

SIMULASI SEBARAN TUMPAHAN MINYAK DI PERAIRAN DUMAI, PT CALTEX PACIFIC INDONESIA

DISPERSION SIMULATION OF OILSPILLS IN DUMAI WATERS, CALTEX PACIFIC INDONESIA

Mardiah¹⁾, Joni Hermana¹⁾ dan Hasan Ikhwani²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS

²⁾Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS

Abstrak

Telah dikembangkan suatu model matematis berdasarkan prinsip kesetimbangan massa untuk mensimulasi konsentrasi sebaran tumpahan minyak. Model tersebut diujicobakan di perairan Dumai, PT. Caltex Pacific Indonesia, kemudian hasilnya dibandingkan dengan model acuan dari Worldwide Oil Spill Modelling (WOSM). Perhitungan model didasarkan pada tumpahan minyak jenis Sumatran Light Oil, sebesar 1000 Barrels. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kondisi konsentrasi minyak yang terdapat di badan air sampai kedalam 10 m setelah 24 jam adalah sebesar $1,84 \times 10^{-1} \text{ gr/m}^3$, sedangkan hasil simulasi WOSM adalah $8,84 \times 10^3 \text{ gr/m}^3$. Perbedaan ini disebabkan karena model yang dipilih terlalu sederhana, yaitu hanya melibatkan proses adveksi dan tidak melibatkan faktor transformasi.

Kata kunci : model matematis, proses adveksi, simulasi sebaran, WOSM

Abstract

A mathematical modelling was developed based on the theory of mass balance for the oil spills dispersion simulation. The model was tested in Dumai waters, PT. Caltex Pacific Indonesia, and eventually compared with reference model of Worldwide Oil Spill Modelling (WOSM). Dispersion model calculation was based on the spills of 1000 Barrels of Sumatran Light Oil. The simulation demonstrated that the concentration of oil dispersion with 10 m depth after 24 hours was $1.84 \times 10^{-1} \text{ gr/m}^3$, while the simulation result of WOSM was $8.84 \times 10^3 \text{ gr/m}^3$. The difference was due to the fact that the model was developed by a very simple assumption, that is only taking into account the advection process but not the transformation factor.

Keywords : mathematical modelling, advection process, dispersion simulation, WOSM

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri minyak yang makin pesat saat dewasa ini, meningkatkan pula resiko terjadinya pencemaran lingkungan akibat minyak, salah satunya adalah rusaknya ekosistem di laut. Terjadinya tumpahan minyak di laut memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap ekosistem laut. Besarnya dampak yang ditimbulkan dari tumpahan minyak ini mendorong ditemukannya suatu cara untuk mengatasinya secara tepat, cepat, efektif dan tidak merusak lingkungan. Ada berbagai faktor yang perlu dipertimbangkan dalam mempelajari perilaku sebaran minyak di laut, diantaranya faktor lingkungan fisik laut (*oceanography*), karakteristik minyak yang tumpah, dan proses fisika dan kimia yang terjadi setelah minyak bercampur dengan air laut. PT. Caltex Pasific Indonesia sebagai industri minyak terbesar di tanah air seringkali menghadapi permasalahan terjadinya tumpahan minyak di laut.

Untuk itu simulasi sebaran direncanakan dilaksanakan di lokasi ini.

Pencemaran laut dapat disebabkan oleh berbagai sumber, baik itu dari darat, udara maupun lautan itu sendiri. Sutamiharja dkk (1989) dalam Romimohtarto (1991) membagi bahan pencemar yang biasa mencemari perairan dalam enam kelompok : erosi dan sedimentasi, pertanian, limbah kota, minyak, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), dan Industri.

Minyak adalah senyawa organik dengan rantai hidrokarbon yang sukar terurai. Pada saat memasuki lingkungan laut, akan bersifat toksik untuk organisme laut.

Minyak bumi terbentuk dari pengendapan sisa-sisa tumbuhan dan binatang laut yang mati jutaan tahun yang lalu dibawah tekanan geologi dan panas. Senyawa hidrokarbon berada dalam minyak bumi se-

besar 78 % dan sisanya adalah senyawa non hidrokarbon (Freedmor (1989) dalam Rahim (1997)).

Baker dkk. (1960) dalam Budi (1995), memberikan batasan bahwa arus laut adalah gerakan horisontal air laut. Sverdrap, dkk (1972) dalam Budi (1995), membagi arus laut kedalam 3 golongan besar, yaitu arus yang dibangkitkan oleh perbedaan massa jenis, hembusan angin di permukaan laut dan pasang surut.

