

**SEBARAN TUMPAHAN MINYAK DENGAN PENDEKATAN MODEL
HIDRODINAMIKA DAN *SPILL ANALYSIS* DI PERAIRAN CILACAP,
JAWA TENGAH**

Arintika Widhayanti^{*)}, Aris Ismanto^{*)}, Bambang Yulianto^{*)}

^{*)} Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan

Email : aris.ismanto@gmail.com ; bbyulianto@gmail.com

Abstrak

Perairan Cilacap memiliki pelabuhan laut yang berfungsi sebagai pelabuhan ekspor-impor termasuk aktivitas bongkar muat minyak dari kapal-kapal tanker yang menyebabkan perairan Cilacap rentan terhadap tumpahan minyak. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pola sebaran dan proses pelapukan (*weathering*) yang meliputi waktu pemaparan, proses disolusi, proses dispersi vertikal, proses emulsifikasi, dan proses evaporasi pada tumpahan minyak mentah dan aspal di Perairan Cilacap yang dimodelkan menggunakan model hidrodinamika 2D dan *Spill Analysis*. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data arus laut, data pasang surut, data angin, data suhu air laut, data batimetri, data suhu udara, data cloudiness, data oil properties, dan data lalu lintas kapal. Hasil simulasi model sebaran tumpahan minyak mentah dan aspal memperlihatkan sebaran menuju ke arah barat laut saat pasang tertinggi, sebaliknya minyak menyebar ke arah tenggara saat surut terendah. Penyebaran tumpahan minyak berbentuk lintasan saat kondisi perbani dan partikel minyak berbentuk acak saat kondisi purnama. Waktu pemaparan aspal berlangsung lebih lama, yaitu berkisar 280 jam daripada waktu pemaparan minyak mentah, yaitu berkisar 259 jam. Proses pelapukan pada tumpahan minyak terhadap lamanya waktu tumpahan minyak menunjukkan bahwa perubahan laju emulsifikasi berlawanan dengan laju evaporasi dan sebanding dengan laju dispersi vertikal, sedangkan laju disolusi tidak mengalami perubahan signifikan. Tumpahan minyak setelah 24 jam memperlihatkan bahwa proses disolusi, dispersi vertikal, dan evaporasi pada minyak mentah lebih tinggi daripada aspal. Namun, proses emulsifikasi pada aspal lebih tinggi daripada minyak mentah.

Kata Kunci: Tumpahan Minyak; Model Hidrodinamika; *Spill Analysis*; Perairan Cilacap.

Abstract

Cilacap Waters has a seaport that serves as export-import activities including the activity of loading and unloading of oil tankers that cause Cilacap Waters susceptible to oil spill. The purpose of this research is to find out the distribution weathering processes of crude oil spills and asphalt like time exposure, dissolution, vertical dispersion, emulsification, and evaporation in Cilacap Waters by 2D hydrodynamics model and spill analysis. The data used in this study includes ocean current data, tide data, wind data, sea water temperature data, bathymetric data, air temperature data, cloudiness data, oil properties data, and information port data. The results of oil spill distribution model simulations was moved northwest at the highest tide. Otherwise, oil spill distribution moved to southeast at the lowest tide. Oil spill distribution had the trajectory shaped when neap tide and also the random shaped when spring tide. Asphalt time exposure had longer time about 280 than crude oil time exposure about 259 hours. Weathering processes in oil spill to the length time of oil spill showed the rate changes of emulsification opposite to the rate changes of evaporation and propotional to the rate changes of vertical dispersion, but the rate changes of dissolution had no significant changes. After 24 hours, oil spill shows that vertical dispersion, dissolution, and evaporation processes of crude oil are higher than asphalt. However, emulsification process of asphalt was higher than crude oil.

Keywords: Oil Spill; Hydrodynamics Model; Spill Analysis; Cilacap Waters.

1. Pendahuluan

Kabupaten Cilacap cukup istimewa secara geografis karena berada di tepi laut yang berhadapan dengan Samudera Hindia pada sisi Teluk Penyu dan dibatasi oleh Pulau Nusakambangan yang memanjang membujur barat-timur. Kondisi ini menyebabkan Kabupaten Cilacap memiliki pelabuhan samudera yang ideal (Norman, 2009). Selanjutnya dinyatakan bahwa pelabuhan laut yang berada pada Perairan Cilacap berfungsi sebagai pelabuhan ekspor-impor, jalur pelayaran atau lalu lintas kapal di pantai selatan Pulau Jawa, dan juga terdapat dermaga-dermaga milik perusahaan migas terbesar di Indonesia, yaitu Pertamina Unit Pengolahan Minyak IV yang mengakibatkan kegiatan di Pelabuhan Cilacap terus meningkat, terutama lalu lintas kapal-kapal tanker yang mengangkut berbagai jenis minyak, baik mentah maupun telah diolah yang menjadikan perairan tersebut sangat berpotensi mengalami pencemaran minyak.

