



COJ (Coastal and Ocean Journal)

e-ISSN: 2549-8223

Journal home page:

<https://journal.ipb.ac.id/index.php/coj>;email: journal@pksplipb.or.id

PEMODELAN SEBARAN TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS) DARI PEMBUANGAN LIMBAH PENGEBORAN DI LAUT NATUNA UTARA

MODELING THE DISTRIBUTION OF TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS) FROM DRILLING WASTE DISPOSAL IN THE NORTH NATUNA SEA

Ari Gunawan Wardhana^{1,2}, Santoso¹¹ Center for Coastal and Marine Resources Studies, IPB University² Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pasca Sarjana, IPB* Corresponding author: arigunawan@pksplipb.or.id

ABSTRAK

Dumping limbah pengeboran (serbuk dan lumpur bor bekas) ke laut diperkirakan akan menimbulkan dampak terhadap perairan laut. Untuk memprediksi sebaran limbah di perairan laut, maka dilakukan simulasi model sebaran limbah dengan parameter utama adalah *Total Suspended Solid* (TSS). Sumber data untuk pemodelan berasal dari kegiatan pengeboran perusahaan migas di Laut Natuna Utara. Hasil model menunjukkan peningkatan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor tertinggi berkisar 60-65 mg/l yang terjadi pada Musim Peralihan II saat pengeboran section-1. Sementara itu peningkatan konsentrasi TSS akibat serbuk bor tertinggi berkisar 5-6 mg/l pada Musim Barat saat pengeboran section-2. Jika dibandingkan dengan baku mutu TSS air laut sesuai PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk biota laut (20 mg/l), maka konsentrasi TSS akibat buangan lumpur bor terlihat melebihi baku mutu pada radius 50 m dari titik pembuangan, sedangkan akibat dumping serbukbor tidak terlihat ada yang melebihi baku mutu dari radius 50 m hingga 500 m dari titik buangan. Peningkatan konsentrasi TSS akibat dumping lumpur bor maupun serbuk bor pada jarak 500 m dari titik pembuangan di keseluruhan musim terlihat jauh di bawah baku mutu, yakni dari < 0,02 mg/l hingga < 2 mg/l.

Kata kunci: Limbah pengeboran, Pemodelan, *Total Suspended Solid* (TSS), Laut Natuna Utara

ABSTRAK

Dumping of drilling waste (cutting and used drilling mud) into the sea is predicted to have an impact on sea waters. To predict the distribution of waste in sea waters, a simulation model of the distribution of waste is carried out with the main parameter is Total Suspended Solid (TSS). The source of data for modelling comes from the drilling activities of oil and gas companies in the North Natuna Sea. The model results show an increase in the maximum TSS concentration due to the highest dumping of drilling mud around 60-65 mg/l which occurred in the Transitional Season II during section-1 drilling. Meanwhile, the increase in TSS concentration due to drill cuttings was highest around 5-6 mg/l in the West Season during section-2 drilling. When compared with the seawater TSS quality standard according to PP No. 22 of 2021 Appendix VIII for marine biota (20 mg/l), the TSS concentration due to drilling mud discharge appears to exceed the quality standard at a radius of 50 m from the discharge point, whereas due to drill cutting dumping it is not seen that anything exceeds the quality standard from a radius of 50 m to 500 m from the discharge point. The increase in TSS concentration due to dumping of drilling mud and cuttings at 500 m from outfall in all seasons is far below the quality standard, namely from <0.02 mg/l to <2 mg/l.

Keywords: drilling waste, modelling, *Total Suspended Solid* (TSS), North Natuna Sea

Article history: Received 06/01/2023; Received in revised from 02/03/2023; Accepted 14/04/2023

1. PENDAHULUAN

Subsektor minyak dan gas (migas) sampai saat ini masih merupakan subsektor andalan bagi Indonesia. Penerimaan negara subsektor migas, terutama PNPB SDA Migas telah mencapai Rp. 97,98 triliun dan telah melampaui target sebesar 130% (Kementerian ESDM, 2022). Pada tahun-tahun mendatang subsektor ini akan terus meningkatkan optimasi produksi pada lapangan eksisting, percepatan transformasi resources menjadi produksi dengan mempercepat POD lapangan baru dan rencana pengembangan lapangan-lapangan tertunda (Kementerian ESDM, 2022).

Salah satu wilayah dengan potensi migas adalah perairan Laut Natuna Utara. SKK Migas, 2022 dalam Laporan Tahunan 2021 menyebutkan Laut Natuna Utara diperkirakan masih menyimpan potensi sumberdaya minyak bumi sebesar 0,7 juta barel minyak (Barrel Billion Oil, BBO) dan potensi sumberdaya gas bumi sebesar 5,7 triliun kaki kubik (Trillion cubic feet, Tcf). Saat ini sudah ada beberapa perusahaan migas yang beroperasi di perairan Laut Natuna Utara.

Dalam rangka eksploitasi sumberdaya migas, maka salah satu kegiatan yang dilakukan adalah pengeboran, baik pengeboran eksplorasi maupun eksploitasi. Kegiatan pengeboran ini menghasilkan limbah pengeboran berupa serbuk bor (cutting) dan lumpur bor bekas (used mud). Sesuai dengan Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) No. 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (JDIH KLHK, 2021), maka limbah serbuk dan lumpur bor bekas ini diperbolehkan dibuang (dumping) di perairan laut setelah mendapatkan Persetujuan Teknis Dumping dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).

Dalam pemenuhan Persetujuan Teknis Dumping salah satu persyaratannya adalah melakukan pemodelan sebaran dari limbah pengeboran yang dibuang ke laut dengan parameter yang dimodelkan adalah Total Suspended Solid (TSS). Hasil pemodelan harus dapat menunjukkan bahwa konsentrasi TSS gabungan (konsentrasi TSS dari pembuangan limbah pengeboran dan konsentrasi TSS di badan air laut) tidak melebihi baku mutu TSS di ambien air laut pada jarak 500 m dari lokasi pembuangan. Baku mutu TSS yang digunakan adalah sebesar 20 mg/L sesuai Lampiran VIII PP No. 22 Tahun 2021 tentang Baku Mutu Air Laut (JDIH KLHK, 2021).