Adanya pemanasan matahari yang tidak merata berakibat air memiliki suhu yang berbeda antara satu tempat dengan tempat lainnya. Perbedaan suhu ini secara tidak langsung menimbulkan perbedaan massa jenis pada daerah tersebut. Kecepatan arus permukaan bergantung pada kecepatan angin dipermukaan laut. Arus jenis ini biasanya membawa air ke satu jurusan dengan arah yang sama dalam satu musim tertentu, seperti arus musim diperairan Indonesia.

Selain pembagian arus seperti yang tertera diatas, menurut Uktolseya (1991) struktur dari arus-arus yang terdapat di laut secara garis besar membagi arus ke dalam arus yang umum terdiri dari arus pasut dan arus non pasut. Arus pasut terdiri dari arus pasut harian tunggal, pasut harian ganda dan pasut campuran. Sedangkan arus non pasut terdiri dari arus angin, arus barogradien dan arus tetap.

Dahuri (1996) dalam Rahim (1997) menyatakan bahwa angin merupakan parameter lingkungan penting sebagai gaya penggerak dari aliran skala besar.

Massa air permukaan selalu dalam keadaan bergerak. Gerakan ini ditimbulkan terutama oleh kekuatan angin yang bertiup melintasi permukaan air dan menghasilkan gerakan udara dari tempat bertekanan tinggi ke rendah, kuat lemahnya ditentukan oleh besarnya perbedaan tekanan.

Lautan mempengaruhi keadaan atmosfer dengan uap airnya dan kemudian stabilitasnya. Ini adalah hanya salah satu aspek dari interaksi yang kompleks antara laut dan atmosfer. Aspek yang lain adalah bagaimana distribusi dari temperatur permukaan mempengaruhi sirkulasi atmosfer.

Di laut terbuka ketinggian air pasang tidak lebih dari 0,5 m tetapi dilaut dangkal sekeliling Sumatra, dalamnya mencapai 3 m. Anwar dkk (1984) dalam Sianipar (1995), membagi tipe-tipe air pa-

sang untuk perairan di sekeliling Sumatra menjadi 4 macam yaitu air pasang dua kali sehari, air pasang campuran, terutama 2 kali sehari yaitu air pasang naik dan air pasang surut, air pasang campuran, terutama sekali sehari dimana kadang-kadang hanya satu pasang naik dan satu pasang surut dan air pasang satu kali setiap hari.

Massa jenis air laut dapat dirumuskan seperti Persamaan 1 berikut.

$$\rho = f(T,P) \quad (1)$$

dimana :

T = temperatur

P = tekanan

Perbandingan massa jenis air laut dan massa jenis dari zat yang masuk didalamnya akan berperan dalam proses kecepatan pengendapan, disamping faktor kekenyalan (viscositas). Faktor yang juga sangat penting pada interaksi antara permukaan laut dengan zat-zat seperti minyak adalah tegangan/tekanan permukaan.

Proses-proses lingkungan laut yang menentukan keberadaan minyak bumi dibagi dalam dua kelas. Pertama adalah proses lingkungan laut terhadap minyak bumi tanpa dipengaruhi oleh ukuran tumpahan minyak, kedua adalah proses lingkungan laut yang dipengaruhi jenis, tipe serta volume tumpahan minyak.

Pada saat minyak tumpah ke laut, minyak tersebut akan ditransformasikan atau diadvaksikan oleh arus meninggalkan tempatnya. Selain mengalami proses transportasi minyak juga mengalami proses dispersi, yaitu gerakan mikroskopis molekuler akibat gradien konsentrasi polutan pada titik yang berdekatan (atau disebut difusi) dan pencampuran lokal karena konveksi. Luas persebaran minyak dihitung dengan persamaan 2 di bawah ini.

$$L = (\Delta g V^2 t^{3/2} / \nu^{1/2} \mu^2)^{1/4} \quad (2)$$

dengan :

μ = kecepatan arus

ν = viskositas minyak

V = volume tumpahan minyak per waktu tumpahan

Δg = perbedaan konstanta gravitasi

t = jangka waktu terjadinya tumpahan

Minyak akan mengalami transformasi baik secara fisik dan kimia sehingga konsentrasinya akan berubah sesuai dengan jenisnya masing-masing.