Tumpahan minyak di laut bisa sangat berbahaya karena angin, gelombang, dan arus laut dapat menyebarkan sebagian besar tumpahan minyak di wilayah yang luas dalam beberapa jam di lautan terbuka (Fingas, 2001). Angin yang berhembus di Perairan Cilacap cukup kencang dengan kecepatan angin terbesar terjadi pada bulan Agustus-September dengan kecepatan maksimum mencapai 20-25 m/s berdasarkan data dari Pelabuhan Cilacap (Triatmodjo, 1999). Angin yang berhembus di atas Perairan Cilacap merupakan faktor pembangkit gelombang laut. Gelombang laut di pantai Teluk Penyu, Cilacap memiliki tinggi maksimum 2.4 meter (Utantyo *et. al.*, 2003). Angin yang bertiup di atas permukaan laut selain menyebabkan terjadinya gelombang laut juga menimbulkan arus laut (Hadi dan Radjawane, 2009). Perairan Cilacap mempunyai aliran arus yang kuat (Sudaryanto, 2001). Selain angin, aliran arus laut yang kuat juga disebabkan oleh variasi tinggi muka air yang dipengaruhi kondisi pasang surut dan topografi perairan karena perairan Cilacap yang merupakan bagian dari perairan Samudera Hindia memiliki dasar perairan yang dalam dan curam (Saputra *et. al.*, 2013). Faktor-faktor oseanografi tersebut yang dapat memperluas area tumpahan minyak dan menimbulkan permasalahan bagi Perairan Cilacap.

Masalah pencemaran laut akibat tumpahan minyak diperlukan *contingency planning* atau perencanaan penanganan dampak yang ditimbulkan akibat tumpahan minyak yang berasal dari sumber-sumber di sekitar Perairan Cilacap harus diprediksi dengan cepat pola penyebarannya yang berpotensi mencemari lingkungan pada beberapa lokasi yang dianggap rawan terjadi tumpahan minyak karena aktivitas kapal tanker di Perairan Cilacap. Oleh karena itu, diperlukan model sebaran tumpahan minyak.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif (Sugiyono, 2009) karena teknik penelitian yang digunakan dengan melakukan survei untuk mendapatkan data-data penelitian yang berupa data angka dan data penelitian tersebut diperoleh dengan mengukur menggunakan instrumen-instrumen tertentu yang memiliki satuan khusus untuk tiap-tiap parameternya. Data-data tersebut diolah dan ditampilkan dalam bentuk gambar, grafik, ataupun tabel.

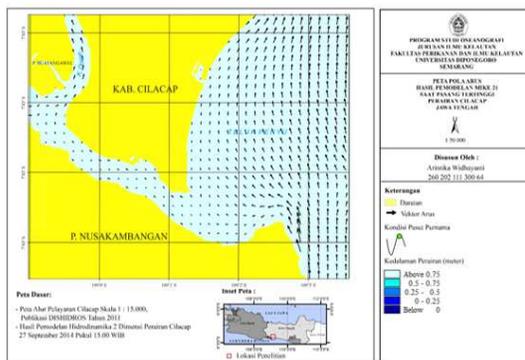
Metode penentuan lokasi pengukuran arus laut dan suhu air laut menggunakan metode *purposive sampling* (Sudjana, 1992). Pengukuran arus laut dilakukan dengan pendekatan lagrangian yang dilakukan dengan pengamatan gerakan massa air permukaan dalam rentang waktu tertentu menggunakan pelampung. Pengukuran arus laut dilakukan selama 25 jam dengan interval 10 menit dengan alasan tipe pasang surut Perairan Cilacap adalah campuran condong ke harian ganda (*mixed semi diurnal tide*) sehingga durasi pengukuran arus sekurang-kurangnya 25 jam (Poerbandono dan Djunasjah, 2005).

Analisis data yang digunakan untuk menarik kesimpulan dalam penelitian ini adalah analisis statistik deskriptif (Sugiyono, 2009). Analisis dari hasil pemodelan hidrodinamika dan sebaran tumpahan minyak dalam penelitian ini dilakukan pada delapan kondisi pasang surut karena waktu tersebut dianggap mewakili seluruh kondisi perairan selama waktu pemodelan.

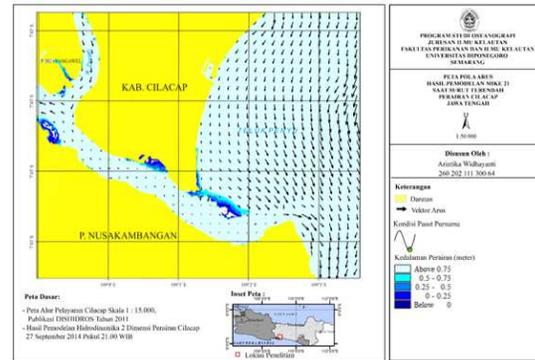
3. Hasil dan Pembahasan Simulasi Model Hidrodinamika

Hasil simulasi model hidrodinamika memperlihatkan bahwa massa air dari Samudera Hindia bergerak menuju perairan Cilacap pada saat pasang tertinggi dan bergerak meninggalkan Perairan Cilacap menuju Samudera Hindia saat surut terendah. Nontji (1987) dalam Dahuri *et al.* (2004) menjelaskan bahwa pergerakan arus laut di perairan-perairan pantai, utamanya di teluk ataupun selat sempit, gerakan naik turunnya muka air akan menimbulkan arus pasut dengan arah gerakan bolak-balik. Apabila muka air naik, arus akan mengalir masuk, sedangkan pada saat muka air turun, arus akan mengalir keluar.