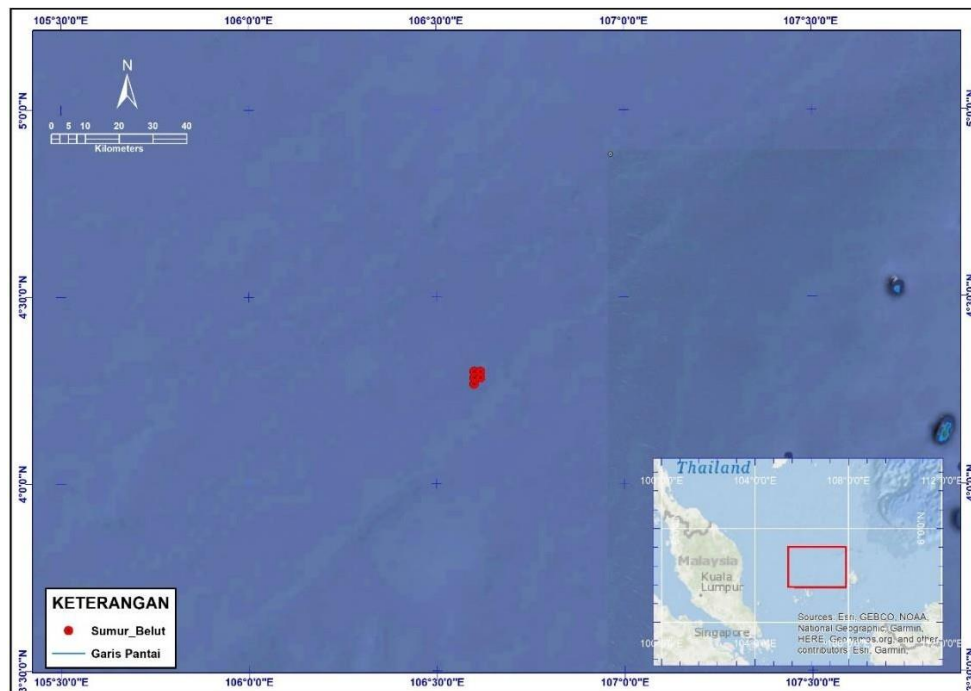
Peningkatan TSS di air laut dapat menyebabkan dampak lingkungan. Hubungan kandungan TSS dengan kelimpahan fitoplankton menunjukkan hubungan negatif yang kuat, artinya dengan meningkatnya kandungan TSS maka kelimpahan fitoplankton di perairan akan menurun (Pratama et. al. 2019). Hasil penelitian Rizka et. al. 2020, menunjukkan konsentrasi TSS yang tinggi cenderung menyebabkan sedimentasi yang tinggi. Pengaruh TSS pada perairan menyebabkan cahaya yang masuk kedalam perairan terhambat, sehingga dapat menurunkan aktivitas fotosintesis pada zooxanthellae. Perlakuan dengan konsentrasi TSS 50 mg/L menyebabkan penurunan densitas zooxanthellae *Acropora* sp. yang paling tinggi.

Dengan dapat diprediksinya luas sebaran dan konsentrasi limbah di perairan laut melalui pemodelan, maka diharapkan pengelolaan lingkungan hidup dapat disusun dengan lebih baik untuk mengurangi dampak lingkungan yang diperkirakan terjadi. Di sisi lain potensi sumberdaya migas juga dapat dimanfaatkan untuk biaya pembangunan dan kesejahteraan masyarakat Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi Dumping

Lokasi dumping dilakukan pada koordinat $106^{\circ}36'0.00''$ BT dan $4^{\circ}17'0.00''$ LU di perairan Laut Natuna Utara. Jarak lokasi dumping terdekat dengan daratan adalah dengan pantai Pulau Setuju di Kecamatan Palmatak, Kabupaten Kepulauan Anambas, Provinsi Kepulauan Riau dengan jarak sekitar $\pm 52,43$ mil laut ($\pm 97,1$ km) (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Dumping Limbah Pengeboran

Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam studi ini terdiri dari batimetri, angin, pasang surut dan skenario pembuangan limbah pemboran. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh berbagai sumber seperti PUSHIDROSAL berupa peta laut No. 354 skala 1:1.000.000, ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) berupa data angin interval per 3 jam tahun 2010-2019, INA-COAP (*Indonesia-Consortium of Oceanic and Atmospheric Prediction*) berupa data angin interval per 6 jam tahun 2008-2017, Badan Informasi Geospasial berupa data pasang surut, dan perusahaan migas berupa data skenario pengeboran (volume limbah, debit, koordinat dan kedalaman dumping).

Metode Pemodelan

Model yang digunakan dalam studi ini adalah model numerik dalam bentuk *software user interface* dengan nama DHI MIKE 3 Flow Model FM yang dikembangkan oleh *Danish Hydraulic Institute (DHI) Water and Environment, Denmark*. Paket *interface* ini digunakan untuk pemodelan 3 dimensi dengan pendekatan berdasarkan *cell-centred finite volume method* (metode volume hingga). Modul-modul yang digunakan dalam paket ini adalah modul Hidrodinamika (HD), Modul *Mud Transport* (MT) dan modul *Transport* (T) (DHI, 2012). Ketiga modul tersebut masing-masing digunakan untuk menyelesaikan hidrodinamika perairan (sirkulasi arus), dinamika sedimen ketika masuk ke perairan dan menyelesaikan sebaran polutan yang masuk ke perairan.

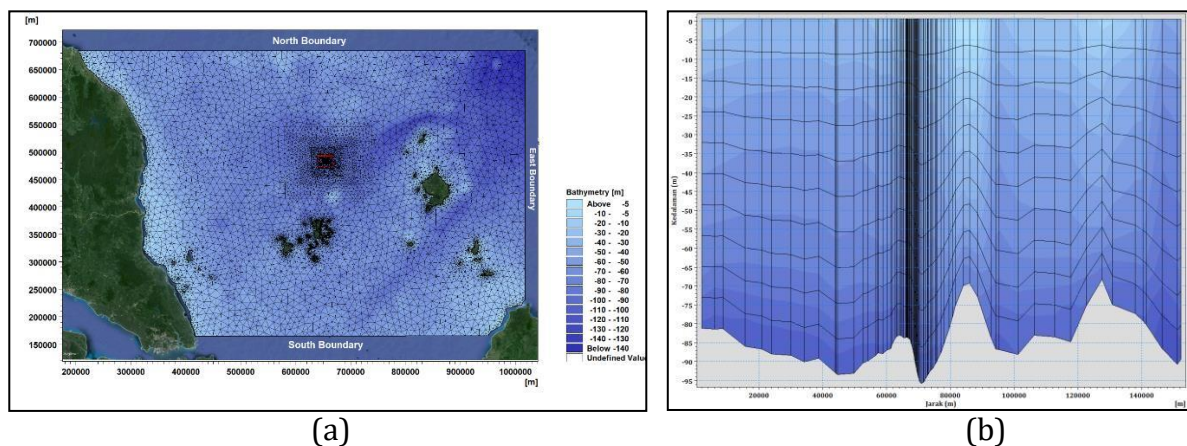
Setup dan Desain Model

Setup dan desain model mengikuti kebutuhan dan *user guide* dari *software* DHI MIKE 3 Flow Model FM yang digunakan. Sesuai *user guide*, maka langkah-langkah untuk membangun pemodelan sebaran TSS diuraikan sebagai berikut: (DHI, 2012)

Domain dan Diskritisasi Model

Dalam studi ini area pemodelan (area komputasi) dibuat seluas mungkin atau sejauh mungkin dengan area *interest*, tujuannya adalah untuk mendapatkan aliran batas terbuka pasut secara benar dan memperoleh kestabilan model yang baik di area *interest*. Lokasi yang menjadi area *interest* dalam kajian ini adalah di sekitar lokasi rencana dumping. Selanjutnya dikarenakan dalam studi ini solusi numerik yang digunakan adalah *cell-centred finite volume method* (metode volume hingga), maka area model dibagi dalam bentuk segitiga kecil kemudian diterapkan ke dalam bentuk diskritisasi.