Kecepatan penguapan tergantung dengan luas permukaan lapisan minyak, ketebalan lapisan minyak, tekanan udara, koefisien transfer massa yang merupakan fungsi dari komposisi minyak, kecepatan angin dan temperatur. Disamping itu minyak juga mengalami proses emulsifikasi, pembentukan lumpur teroksidasi fotokimia, biodegradasi, pelarutan dan proses sedimentasi. Proses sedimentasi merupakan masalah yang penting untuk di perhitungkan. Minyak yang tumpah ke laut dapat pula mengalami proses sedimentasi, yaitu fraksi berat dari hidrokarbon, yang dapat mengganggu biota-biota yang hidup di dasar laut (bentos).

Dalam lingkungan akuatik seperti sungai, danau, muara, dan pantai, proses difusi disebabkan oleh adanya gerakan massa air, sapuan arus, hembusan angin dan penjalaran ombak (Danady (1973) dalam Budi (1995)). Proses difusi itu sendiri dibedakan menjadi dua yaitu difusi molekuler dan difusi turbulen.

Salah satu aspek penting dalam upaya penanggulangan tumpahan minyak adalah dengan memperkirakan gerak tumpahan minyak dari waktu ke waktu. Arah dan kecepatan rambat tumpahan minyak didasari kecepatan serta arah angin dan arus laut. Lintasan pergerakan dari lapisan minyak tersebut dapat dirumuskan dalam Persamaan 3 (Anonim, 1996).

$$V_{cw} = 0,033 V_w + 0,56 V_c \quad (3)$$

Dimana

V_{cw} : kecepatan minyak

V_w : kecepatan angin

V_c : kecepatan arus

Metcalf dan Eddy (1991) telah memperkenalkan persamaan umum perpindahan massa di dalam suatu volume air (VA) tertentu, seperti Persamaan 4 di bawah ini.

$$\text{Acc} = \text{Input} - \text{Output} + \text{Generated} + \text{Lost} \quad (4)$$

dimana :

Acc = kecepatan perubahan massa di dalam VA

Input = kecepatan massa masuk kedalam VA

Output = Kecepatan massa meninggalkan VA

Generated = kecepatan massa yang ditimbulkan di dalam VA

Lost = kecepatan massa yang terpakai dalam VA

Worldwide Oil Spill Modelling (WOSM) dikembangkan oleh lembaga riset Chevron and Texaco yang mencoba mendekati kecepatan penyebaran tumpahan minyak (*Trayekton Model*) dengan kecepatan penghilangan minyak di badan air (*Fate Model*). Seperti halnya pemodelan yang telah dijelaskan diatas, faktor kondisi lingkungan laut dan karakteristik minyak juga diperhitungkan dalam WOSM. Kondisi lingkungan laut yang dijadikan parameter meliputi angin, arus laut, ada tidaknya lapisan es di permukaan laut, dan tipe garis pantai. Sedangkan karakteristik minyak yang merupakan parameter pembangun WOSM adalah berat jenis, massa jenis, kekentalan, kelarutan, tegangan permukaan, emulsifikasi, ketebalan minimum dan model pergerakan lapisan minyak.

Tahap awal dari pengoperasian *trayektori* dan *fate model* dalam WOSM adalah dengan menentukan daerah simulasi untuk keakurasian. Dalam pengisian data selanjutnya, dibuat grid, dengan menu yang telah tersedia. Data dapat diinputkan secara manual atau dengan mengambil dari data base. Menjalankan program merupakan langkah selanjutnya, dengan terlebih dahulu memilih jenis model yang kita inginkan. Hasil dari menjalankan model menunjukkan seberapa besar minyak akan membentuk lapisan (*oil slick*) dan keseimbangan massa dari minyak yang tertinggal di badan air.

Menurut Sloan (1993), ada berbagai keadaan yang mempengaruhi dampak minyak meliputi tipe habitat yang terkena minyak, tipe dan jumlah minyak, lama waktu minyak berada di permukaan laut sebelum mencapai pantai, waktu (musim dan tahan hidup organisme), kondisi hidrologis, meteorologis dan klimatologis, frekuensi dan jangka waktu kontak dengan minyak