Kecepatan rata-rata arus laut di Perairan Cilacap pada saat kondisi perbani sebesar 0.0293 m/s pada pasang tertinggi dan 0.0422 m/s saat surut terendah, sedangkan kecepatan rata-rata arus laut sebesar 0.1840 m/s pada pasang tertinggi dan 0.1030 m/s saat surut terendah pada kondisi purnama. Hal ini dikarenakan posisi bulan paling dekat dengan bumi (*moon's perigee*) pada saat kondisi purnama yang mempengaruhi gaya gravitasi bulan dengan bumi dan posisi bulan yang paling jauh dengan bumi (*moon's apogee*) pada kondisi perbani. Posisi bulan ini menyebabkan gravitasi bulan pada saat purnama lebih besar pada daripada saat perbani yang berakibat pada elevasi muka air yang terbentuk saat purnama lebih tinggi daripada saat perbani sehingga akan terbentuk arus yang lemah pada kondisi perbani dan arus yang kuat pada kondisi purnama. Pernyataan ini sesuai dengan pendapat Wibisono (2005) bahwa kondisi pada saat purnama memiliki selisih yang lebih besar antara pasang tertinggi dengan surut terendah dibandingkan saat perbani sehingga volume massa air mengalir lebih besar dibandingkan saat perbani.



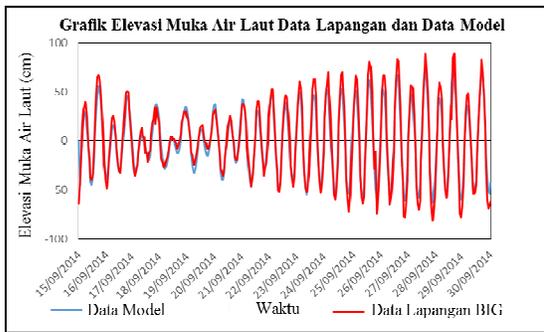
Gambar 1. Pola Arus pada Kondisi Purnama saat Pasang Tertinggi (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



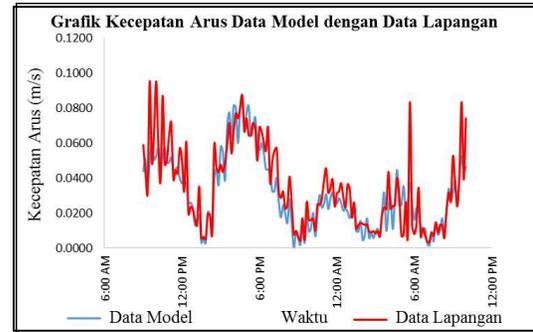
Gambar 2. Pola Arus pada Kondisi Purnama saat Surut Terendah (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)

Verifikasi Data Model dengan Data Lapangan

Verifikasi data model dengan data pengukuran lapangan dilakukan dengan menghitung nilai *MRE*. Hasil perhitungan *MRE* pasang surut diperoleh hasil sebesar 3.67%, sedangkan hasil perhitungan *MRE* kecepatan arus total data model terhadap data lapangan diperoleh hasil sebesar 30.70%.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Elevasi Muka Air Laut Data Lapangan dengan Data Model (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



Gambar 4. Grafik Perbandingan Kecepatan Arus Data Lapangan dengan Data Model (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)

Simulasi Model Tumpahan Minyak pada Kondisi Pasut

Hasil simulasi model sebaran tumpahan minyak jenis minyak mentah (*crude oil*) dan aspal dapat dilihat bahwa pergerakan tumpahan minyak mengikuti arah pergerakan arus pasang surut di Perairan Cilacap. Saat pasang, tumpahan minyak bergerak menuju ke arah barat laut, sedangkan saat surut, tumpahan minyak berbalik bergerak menuju ke arah tenggara. Arah pergerakan tumpahan ini dipengaruhi oleh pergerakan arus permukaan yang dipengaruhi oleh angin dan pasang surut yang terjadi saat itu karena arus laut merupakan faktor oseanografi yang menyebarkan minyak ketika tumpah di perairan setelah membentuk lapisan (*oil slick*) sehingga dengan segera akan bertambah luas permukaan minyak tersebut. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa angin dan arus pasang surut memindahkan unsur-unsur dari lapisan minyak secara relatif satu sama lain dan mempercepat proses penyebaran (DHI Water and Environment, 2007).