Elemen-elemen yang digunakan dalam studi ini dibuat bervariasi, ukuran elemen yang detail di buat di area *interest* (area dumping), sedangkan untuk elemen yang lokasi yang jauh dari wilayah kajian dibuat ukuran besar. Dikarenakan model yang digunakan adalah model dimensi (3D), maka diskritisasi terdiri dari 2 bentuk, yakni diskritisasi secara horisontal (*horizontal plane*) dan diskritisasi vertikal. Diskritisasi horisontal dibuat tidak teratur, sedangkan secara vertikal dibuat teratur atau konstan. Gambaran diskritisasi area model baik horisontal dan vertikal diperlihatkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diskritisasi model dalam bentuk elemen . (a) horisontal; (b) vertikal

Initial dan Open Boundary

Kondisi awal (*initial condition*)

Kondisi awal yang digunakan dalam pemodelan hidrodinamika adalah tinggi muka air permukaan dan komponen kecepatan arus. Dalam studi ini nilai kondisi awal untuk muka air dan kecepatan arus menggunakan nilai nol atau muka air dianggap rata dan massa air tidak bergerak. Kondisi awal yang digunakan dalam model *Mud Transport* (perpindahan sedimen) adalah konsentrasi TSS. Dalam kajian nilai konsentrasi awal TSS di perairan dianggap nol atau konsentrasi TSS akibat dumping merupakan nilai peningkatan (penambahan).

Syarat batas (*boundary condition*)

- **Batas tertutup (*closed boundary*)**
Batas tertutup yang digunakan adalah daratan atau pulau-pulau yang berada di area komputasi model. Pada batas ini secara otomatis komputasi tidak dilakukan.
- **Batas terbuka (*Open Sea Boundary Condition*)**
Batas terbuka yang digunakan adalah data pasang surut. Lokasi pemodelan pada studi ini akan menggunakan tiga batas terbuka pasang surut, yakni batas utara (*north boundary*), batas timur (*east boundary*) dan batas selatan (*south boundary*). Data ramalan pasut yang digunakan sebagai batas terbuka bervariasi terhadap ruang dan waktu.
- **Batas permukaan bebas (*Free Surface Boundary Condition*)**
Batas permukaan yang digunakan adalah angin. Hal ini dikarenakan pergerakan angin di permukaan perairan akan mengubah kecepatan arus dibawahnya karena efek tegangan geser (*shear stress*). Data angin yang digunakan merupakan data bulan Januari (mewakili Musim Barat), April (mewakili Musim Peralihan I), Agustus (mewakili Musim Timur) dan Oktober (mewakili Musim Peralihan II).

Skenario Simulasi Model

Dalam studi ini lama simulasi model hidrodinamika dilakukan selama 15 hari dengan tujuan untuk memperoleh kondisi pasut perbani dan pasut purnama, selain itu waktu simulasi dilakukan pada empat kondisi musim yang berbeda, yakni

1. Skenario 1; simulasi dilakukan pada bulan Januari dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh Musim Barat
2. Skenario 2; simulasi dilakukan pada bulan April dengan tujuan untuk memperoleh pengaruh Musim Peralihan I
3. Skenario 3; simulasi dilakukan pada bulan Agustus dengan tujuan untuk memperoleh pengaruh Musim timur
4. Skenario 4; simulasi dilakukan pada bulan Oktober dengan tujuan untuk memperoleh pengaruh Musim Peralihan II

Waktu simulasi dumping limbah pengeboran mengikuti simulasi hidrodinamika, yakni dilakukan pada Musim Barat, Musim Peralihan I, Musim Timur dan Musim Peralihan II. Sementara itu, dalam skenario dumping lumpur dan serbuk bor tidak dilakukan secara bersamaan pada saat proses pengeboran, namun pembuangan dilakukan di dua waktu yang terpisah. Skenario pembuangan serbuk dan lumpur bor mengikuti pergantian *casing* pipa pengeboran (**Tabel 1**).

Tabel 1. Skenario pembuangan serbuk bor dan lumpur Bor berdasarkan *casing* pipa pengeboran pada 1 Sumur Pengembangan

Interval	Bahan Lumpur	Jenis Limbah	Volume Buang (m ³)	Laju Buang (m ³ /jam)	Durasi Buang (jam)	Kedalaman Dumping (m)
26"	SW	Lumpur Bor	78	34,25	4	Dumping dekat dasar laut
		Serbuk Bor	59			
13-3/8	SW (Opsi-1)	Lumpur Bor	124	16,61	13	Dumping dekat dasar laut
		Serbuk Bor	92			

	WBM (Opsi-2)	Lumpur Bor	124	9.5	13	Serbuk dan lumpur diangkat ke atas rig pengeboran dan dibuang di kolom Perairan (8 m di bawah MSL)
		Serbuk Bor	92	7.1	13	
9-5/8"	WBM (Opsi-1)	Lumpur Bor	311	2.5	125	
		Serbuk Bor	261	2.1	125	
		Lumpur Bor	222	7.1	31	
7"	WBM (Opsi-1)		31	1	31	
		Serbuk Bor				

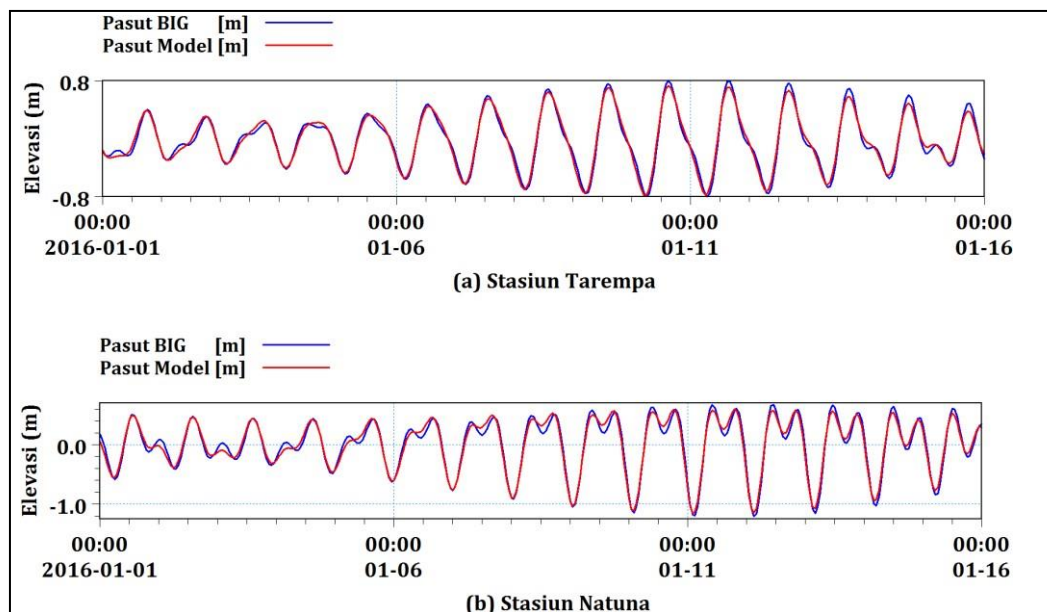
Sumber: SKK Migas dan Medco E&P Natuna Ltd., 2021