2. METODOLOGI PENELITIAN

Dimulai dengan studi pustaka mengenai fisika laut, karakteristik minyak, dan proses kimia serta fisika yang terjadi pada saat minyak bercampur dengan lingkungan laut. Dengan berpijak pada variabel-variabel yang berpengaruh terhadap perilaku sebaran, dipilih model matematis yang dapat mewakili dengan menggunakan prinsip perpindahan massa. Simulasi dilakukan dengan memasukkan data ke

persamaan matematis yang telah dipilih dan ke alam program komputer (WOSM), sehingga dapat digambarkan secara lebih jelas perilaku sebaran minyak. Hasil simulasi dari kedua model dibandingkan dengan mengkaji parameter pembangun model masing-masing. Kemudian dinilai kualitas lingkungannya dengan standar baku mutu lingkungan laut, untuk diketahui seberapa besar tingkat pencemaran yang ditimbulkan oleh peristiwa tumpahan tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perairan Dumai digolongkan sebagai estuary, meliputi aliran mulut sungai, teluk dan selat. Posisi perairan Dumai adalah $101^{\circ}43'06''\text{BT} - 101^{\circ}35'25''\text{BT}$ dan $1^{\circ}35'25''\text{LU} - 1^{\circ}43'14''\text{LU}$. Secara umum perairan Dumai beriklim tropis, dengan salinitas relatif rendah yaitu 24 ‰, terutama untuk perairan dekat pantai. Musim hujan terjadi antara bulan Juli-Nopember, musim kemarau antara bulan Januari-Mei. Suhu udara merata adalah $26,5^{\circ}\text{C}$, dengan suhu tertinggi $34,0^{\circ}\text{C}$ dan terendah $19,0^{\circ}\text{C}$. Kecepatan angin rata-rata adalah 6,13 m/dt (3,6 knots). Arus di perairan Dumai relatif kecil, ini disebabkan perairan Dumai terlindung oleh pulau Ruoat sehingga hampasan arus dari selat Malaka tidak langsung mengenainya.

Minyak yang banyak dimuat dipelabuhan Dumai adalah minyak jenis *Sumatran Light Crude* (SLC) dan jenis *Duri Crude*. Minyak ini termasuk minyak fraksi ringan dengan API gravity $32,3^{\circ}$, dan kandungan hidrokarbon jenuh 63%, hidrokarbon aromatik 17%, resin 10%, asphaltenes 10%.

Pengembangan model matematika sebagai sarana interpretasi matematis dari proses-proses *engineering* selalu melibatkan tiga tahap, yaitu perumusan persoalan fisik dan kimia ke dalam bahasa matematika, menyelesaikan model matematika yang telah didapat dan menginterpretasikan penyelesaiannya.

Pada saat pertama minyak tumpah ke laut, minyak mengalami proses penyebaran (*spreading*), penguapan (*evaporation*), dispersi, emulsifikasi dan sedimentasi. Minyak akan tersebar ke lingkungan sekitarnya dengan mengalami gaya intra molekuler dan gaya ekstra molekuler. Gaya ekstra molekuler akan lebih mempengaruhi perilaku sebaran untuk laut yang bersifat terbuka dengan kondisi lingkungan laut yang lebih bergolak dibandingkan dengan dengan gaya intra molekuler.

Perbedaan densitas antara air laut dengan minyak yang tumpah dititik tumpahan akan mendorong minyak bergerak mencapai lapisan dengan densitas yang sama.

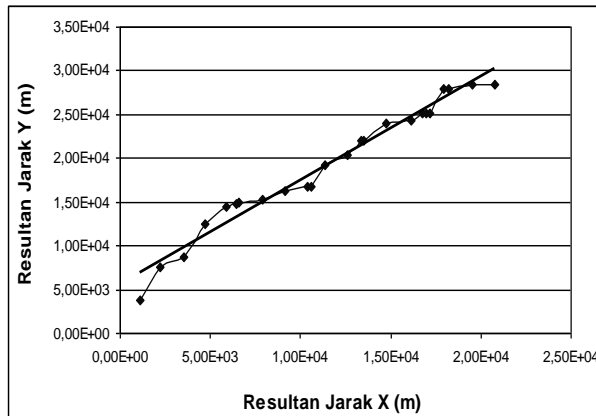
Perhitungan lapisan minyak yang terbentuk dinyatakan bahwa minyak yang tumpah di laut akan membentuk lapisan dengan menyerupai bentuk lingkaran. Lapisan minyak yang terbentuk akan bergerak dan mengalami perubahan konsentrasi seiring dengan waktu dan jarak yang ditempuhnya.

Penggunaan WOSM untuk menghitung penyebaran minyak, terlebih dahulu harus dipilih daerah simulasi, karakteristik minyak yang tumpah dan kondisi fisik laut. Dalam simulasi ini digunakan dua pemodelan.