Saat peristiwa terjadinya tumpahan minyak yang terjadi di Perairan Cilacap pada kondisi perbani memperlihatkan sebaran minyak menyebar dengan lapisan minyak tipis sebagian besar hanya berada pada perairan antara Kabupaten Cilacap dengan Pulau Nusakambangan. Pola sebaran tumpahan minyak pada kondisi ini memiliki bentuk seperti lintasan (*trajectory*) yang masih terhubung satu sama lain, sedangkan sebaran tumpahan minyak pada kondisi purnama memperlihatkan sebaran tumpahan minyak menyebar semakin meluas dan melewati batas domain model melalui batas sebelah barat, tapi mengalami pergerakan bolak-balik sehingga membentuk pola sebaran yang acak serta terputus antara tumpahan minyak yang menyebar menuju ke perairan antara Kabupaten Cilacap dan Pulau Nusakambangan hingga mencapai Sungai Donan dan Pulau Buayangawel dengan sebaran minyak yang menuju ke garis pantai Teluk Penyau.

Pada kondisi purnama, ketebalan lapisan minyak tipis tampak meluas dibandingkan pada kondisi perbani. Perbedaan luas area yang terkena tumpahan minyak dan ketebalan lapisan minyak di perairan Cilacap pada kedua kondisi pasang surut ini juga disebabkan oleh pengaruh proses pelapukan (*weathering*) yang dialami oleh minyak seperti disolusi, dispersi vertikal, emulsifikasi, dan evaporasi.

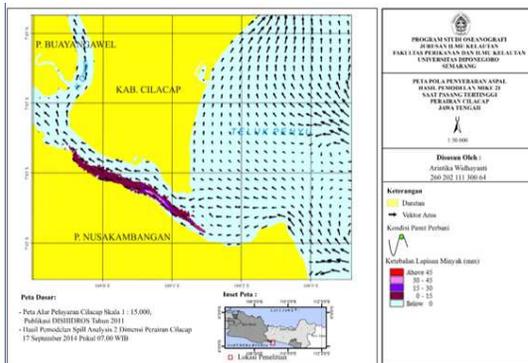
Proses disolusi yang dialami tumpahan minyak mentah dan aspal pada kondisi perbani maupun purnama tidak mengalami perubahan yang signifikan bila dibandingkan dengan proses evaporasi karena pada umumnya minyak hanya sedikit mengandung komponen yang dapat larut dalam air. Dalam peristiwa ini, evaporasi terjadi pada komponen minyak yang ringan dengan ikatan atom C yang rendah (1-10 atom). ITOPF (2007) menjelaskan bahwa senyawa aromatik biasanya akan lebih dulu menguap dibandingkan terlarut dikarenakan proses penguapan terjadi 10-100 kali lebih cepat dibandingkan proses melarut.

Proses dispersi vertikal pada minyak mentah (*crude oil*) cenderung meningkat dengan bertambahnya lama waktu tumpahan. Sedangkan, dispersi vertikal pada aspal memiliki nilai yang

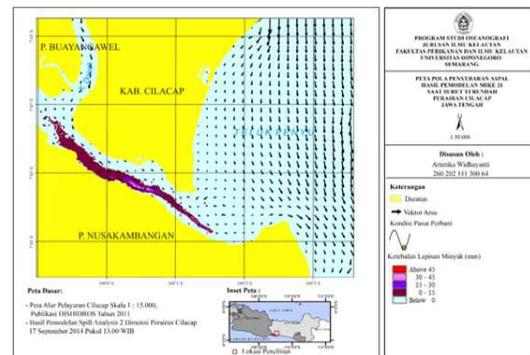
sangat kecil serta tidak mengalami banyak perubahan pada kondisi perbani maupun purnama. Rendahnya dispersi vertikal pada aspal karena karakter viskositas yang tinggi. Nilai dispersi vertikal yang sangat kecil mengindikasikan bahwa tumpahan minyak dominan berada di lapisan permukaan sehingga pergerakan tumpahan minyak merupakan pengaruh dari arus permukaan dan angin. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa proses dispersi vertikal lebih cenderung dipengaruhi oleh proses hidrodinamika dari perairan dimana terjadinya tumpahan minyak (Sabhan *et al.*, 2010).

Proses emulsifikasi pada kondisi perbani maupun purnama cenderung berlawanan dengan proses evaporasi. Ketika proses emulsifikasi bertambah, proses evaporasi justru berkurang dengan bertambahnya waktu lama tumpahan minyak, begitu pula sebaliknya karena meningkatnya proses evaporasi ini disebabkan oleh menurunnya emulsifikasi sehingga partikel minyak yang lepas akibat emulsifikasi menurun. Hal ini sesuai dengan pernyataan Prentki dan Smith (2004) bahwa emulsifikasi menyebabkan lepasnya partikel minyak yang bercampur dengan air sehingga densitas meningkat dan evaporasi menurun, hal ini berlaku sebaliknya bila proses emulsifikasi rendah, maka evaporasi meningkat.