Keterangan: SW = Sea Water; WBM = Water Based Mud

3. HASIL DAN DISKUSI

Validasi Model

Komponen data yang divalidasi adalah pasang surut. Data pasang surut yang digunakan untuk verifikasi adalah data pasang surut sekunder yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) stasiun Natuna dan Tarempa. Hasil verifikasi model komponen pasang surut disajikan dalam bentuk grafik series yang tersaji dalam **Gambar 2**. Dari gambar tersebut terlihat elevasi pasang surut luaran model dan pasang surut BIG menunjukkan pola yang sangat mirip. Hasil perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan persentase kesalahan untuk stasiun Tarempa masing-masing diperoleh 0,045 dan 2,75 %, sedangkan stasiun Natuna diperoleh 0,056 dan 2,96 %. Dengan melihat kecilnya persentase kesalahan pasang surut luaran model, maka secara umum hasil model hidrodinamika telah disimulasikan ditinjau dari komponen pasang surut sudah mendekati kondisi yang sebenarnya.



Gambar 2. Validasi Pasang Surut Hasil Pengukuran di (a) Stasiun Tarempa. (b) Stasiun Natuna dengan Pasang Surut Hasil Model

Hasil Model

Hasil Model Sebaran TSS

Hasil model peningkatan konsentrasi TSS belum memperhitungkan konsentrasi awal TSS sekitar lokasi studi, sehingga hasil model merupakan penambahan TSS akibat pembuangan lumpur bor maupun serbuk bor. Penyajian hasil model sebaran TSS tiap skenario terdiri dari 2 gambar, yakni sebaran TSS pada lapisan kedalaman pembuangan dan penyajian sebaran melintang (*cross section*) pada radius 500 m.

Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat buangan lumpur bor dan serbuk bor baik kondisi Musim Barat, Peralihan I, Musim Timur dan Peralihan II disarikan dalam **Tabel 2**. Sementara contoh hasil pemodelan untuk kondisi TSS maksimum disajikan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.

Tabel 2. Konsentrasi TSS Maksimum Akibat Buangan Lumpur Bor dan Serbuk Bor Berdasarkan Jarak Dari Pusat Buangan

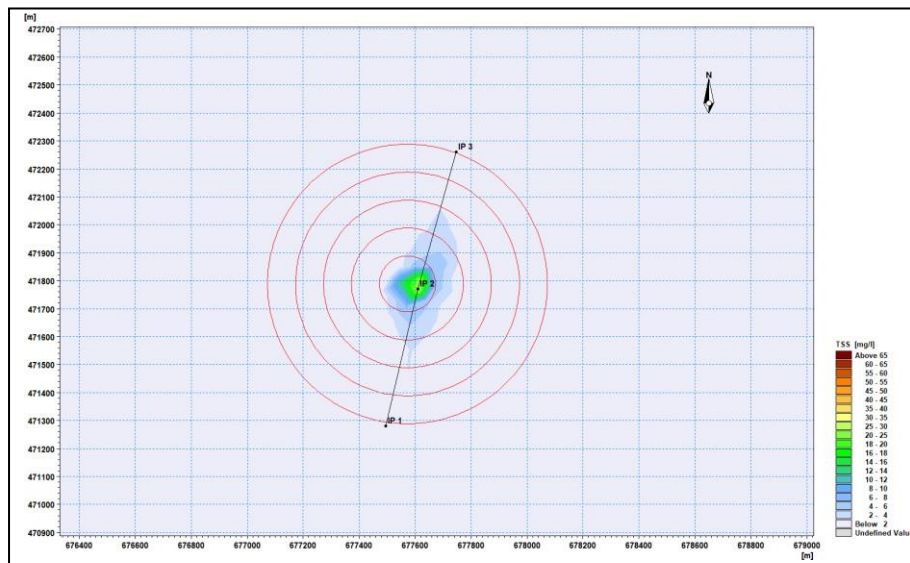
Musim	Tahapan	Jenis Lumpur	Jenis Limbah	Konsentrasi TSS [mg/l] berdasarkan Jarak[m]					
				50 m	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m
Musim Barat	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	35-40	4-6	< 2	< 2	< 2	< 2
	Section-2 opsi-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	5-6	1-1,5	0,5-1	< 0,5	< 0,5	< 0,5
	Section-2 opsi-2	WBM	Lumpur bor	1-1,2	0,2-0,4	0,2-0,4	< 0,2	< 0,2	< 0,2
			Serbuk Bor	1-1,2	0,2-0,4	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-3 opsi-1	WBM	Lumpur bor	0,1-0,2	0,04-0,06	0,02-0,04	<0,02	<0,02	<0,02
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-3 opsi-2	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4 opsi-1	WBM	Lumpur bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Section-4 opsi-2	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping						
		Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Musim Peralihan I	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	35-40	2-4	2-4	< 2	< 2	< 2
	Section-2 opsi-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	3,5-4	2-2,5	1-1,5	0,5-1	< 0,5	< 0,5

Musim	Tahapan	Jenis Lumpur	Jenis Limbah	Konsentrasi TSS [mg/l] berdasarkan Jarak[m]						
				50 m	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	
	Section-2 opsi-2	WBM	Lumpur bor	2-2,5	0,4-0,6	0,2-0,4	0,2-0,4	< 0,2	< 0,2	
			Serbuk Bor	1,6-1,8	0,4-0,6	0,1-0,2	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	
	Section-3 opsi-1	WBM	Lumpur bor	0,11-0,12	0,02-0,4	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
	Section-3 opsi-2	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping						
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
	Section-4 opsi-1	WBM	Lumpur bor	0,7-0,8	0,3-0,4	0,2-0,4	< 0,2	< 0,2	< 0,2	
			Serbuk Bor	0,4-0,6	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
	Section-4 opsi-2	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping						
			Serbuk Bor	0,4-0,6	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
	Musim Timur	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	45-50	4-6	2-4	< 2	< 2	< 2
		Section-2 opsi-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	1,5-2	0,5-1	0,5-1	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Section-2 opsi-2		WBM	Lumpur bor	1-1,2	0,2-0,4	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	
			Serbuk Bor	1,6-1,8	0,2-0,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Section-3 opsi-1		WBM	Lumpur bor	0,04-0,06	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Section-3 opsi-2		SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping						
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Section-4 opsi-1		WBM	Lumpur bor	0,2-0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Section-4 opsi-2		SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping						
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Musim Peralihan II	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	60-65	4-6	2-4	< 2	< 2	< 2	