Pemodelan pertama menghitung luas persebaran minyak (diameter lapisan) dengan menggunakan Persamaan 2, kemudian dihitung lintasan pergerakan dari lapisan minyak tersebut yang disertai dengan perhitungan konsentrasi konsentrasi minyak selama menempuh lintasan tersebut.

Pemodelan kedua dengan menggunakan WOSM. WOSM menghitung luas persebaran dari tumpahan minyak dan konsentrasinya, dengan tingkat perhitungan yang lebih teliti. Ketelitian yang dimaksud disini adalah adanya perhitungan keseimbangan massa (*mass balance*) dari lapisan minyak yang meliputi kecepatan penguapan (*evaporation*), kecepatan penguraian (*entrainment*), pelarutan (*dissolution*), pengendapan (*settlement*), penguraian secara biologis (*biodegradation*) dan kecepatan mencapai garis pantai (*shore*).

Pada tanggal 1 Juni 1999 di Pelabuhan Dumai terjadi kecelakaan tanker sehingga minyak tumpah dengan volume 1000 Barrel selama dua jam. Jenis minyak yang tumpah adalah SLC. Kecepatan arus pada saat itu antara 0,33 sampai 0,35 m/dt saat menjelang pasang dengan arah 85° dan pada saat menjelang surut berkisar antara 0,23 sampai 0,29 m/dt dengan arah 273° . Kecepatan angin selama waktu simulasi adalah 6,13 m/dt (3,6 knots) dari arah selatan. Ketebalan lapisan tidak dihitung dalam simulasi ini karena tahap penyebaran lapisan baru mencapai tahap kedua, dimana keseimbangan gaya intra molekuler belum tercapai. Dari hasil perhitungan diameter lapisan 22,42 m dan apabila digambarkan dalam arah sumbu x dan y, maka lintasan minyak digambarkan seperti pada Gambar 1 di bawah ini.

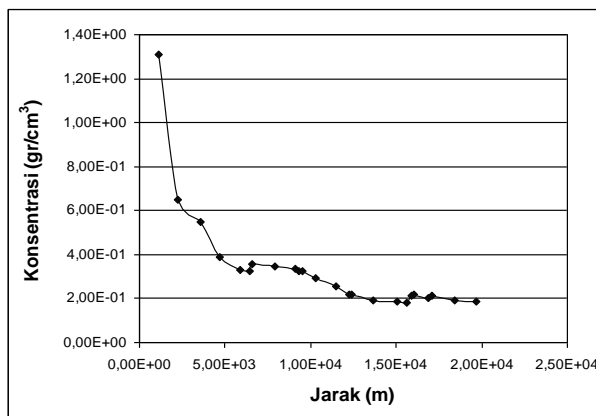


Gambar 1. Lintasan Lapisan Minyak

Dari Gambar 1 di atas, dapat dilihat bahwa dalam jangka waktu 24 jam, minyak menempuh jarak 20,798 Km ke arah x dan 28,73 Km ke arah y. Garis putus-putus merupakan resultan pergerakan lapisan selama satu hari. Pergerakan lapisan minyak setiap jamnya menunjukkan kecepatan yang tidak konstan, tergantung faktor kecepatan angin dan arus.

Dalam pergerakannya, lapisan minyak juga mengalami penurunan konsentrasi yang merupakan fungsi dari koefisien difusi turbulen dan arus laut. Konsentrasi minyak yang dimaksud disini adalah minyak dalam badan air hingga kedalaman 10 m dari permukaan.

Dari hasil simulasi, diketahui konsentrasi awal lapisan minyak sebesar $1,31 \text{ gr/m}^3$ dan dalam jangka waktu 24 jam, konsentrasi minyak berkurang sebesar 14% dari konsentrasi awal yaitu sebesar $1,84 \cdot 10^{-1} \text{ gr/m}^3$. Pada Gambar 2 di bawah ini digambarkan penurunan konsentrasi minyak sebagai fungsi dari jarak.



Gambar 2. Grafik Penurunan Konsentrasi Sebagai Fungsi Jarak

Pemodelan kedua adalah dengan menggunakan WOSM. Langkah pertama dari simulasi dengan WOSM adalah dengan menentukan daerah simulasi. Tipe minyak yang tumpah adalah *Sumatran Light Crude* (SLC) dengan kekentalan sebesar 8,8 cP dan massa jenis minyak sebesar 0,85 gr/cc. Kondisi fisik laut dalam hal ini arus dan angin diinputkan dengan interval waktu 1 jam selama 1 hari. Dari hasil simulasi diketahui jari-jari lapisan minyak yang terbentuk sebesar 31,2 m dan penyebaran lapisan minyak yang terbentuk adalah sebesar $8,84 \times 10^3 \text{ gr/m}^3$, dalam jangka waktu sehari.