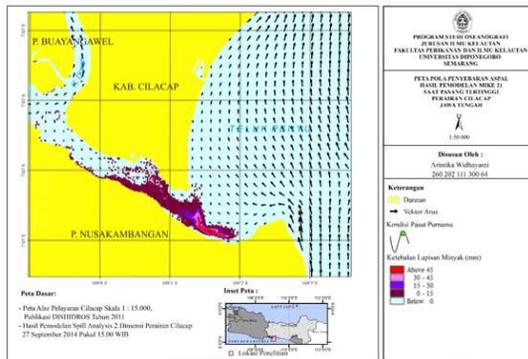
Waktu pemaparan aspal lebih lama dibandingkan dengan waktu pemaparan minyak mentah (*crude oil*) karena nilai residu pada minyak mentah sebesar 69.02% lebih rendah dibandingkan nilai residu pada aspal yang sebesar 80%. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sabhan *et al.* (2010) bahwa minyak memiliki tingkat pemaparan yang lebih lama karena memiliki fraksi residual yang lebih besar.



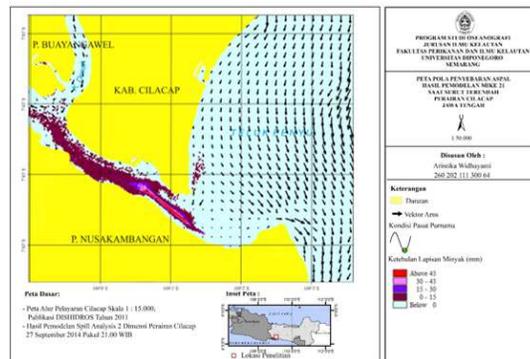
Gambar 5. Sebaran Tumpahan Minyak Jenis Aspal pada Kondisi Perbani saat Pasang Tertinggi (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



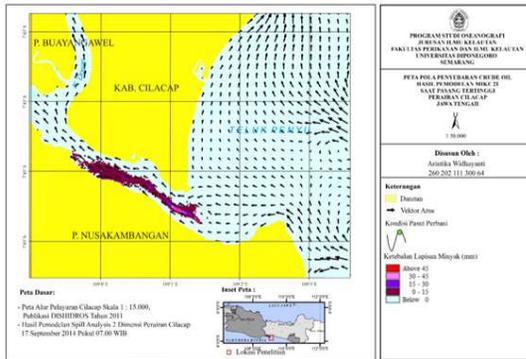
Gambar 6. Sebaran Tumpahan Minyak Jenis Aspal pada Kondisi Perbani saat Surut Terendah (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



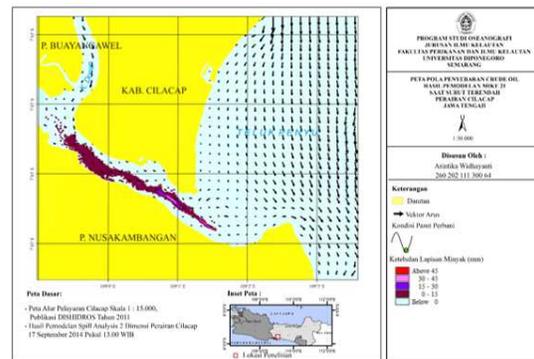
Gambar 7. Sebaran Tumpahan Minyak Jenis Aspal pada Kondisi Purnama saat Pasang Tertinggi (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



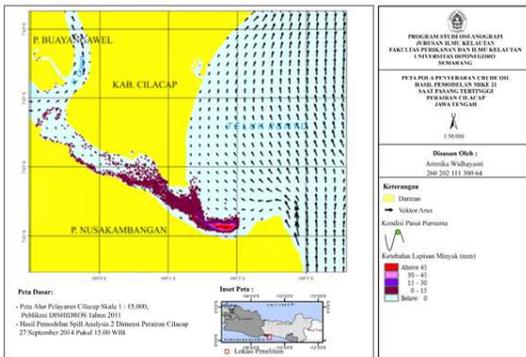
Gambar 8. Sebaran Tumpahan Minyak Jenis Aspal pada Kondisi Purnama saat Surut Terendah (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



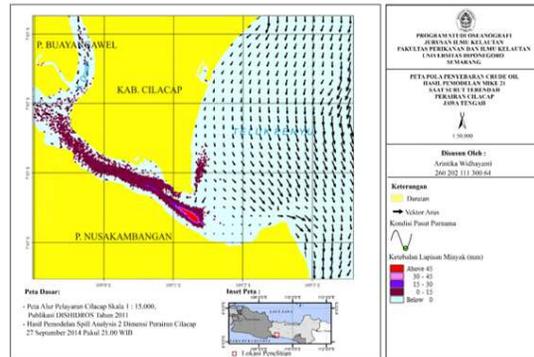
Gambar 9. Sebaran Tumpahan Minyak Jenis Minyak Mentah pada Kondisi Perbani saat Pasang Tertinggi (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