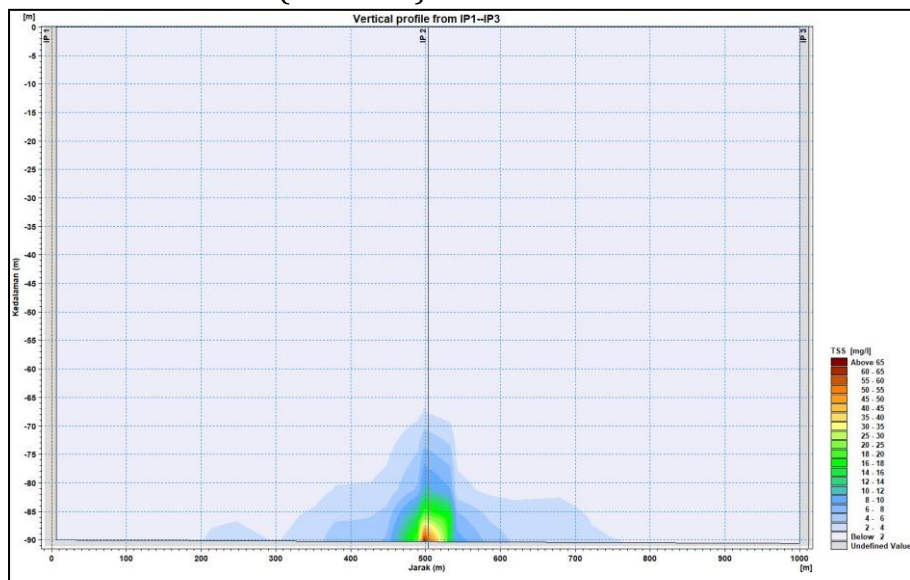
Musim	Tahapan	Jenis Lumpur	Jenis Limbah	Konsentrasi TSS [mg/l] berdasarkan Jarak[m]					
				50 m	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m
	Section-2 opsi-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	4-5	2-2,5	1-1,5	0,5-1	0,5-1	< 0,5
	Section-2 opsi-2	WBM	Lumpur bor	1,2-1,4	0,4-0,6	0,2-0,4	0,2-0,4	< 0,2	< 0,2
			Serbuk Bor	1,4-1,6	0,4-0,6	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-3 opsi-1	WBM	Lumpur bor	0,1-0,11	0,02-0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
			Serbuk Bor	0,4-0,6	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-3 opsi-2	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	0,4-0,6	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4 opsi-1	WBM	Lumpur bor	1-1,5	0,4-0,5	0,2-0,3	0,1-,2	0,1-,2	< 0,1
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4 opsi-2	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Secara umum, berdasarkan hasil pemodelan terlihat arah sebaran TSS pada setiap musimnya. Pada saat Musim Barat arah sebaran TSS pada keseluruhan tahap pengeboran cukup bervariasi, akan tetapi sebagian besar dominan bergerak ke barat daya hingga selatan dan sebagian kecil lainnya ke arah timur laut. Ketika Musim Timur arah sebaran dominan ke arah utara hingga timur laut. Ketika Musim peralihan I arah sebaran cenderung tidak teratur, yakni sebagian ke arah utara hingga timur laut dan sebagian lainnya ke arah barat daya, sementara kondisi Musim Peralihan II cenderung teratur dan sebagian besar bergerak ke timur laut. Bervariasinya arah sebaran TSS tersebut merupakan faktor pengaruh arus musiman, maupun kombinasi arus musiman dengan arus pasut.

Konsentrasi TSS akibat buangan lumpur bor dan serbuk bor terlihat bervariasi baik dilihat dari tahap pengeboran maupun secara musiman. Namun demikian, jika dilihat berdasarkan pola konsentrasinya terlihat konsentrasi tinggi hanya berada dipusat buangan selanjutnya menurun seiring bertambahnya jarak dari pusat buangan. Peningkatan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor (**Tabel 2**) tertinggi berkisar 60-65 mg/l, konsentrasi tertinggi tersebut hanya terlihat pada Musim Peralihan II saat pengeboran section-1 (**Gambar 3**). Sementara itu peningkatan konsentrasi TSS akibat serbuk bor tertinggi berkisar 5-6 mg/l dan terjadi pada Musim Barat saat pengeboran section-2 (**Gambar 4**).