Dari hasil simulasi yang dikemukakan diatas, diketahui bahwa pemodelan pertama memiliki hasil yang berbeda. Perbedaan ini disebabkan parameter pembangun model pertama tidak sekompleks dengan parameter WOSM. Bila dinilai secara menyeluruh, model pertama memiliki tingkat ketelitian yang lebih kecil dibandingkan WOSM. Dengan memasukkan nilai yang sama pada model pertama dan pada WOSM, menunjukkan hasil bahwa model pertama lebih kecil dibandingkan WOSM, dan ini memiliki tingkat keamanan yang lebih rendah dalam menanggulangi tumpahan minyak.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Pendekatan model yang digunakan untuk meneliti perilaku penyebaran tumpahan minyak di lingkungan laut adalah pendekatan matematis dengan prinsip keseimbangan massa. Model yang digunakan untuk mempelajari perilaku sebaran minyak di lingkungan laut melibatkan faktor karakteristik minyak yang tumpah dan faktor kondisi laut. Dari hasil simulasi untuk tumpahan 1000 Barrels, terbentuk lapisan minyak dengan diameter 22,42 m dan jarak tempuh 20,8 km dari titik tumpahan. Konsentrasi awal minyak $1,31 \text{ gr/m}^3$ dan konsentrasi pada jam ke-24 adalah $1,84 \cdot 10^{-1} \text{ gr/m}^3$. Konfirmasi model tersebut dengan model acuan (WOSM) menunjukkan perbedaan yang cukup besar, diaman dengan peristiwa tumpahan yang sama, pendekatan dengan WOSM memperlihatkan terbentuknya lapisan minyak dengan diameter 62,4 m dan konsentrasi pada jam ke-24 adalah $8,84 \cdot 10^3 \text{ gr/m}^3$. Perbedaan ini disebabkan model yang dipilih hanya melibatkan proses transportasi tidak melibatkan parameter transformasi. Hasil simulasi melampaui standar baku mutu lingkungan laut (Kep.Men. KLH No. 02 Tahun 1998), hal ini mem-

beri pengaruh buruk terhadap ekosistem di wilayah simulasi.

4.2 Saran

Perlu dilakukan studi lebih mendalam terhadap proses fisika dan kimia yang terjadi selama minyak berada di dalam air. Keterkaitan gaya ekstra molekuler dan gaya intra molekuler dalam mempengaruhi perilaku sebaran akan sangat berperan dalam penghitungan degradasi konsentrasi minyak, oleh karenanya pengkajian tentang hal tersebut perlu ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

Budi, A. (1995). **Prediksi Arah Penyebaran Cemar Minyak Berdasarkan Karakteristik Arus Laut di Perairan Pelabuhan Pertamina Ujung Pandang dan Sekitarnya**. Tugas Akhir Program Studi Ilmu dan teknologi Kelautan Universitas Hasanudin. Ujung Pandang

Metcalf dan Eddy. (1991). **Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse** 3th Edition. McGraw-Hill Inc. United States

Romimohtarto, K. (1991). **Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya**. Puslitbang Oceanologi – LIPI. Jakarta

Rahim, S. (1997). **Pemantauan Distribusi Cemar Minyak di Sekitar Pelabuhan Pertamina Ujung Pandang**. Tugas Akhir Jurusan Ilmu Kelautan Universitas Hasanudin, Ujung Pandang

Sianipar, O. (1995). **Analisa Kandungan Minyak Bumi dan Kualitas Air di Perairan Unit Pengolahan II Pertamina Dumai Kabupaten Bengkalis Propinsi Riau**. Tugas Akhir Fakultas Ilmu Kelautan Universitas Riau. Riau

Sloan, N.A. (1993). **Berbagai Dampak Minyak terhadap Sumber Daya Laut**. Departemen Kependudukan dan Lingkungan Hidup. Jakarta

Uktolseya, H.S. (1991). **Beberapa Aspek Fisika Laut Dalam Pencemaran**. *Status Pencemaran Laut Di Indonesia Dan Teknik Pemantauannya*. Puslitbang Oceanologi-LIPI. Jakarta