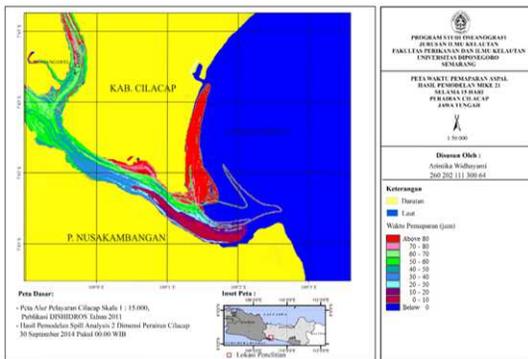
Gambar 10. Sebaran Tumpahan Minyak Jenis Minyak pada Kondisi Perbani saat Surut Terendah (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



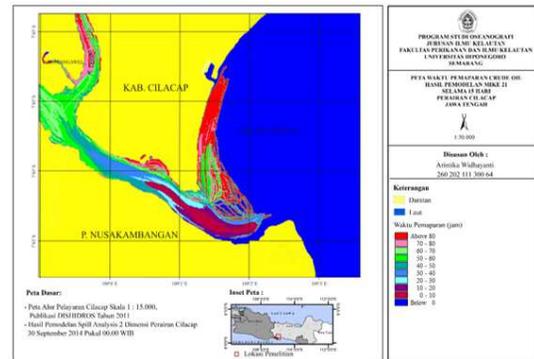
Gambar 11. Sebaran Tumpahan Minyak Jenis Minyak Mentah pada Kondisi Purnama saat Pasang Tertinggi (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



Gambar 12. Sebaran Tumpahan Minyak Jenis Minyak Mentah pada Kondisi Purnama saat Surut Terendah (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



Gambar 13. Waktu Pemaparan Minyak Jenis Aspal Selama 15 Hari (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



Gambar 14. Waktu Pemaparan Minyak Jenis Minyak Mentah (*crude oil*) Selama 15 Hari (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)

Simulasi Model Tumpahan Minyak Setelah 24 Jam

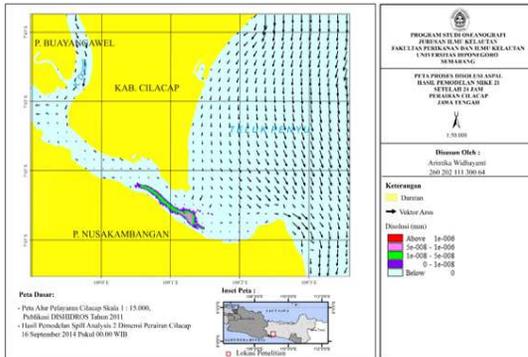
Sebaran tumpahan minyak jenis minyak mentah (*crude oil*) dan aspal yang diskenariokan tumpah di Perairan Cilacap setelah 24 jam terjadinya tumpahan minyak (Gambar 15-24) mendeskripsikan total ketebalan minyak dan proses pelapukan yang dialami oleh masing-masing jenis minyak. Sebaran tumpahan minyak aspal telah mencapai jarak sejauh ± 1.9 km, sedangkan minyak mentah telah mencapai ± 1.8 km dari sumber tumpahan. Kedua jenis minyak ini menyebar ke arah barat laut atau menuju perairan antara Kabupaten Cilacap dengan Pulau Nusakambangan dengan kecepatan mengalir yang berbeda. Perbedaan kecepatan mengalir antara minyak mentah dengan aspal dipengaruhi oleh viskositas dari masing-masing minyak tersebut. Nilai viskositas *crude oil* sebesar 4.754 %v/v lebih kecil dibandingkan dengan viskositas aspal sebesar 800 %v/v sehingga nilai viskositas yang rendah pada minyak mentah (*crude oil*) menyebabkan kecepatan mengalirnya lebih cepat membentuk pola penyebaran yang lebih luas dibandingkan aspal dan akan meningkat selama proses pelapukan minyak yang diakibatkan oleh proses emulsifikasi dan evaporasi. Adanya pengaruh viskositas terhadap kecepatan aliran tumpahan minyak di perairan sesuai dengan pernyataan Clark (1986) bahwa semakin rendah nilai viskositas minyak, maka minyak akan menyebar semakin cepat.

Lapisan minyak mentah (*crude oil*) memiliki ketebalan disolusi lebih tinggi daripada aspal. Proses emulsifikasi lapisan minyak mentah (*crude oil*) cenderung lebih rendah daripada tingkat emulsifikasi yang dialami oleh aspal. Nilai emulsifikasi sangat dipengaruhi oleh jumlah kandungan surfaktan (aspaltik dan wax) pada setiap jenis minyak. Nilai aspaltik dan wax pada minyak mentah (*crude oil*) masing-masing sebesar 3.52 wt% dan 5.92 wt%, sedangkan nilai aspaltik dan wax pada aspal masing-masing sebesar 50 wt% dan 10 wt%. Kandungan aspaltik pada minyak mentah (*crude oil*) yang lebih kecil menyebabkan terbentuknya emulsi yang lebih kecil dan pengaruh kandungan wax yang lebih kecil akan mengakibatkan lebih kecilnya kestabilan emulsifikasi yang terjadi pada minyak mentah daripada aspal. Hal ini diperkuat dengan pernyataan bahwa kestabilan dari emulsi sangat berhubungan dengan jumlah kehadiran *surfactant* (resin dan aspal) dalam minyak (DHI Water and Environment, 2007).