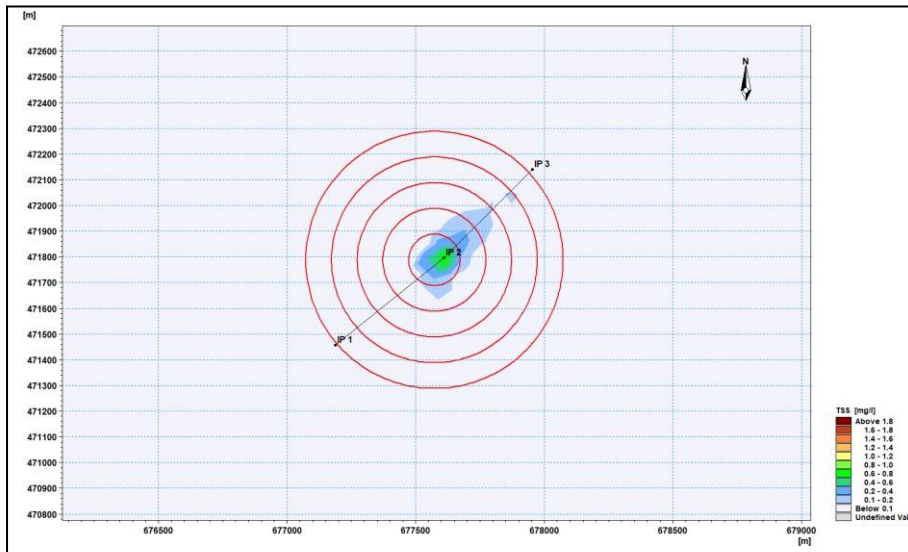


(Section 1) Sebaran horizontal

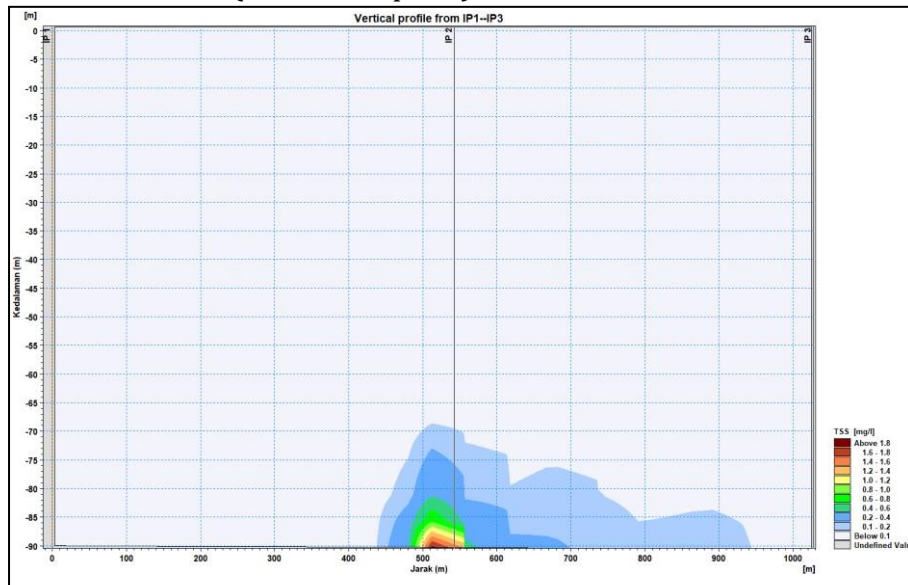


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

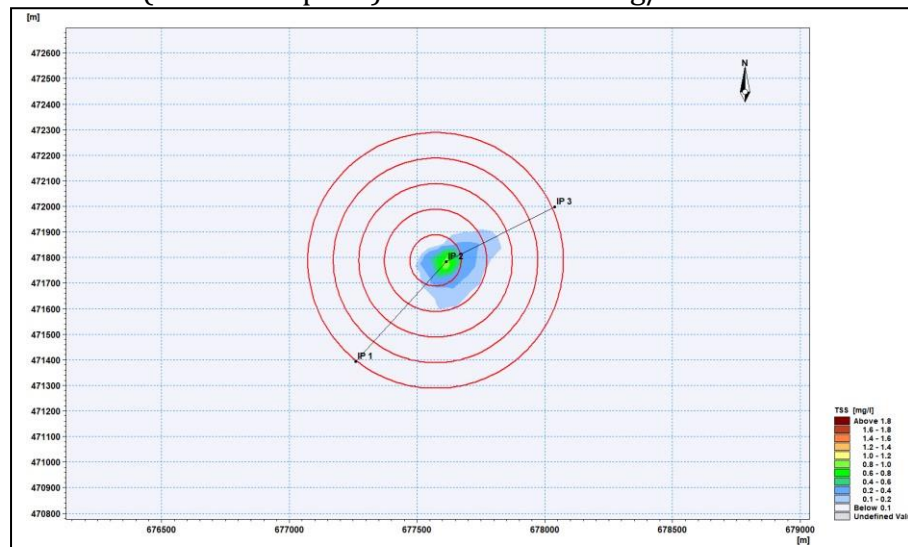
Gambar 3. Contoh Sebaran Vertikal dan Melintang (*Cross Section*) TSS Paling Tinggi (Maksimum) dari Pembuangan Lumpur Bor pada Section-1 di Musim Peralihan II



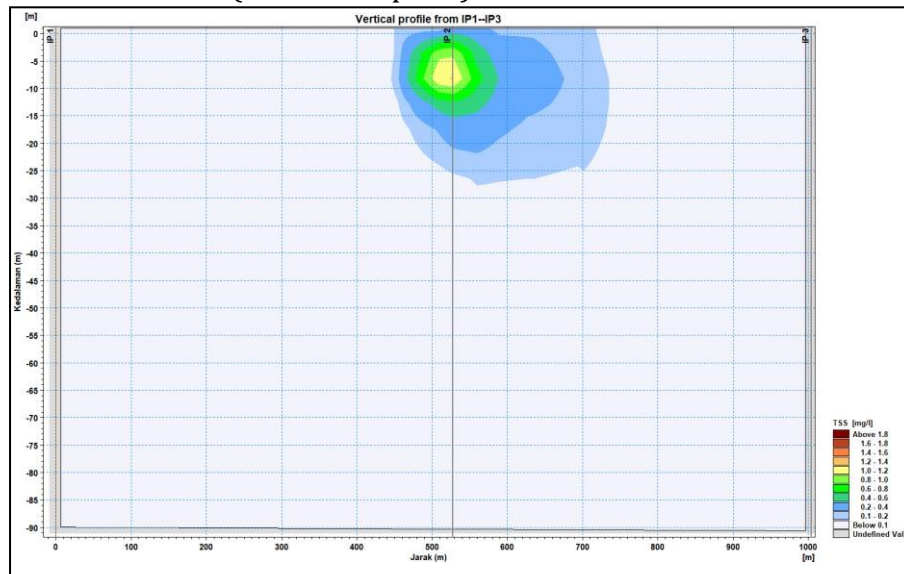
(Section 2 opsi-1) Sebaran horizontal



(Section 2 opsi-1) Sebaran melintang/cross section



(Section 2 opsi-2) Sebaran horizontal



(Section 2 opsi-2) Sebaran melintang/cross section

Gambar 4. Contoh Sebaran Vertikal dan Melintang (*Cross Section*) TSS Paling Tinggi (Maksimum) dari Pembuangan Serbuk Bor pada Section-2 di Musim Barat

Nilai konsentrasi TSS di perairan sekitar lokasi dumping yang diperoleh dari hasil pengambilan dan analisis sampel Bulan Maret Tahun 2022 menunjukkan nilai sebesar 2-3 mg/L (SKK Migas dan Medco E&P Natuna Ltd., 2022). Dengan tambahan konsentrasi TSS dari dumping limbah lumpur bor, maka pada jarak sekitar 50 m dari titik pembuangan, nilai konsentrasi TSS gabungan sudah memenuhi baku mutu sesuai Lampiran VIII PP No. 22 Tahun 2021. Sedangkan akibat dumping serbuk bor tidak terlihat ada konsentrasi TSS gabungan yang melebihi baku mutu dari radius 50 m hingga 500 m dari titik buangan. Konsentrasi TSS gabungan ini akan semakin berkurang seiring semakin jauhnya jarak dari titik pembuangan. Pada jarak 500 m sebagai pembatas nilai konsentrasi TSS sudah harus memenuhi baku mutu, terlihat nilai konsentrasi TSS tambahan dari pembuangan limbah serbuk maupun lumpur sudah sangat kecil, yakni dari $< 0,02$ mg/l hingga < 2 mg/l.

Berdasarkan hasil pemodelan di atas maka skenario pengeboran dan rencana dumping yang direncanakan oleh perusahaan migas memungkinkan untuk dilakukan sesuai peraturan perundangan yang berlaku. *Mixing zone*, yaitu zona pencampuran antara konsentrasi TSS limbah dan TSS air laut ambien yang melebihi baku mutu hanya berada pada area sekitar 50 m dari lokasi pembuangan. Sampai jarak 500 m dari titik pembuangan, nilai konsentrasi TSS tambahan dari dumping limbah semakin berkurang.

