laut sejauh $\pm 3,19$ km dari sumber tumpahan minyak.
4. Analisis tumpahan minyak mentah pada kondisi saat menuju surut terendah
Tumpahan minyak mentah di Perairan Balongan pada kondisi purnama saat surut terendah menyebar ke arah timur sejauh $\pm 9,64$ km dari sumber tumpahan minyak.
5. Analisis tumpahan minyak mentah pada kondisi perbani saat surut menuju pasang
Tumpahan minyak di Perairan Balongan pada kondisi perbani saat surut menuju pasang menyebar ke arah barat-laut sejauh $\pm 13,25$ km dari sumber tumpahan.
6. Analisis tumpahan minyak mentah pada kondisi perbani saat pasang tertinggi
Tumpahan minyak mentah di Perairan Balongan pada kondisi perbani saat pasang tertinggi menyebar ke arah barat-laut sejauh $\pm 17,27$ km dari sumber tumpahan.
7. Analisis tumpahan minyak mentah pada kondisi perbani saat pasang menuju surut
Tumpahan minyak di Perairan Balongan pada kondisi perbani saat pasang menuju surut menyebar ke arah tenggara sejauh $\pm 1,62$ km dan menyebar ke arah barat-laut sejauh $\pm 16,744$ km dari sumber tumpahan.
8. Analisis tumpahan minyak mentah pada kondisi perbani saat surut terendah
Tumpahan minyak di Perairan Balongan pada kondisi perbani saat surut terendah menyebar ke arah barat-laut sejauh $\pm 16,16$ km dan menyebar ke arah timur sejauh ± 3 km.

Hasil pemodelan tumpahan minyak mentah di Perairan Balongan memperlihatkan perbedaan arah sebaran minyak mentah pada setiap saat kondisi pasang surut. Perbedaan arah sebaran minyak mentah tersebut dikarenakan oleh adanya perbedaan arah arus pada setiap saat dan kondisi pasang surut. Minyak mentah bergerak mengikuti arah arus pada setiap saat pasang surut namun tetap

tersebar dominan ke arah barat laut. Jarak sebaran tumpahan minyak mentah pada kondisi purnama hingga perbani semakin jauh. Hal tersebut dikarenakan kondisi purnama merupakan hari ke-5 simulasi model sehingga minyak mentah yang tersebar tidak seluas kondisi perbani. Adapun kondisi perbani merupakan hari-hari terakhir simulasi model sehingga sebaran minyak mentah lebih jauh dan lebih luas dibandingkan kondisi perbani.

Kesimpulan

Tumpahan minyak mentah di Perairan Balongan bergerak ke arah barat-laut saat pasang dan bergerak ke arah tenggara saat surut. Minyak mentah yang tumpah di Perairan Balongan dominan tersebar ke arah barat-laut. Hal tersebut terjadi pada musim peralihan II. Sebaran tumpahan minyak mentah di Perairan Balongan memiliki pola yang membentuk lintasan dengan arah yang bolak-balik.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada PT. PERTAMINA Unit Pengolahan VI Balongan atas fasilitas yang diberikan selama penelitian ini berlangsung, masyarakat Kecamatan Balongan Kabupaten Indramayu, serta kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan artikel ini.

Daftar Pustaka

- George, M.S., O.M Johannessen dan A. Samuelsen. 2010. Validation of a hybrid coordinate ocean model for the Indian Ocean. *Journal of Operational Oceanography.*, 3(2): 25-38.
- Hadi, S. dan I.M. Radjawane. 2009. *Arus Laut*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Kuncowati. 2010. Pengaruh Pencemaran Minyak di Laut Terhadap Ekosistem Laut. *Jurnal Aplikasi Pelayaran dan Kepelabuhan.*, 1(1): 18-22.
- Nugroho, A. 2006. *Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Poerbandono dan E. Djunasjah. 2005. *Survei Hidrografi*. Refika Aditama, Bandung.
- Sudarto. 1993. Pembuatan Alat Pengukur Arus Secara Sederhana. *Oseana.*, 18(1): 35-44.
- Wibisono, M.S. 2005. *Pengantar Ilmu Kelautan*. PT. Gramedia Widiasarana Indonesia, Jakarta.