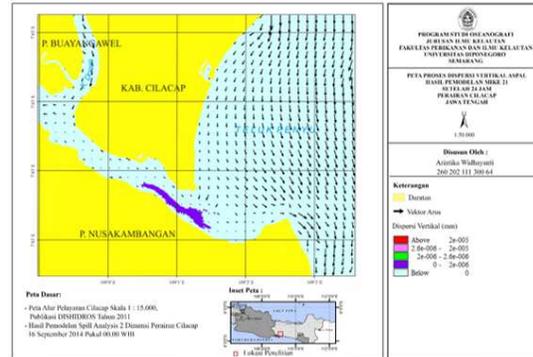
Proses evaporasi lapisan minyak mentah (*crude oil*) cenderung lebih tinggi daripada tingkat evaporasi yang dialami oleh aspal. Proses evaporasi dipengaruhi oleh proses penyebaran awal yang telah berlangsung pada tumpahan minyak yang menyebabkan lapisan minyak semakin tipis dengan semakin menjauhnya dari sumber tumpahan. Pada tumpahan minyak mentah (*crude oil*), lapisan minyak yang paling tipis telah memiliki area sapuan yang lebih luas daripada tumpahan aspal sebab semakin luas dan tipis ketebalan tutupan daerah penyebaran minyak, semakin cepat fraksi minyak ringan untuk menguap sehingga berkaitan pula dengan tingkat residu pada minyak mentah (*crude oil*) yang lebih kecil daripada aspal. Kondisi ini sesuai dengan pernyataan yang menyebutkan bahwa evaporasi terjadi ketika zat yang lebih ringan atau lebih mudah menguap dalam campuran minyak menjadi uap dan meninggalkan permukaan air (EPA, 1999). Selain ketebalan lapisan minyak dan komposisi minyak, proses evaporasi juga dipengaruhi oleh suhu udara dan air laut, area tumpahan, kecepatan angin, radiasi matahari (DHI Water and Environment, 2007).

Proses dispersi vertikal lapisan minyak mentah (*crude oil*) cenderung lebih tinggi daripada tingkat dispersi vertikal yang dialami aspal. Peristiwa ini berkaitan viskositas minyak mentah (*crude oil*) yang lebih kecil dibandingkan dengan aspal, semakin tinggi viskositas minyak, maka semakin kecil kemampuan minyak untuk membentuk pecahan partikel minyak. Hal ini diperkuat oleh pernyataan yang mengungkapkan bahwa kecepatan dispersi minyak akan semakin tinggi jika viskositas minyak rendah dan nilai kekasaran muka laut besar (ITOPF, 2007).

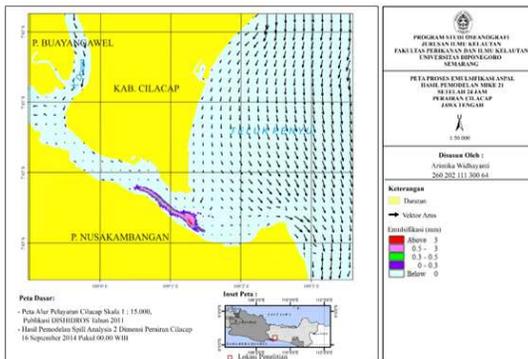
Berdasarkan pernyataan di atas, maka proses pelapukan yang dialami oleh minyak mentah (*crude oil*) akibat proses disolusi, dispersi vertikal, dan evaporasi berlangsung lebih cepat daripada aspal. Sedangkan, proses emulsifikasi pada aspal yang lebih tinggi daripada minyak mentah (*crude oil*) akan menyebabkan tumpahan minyak aspal mengalami pelapukan jauh lebih lambat, minyak lebih kental, dan lengket.



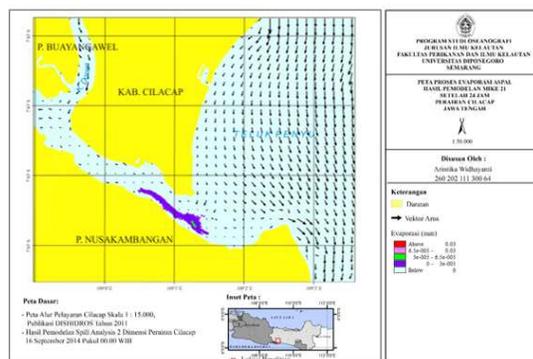
Gambar 15. Proses Disolusi pada Minyak Jenis Aspal Setelah 24 Jam (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



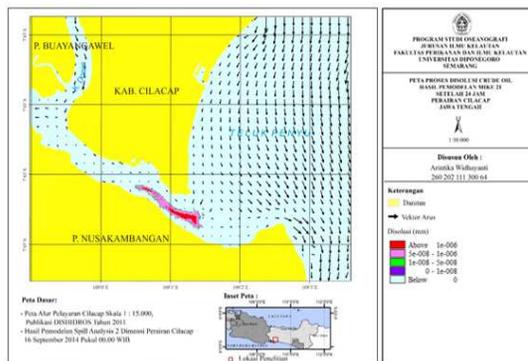
Gambar 16. Proses Dispersi Vertikal pada Minyak Jenis Aspal Setelah 24 Jam (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