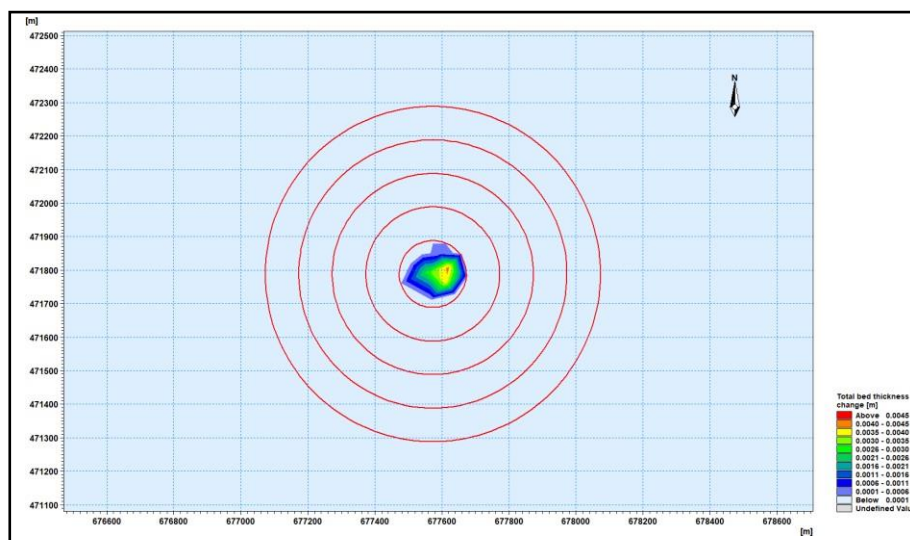
Perubahan Ketebalan Dasar Perairan

Model yang di-running juga dapat menghasilkan perubahan ketebalan dasar perairan akibat buangan limbah serbuk dan lumpur bor, yakni berupa penebalan atau pendangkalan (sedimentasi) di lokasi pembuangan limbah pengeboran. Hasil model perubahan dasar perairan akibat pembuangan lumpur bor dan serbuk di lokasi dumping pada keseluruhan musim disajikan dalam **Gambar 5**. Ketebalan dasar hasil model berdasarkan keseluruhan gambar tersebut disarikan dalam **Tabel 3**. Berdasarkan Tabel

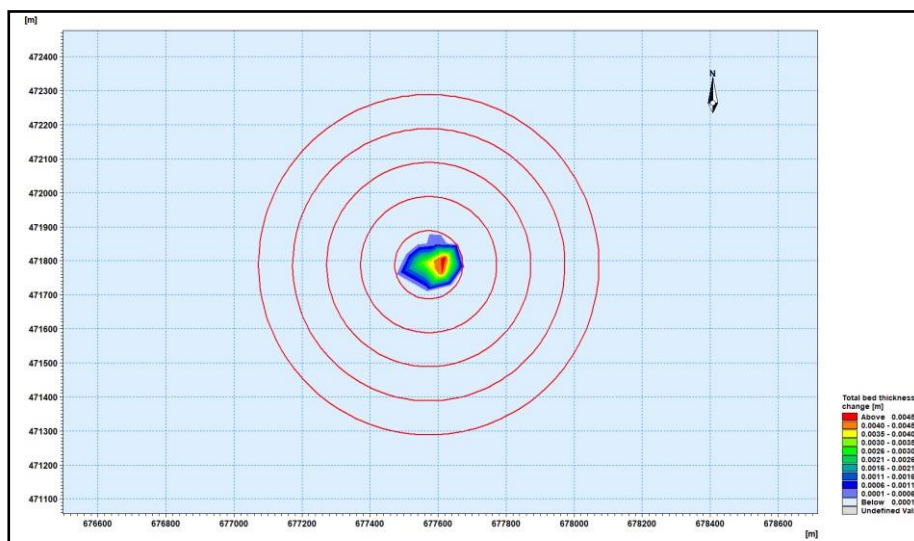
tersebut terlihat penebalan dasar atau sedimen yang mengendap (tersedimentasi) di titik lokasi dumping tergolong kecil, yakni pada keseluruhan sumur dan musim berkisar 0,0040-0,0045 m. Hal ini menunjukkan total lumpur bor dan serbuk bor tidak hanya mengendap di titik lokasi buangan, melainkan terdistribusi ke area yang luas dikarenakan faktor hidrodinamika.

Tabel 3. Perubahan ketebalan dasar maksimum/sedimen terdeposisi akibat dumping lumpur dan serbuk bor

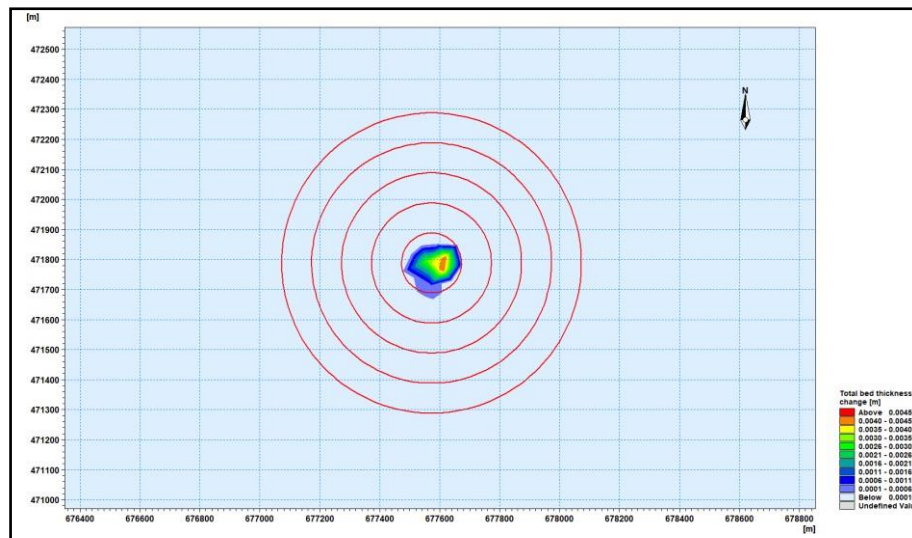
Musim	Ketebalan dasar (m)
Musim Barat	0,0040
Musim Peralihan I	0,0045
Musim Timur	0,0040
Musim Peralihan II	0,0045



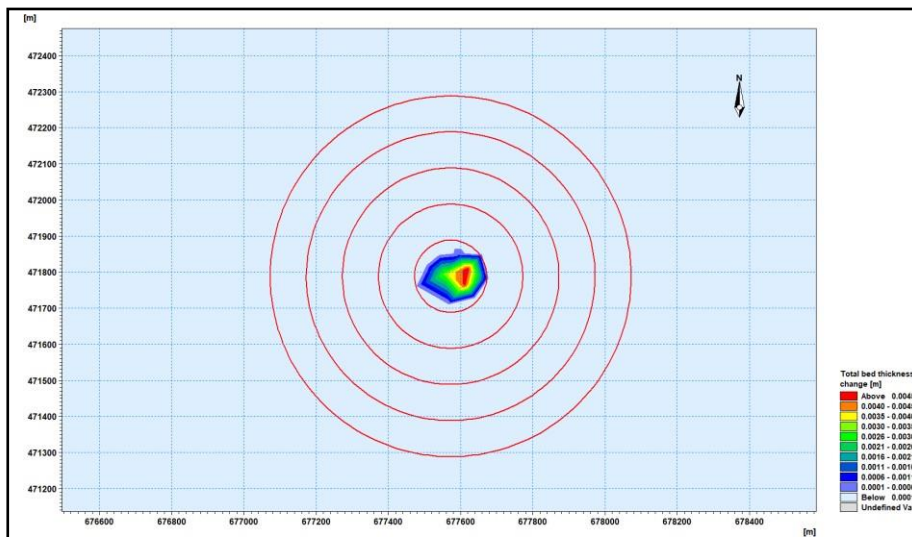
Perubahan ketebalan dasar (sedimentasi) akibat dumping saat Musim Barat.



Perubahan ketebalan dasar (sedimentasi) akibat dumping saat Musim Peralihan I.



Perubahan ketebalan dasar (sedimentasi) akibat dumping saat Musim Timur



Perubahan ketebalan dasar (sedimentasi) akibat dumping saat Musim Peralihan II.

Gambar 5. Perubahan ketebalan dasar (sedimentasi) akibat dumping serbuk dan lumpur bor pada 4 musim simulasi

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil simulasi model maka dapat disarikan beberapa hal sebagai berikut :

- Berdasarkan hasil validasi model hidrodinamika, yakni membandingkan keluaran model berupa pasut terhadap data pasut sekunder dari BIG (Badan Informasi Geospasial) memperlihatkan adanya kesesuaian atau hasil model hidrodinamika sudah mendekati kondisi yang sebenarnya
- Pola arus permukaan di sekitar lokasi kajian cukup kuat mendapat pengaruh angin musiman, dimana saat Musim Barat dan Peralihan I arah arus dominan bergerak ke arah barat daya hingga selatan dengan kecepatan di lokasi sumur pengeboran rata-rata masing-masing berkisar 0,14-0,16 m/s dan sebaliknya ketika Musim Timur dan peralihan II pola arus bergerak ke arah utara dan timur laut dengan kecepatan rata-rata masing-masing berkisar 0,10-0,12 m/s dan 0,05-0,1 m/s.

- Pola sebaran TSS akibat buangan lumpur bor (*used mud*) dan serbuk bor (*cutting*) sebagian besar mengikuti pola arus dominan, yakni bergerak ke arah selatan hingga barat daya ketika Musim Barat, sedangkan pada Musim Timur dominan menuju ke utara hingga timur laut, sementara pada kedua Musim Peralihan terlihat tidak teratur atau tidak terlihat ada arah yang dominan
- Konsentrasi TSS akibat buangan lumpur bor pada keseluruhan sumur dan musim terlihat melebihi baku mutu pada saat pengeboran tahap-1 (section-1), akan tetapi sebarannya hanya pada radius 50 m dari pusat buangan
- Konsentrasi TSS akibat buangan serbuk bor pada keseluruhan sumur dan musim tidak terlihat ada yang melebihi baku mutu pada keseluruhan tahap pengeboran
- Nilai konsentrasi TSS di perairan sekitar lokasi dumping yang diperoleh dari hasil pengambilan dan analisis sampel Bulan Maret Tahun 2022 menunjukkan nilai sebesar 2-3 mg/L (SKK Migas dan Medco E&P Natuna Ltd., 2022). Dengan tambahan konsentrasi TSS dari dumping limbah lumpur bor, maka pada jarak sekitar 50 m dari titik pembuangan, nilai konsentrasi TSS gabungan sudah memenuhi baku mutu sesuai Lampiran VIII PP No. 22 Tahun 2021. Sedangkan akibat dumping serbuk bor tidak terlihat ada konsentrasi TSS gabungan yang melebihi baku mutu dari radius 50 m hingga 500 m dari titik buangan. Konsentrasi TSS gabungan ini akan semakin berkurang seiring semakin jauhnya jarak dari titik pembuangan. Pada jarak 500 m sebagai pembatas nilai konsentrasi TSS sudah harus memenuhi baku mutu, terlihat nilai konsentrasi TSS tambahan dari pembuangan limbah serbuk maupun lumpur sudah sangat kecil, yakni dari $< 0,02$ mg/l hingga < 2 mg/l.
- Penebalan dasar atau sedimen yang mengendap (tersedimentasi) di titik lokasi pembuangan tergolong kecil, yakni maksimum berkisar 0,0040-0,0045 m
- Berdasarkan hasil model, maka kegiatan pembuangan (dumping) limbah pengeboran dari kegiatan pengeboran di Laut Natuna Utara sudah memenuhi persyaratan persetujuan teknis dumping yang ada. Artinya skenario pengeboran dan dumping yang direncanakan oleh perusahaan dapat dilakukan untuk eksploitasi sumberdaya migas dan sebagai bagian dari aktivitas ekonomi dan peningkatan pendapatan negara tanpa menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [DHI] Danish Hydraulic Institute. 2012. MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM Hydrodynamic and Transport Module. Scientific Documentation. DHI Software.
- [DHI] Danish Hydraulic Institute. 2012. MIKE 3 FLOW MODEL FM, User Guide, DHI Software.
- [JDIH KLHK] Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2021. Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. (diakses 2022 Nov 30). <https://jdih.menlhk.go.id/new2/home/portfolioDetails/22/2021/7>.
- [JDIH KLHK] Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2021. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. (diakses 2022 Nov 30). <https://jdih.menlhk.go.id/new2/home/portfolioDetails/6/2021/4>.
- [Kementerian ESDM] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2022. Ini Kinerja Subsektor Migas Tahun 2021 dan Rencana Kerja 2022. [diakses 2022 Nov 30]. <https://migas.esdm.go.id/post/read/ini-kinerja-subsektor-migas-tahun-2021-dan-rencana-kerja-2022>.
- Pratama AD, Siregar SH, Mubarak. 2019. Hubungan Total Suspended Solid (TSS) Dengan Kelimpahan Fitoplankton di Perairan Selat Padang, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau. *Jurnal Universitas Riau*. UNRI:Pekanbaru.
- Rizka RF, Purnomo PW, Sabdaningsih A. 2020, Pengaruh Total Suspended Solid (TSS) Terhadap Densitas Zooxanthellae Pada Karang *Acropora* sp. Dalam Skala Laboratorium. *Jurnal Pasir Laut*, vol. 4, no. 2, pp. 95-101, Sep. 2020. <https://doi.org/10.14710/pasir laut.2020.33689>
- [SKK Migas] Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi. 2022. Laporan Tahunan 2021; Mempertahankan Kinerja di Tengah Pandemi untuk Optimalisasi Kontribusi bagi Negara. Jakarta : SKK Migas.
- SKK Migas, Medco E&P Natuna Ltd. 2022. Adendum ANDAL, RKL-RPL Pengembangan Lapangan Gas West Belut di Blok B Natuna, Laut Natuna Utara, Kabupaten Kepulauan Anamas, Provinsi Kepulauan Riau. SKK Migas-Medco E&P Natuna Ltd.:Jakarta.