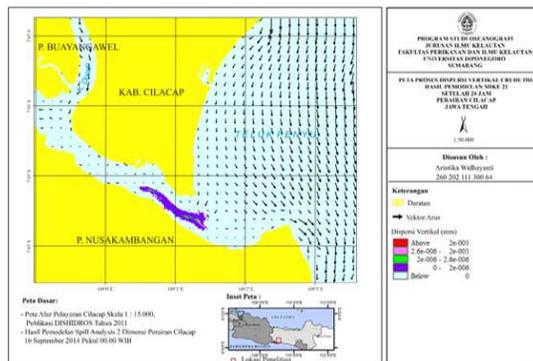
Gambar 17. Proses Emulsifikasi pada Minyak Jenis Aspal Setelah 24 Jam (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



Gambar 18. Proses Evaporasi pada Minyak Jenis Aspal Setelah 24 Jam (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



Gambar 19. Proses Disolusi pada Minyak Jenis Crude Oil Setelah 24 Jam (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)



Gambar 20. Proses Dispersi Vertikal pada Minyak Jenis Crude Oil Setelah 24 Jam (Sumber: Pengolahan Data Penelitian, 2015)

daripada aspal. Namun, proses emulsifikasi lebih tinggi pada aspal daripada minyak mentah (*crude oil*).

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada PT (Persero) Pertamina RU IV Cilacap, Jawa Tengah, Badan Informasi Geospasial (BIG), dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Klas III Cilacap atas fasilitas yang diberikan selama penelitian ini berlangsung, serta kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan artikel ini.

Daftar Pustaka

- Clark, R.B. 1986. *Marine Pollution*. 1st ed., Oxford University Press, New York.
- Dahuri R., J. Rais, S.P. Ginting dan M.J. Sitepu. 2001. *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- [DHI] Danish Hydraulic Institute Water and Environment. 2007. *Manual Mike 21 Particle and Spill Analysis Module Scientific Background*. DHI Waters & Environment, Horsholm, Denmark.
- [EPA] Environmental Protection Agency. 1999. *Understanding Oil Spills And Oil Spill Response*. United States Environmental Protection Agency, Washington DC.
- Fingas, M. 2000. *The Basics of Oil Spill Cleanup*. 2nd ed., CRC Press LLC, Florida.
- Hadi, Safwan dan Radjawane, I.M. 2009. *Arus Laut*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [ITOPF] International Tanker Owners of Pollution Federation Limited. 2002. *Fate of Marine Oil Spill, Technical Information*. <http://www.itopf.com/marinespills/fate/weatheringprocess/documents/tip2.pdf> (04 April 2014).
- Norman, Paryono. 2009. *Penataan dan Pengembangan THR Teluk Penyu Cilacap*. Jurnal Fakultas Teknik. Undip, Semarang.
- Poerbandono dan E. Djunasjah. 2005. *Survei Hidrografi*. PT Refika Aditama, Bandung.
- Prentki R. and C. Smith. 2004. *The MMS/SINTEF Oil Weathering Model, Further Development and Applications*. Minerals Management Service Anchorage, Alaska.
- Purwendah, Elly Kristiani dan Djatmiko, Agoes. 2015. *Peran Syahbandar Dalam Penegakan Hukum Pencemaran Minyak Di Laut oleh Kapal Tanker*. Jurnal Perspektif. Fakultas Hukum Universitas Wijayakusuma, Purwokerto
- Sabhan, Eko Effendi, M. Tri Hartanto, dan Andri Purwandani. 2010. *Pemodelan Pola Sebaran Tumpahan Minyak yang Berbeda di Pelabuhan Tanjung Priok*. Jurnal Ilmu Kelautan. IPB, Bogor.
- Saputra, Suradi Wijaya, Anhar Solichin, dan Wahyu Rizkiyana. 2013. *Keragaman Jenis Dan Beberapa Aspek Biologi Udang *Metapenaeus* di Perairan Cilacap, Jawa Tengah*. Journal Of Management Of Aquatic Resources. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sudaryanto, Agus. 2001. *Struktur Komunitas Makrozoobenthos Dan Kondisi Fisiko Kimiawi Sedimen di Perairan Donan, Cilacap - Jawa Tengah*. Jurnal Teknologi Lingkungan. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta.
- Sudjana, M.M. 1992. *Metode Statistika*. Tarsito, Bandung.
- Utantyo, Hartono, dan Sutikno. 2003. *Aplikasi SIG Untuk Pemetaan Indeks Kepekaan Lingkungan: Studi Kasus Di Pesisir Cilacap dan Segara Anakan*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wibisono, M.S. 2005. *Pengantar Ilmu Kelautan*. PT Gramedia Widiasarana Indonesia, Jakarta.