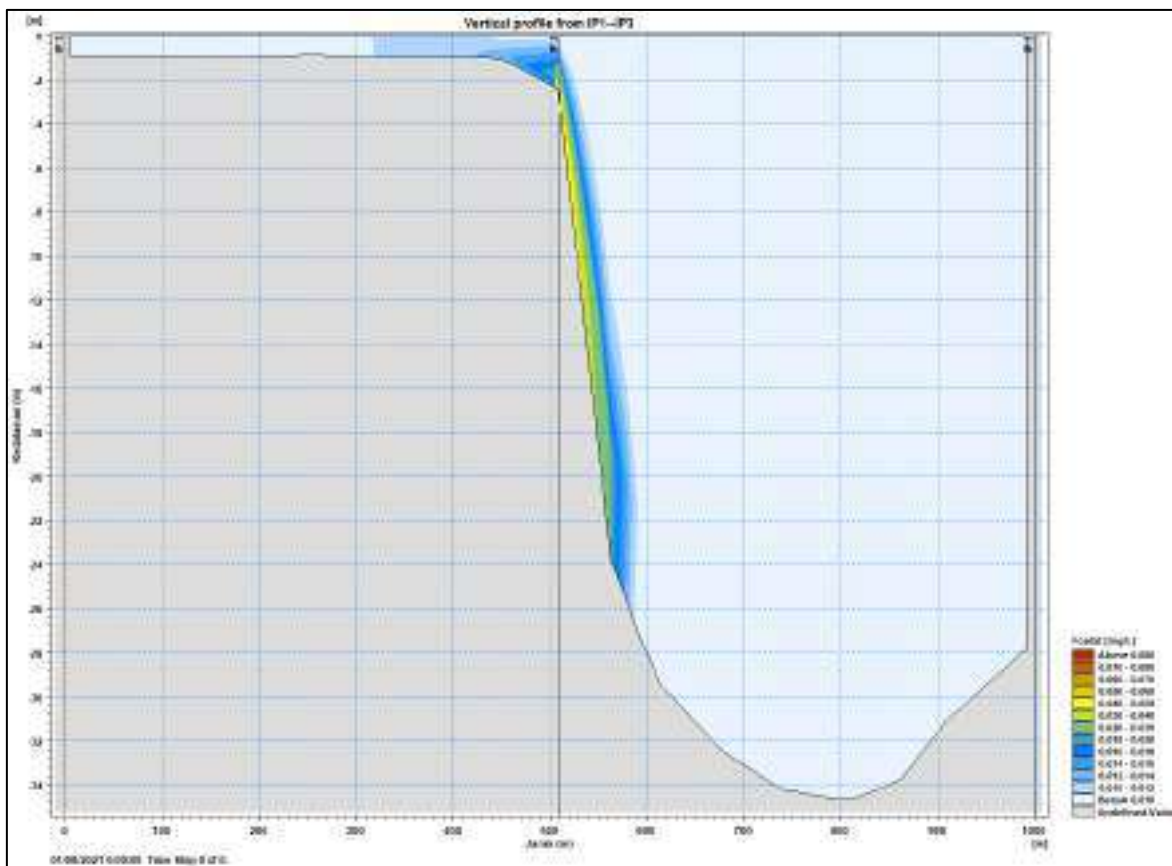
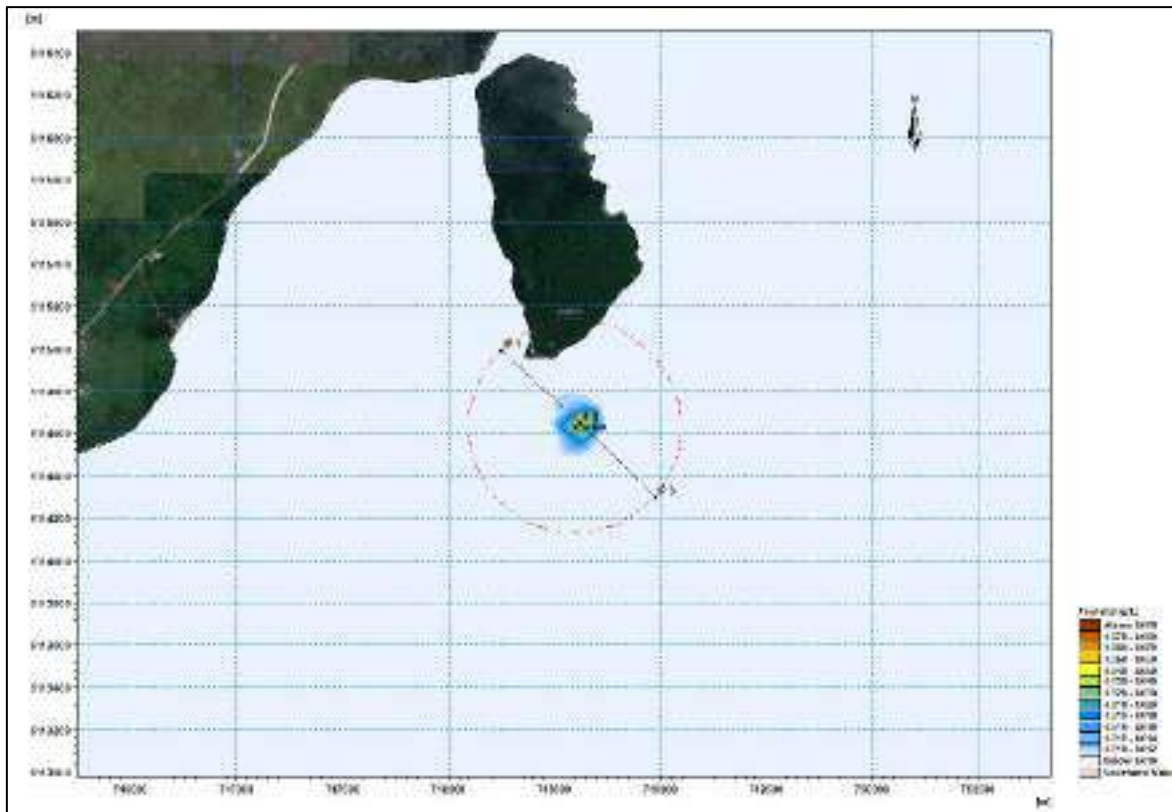
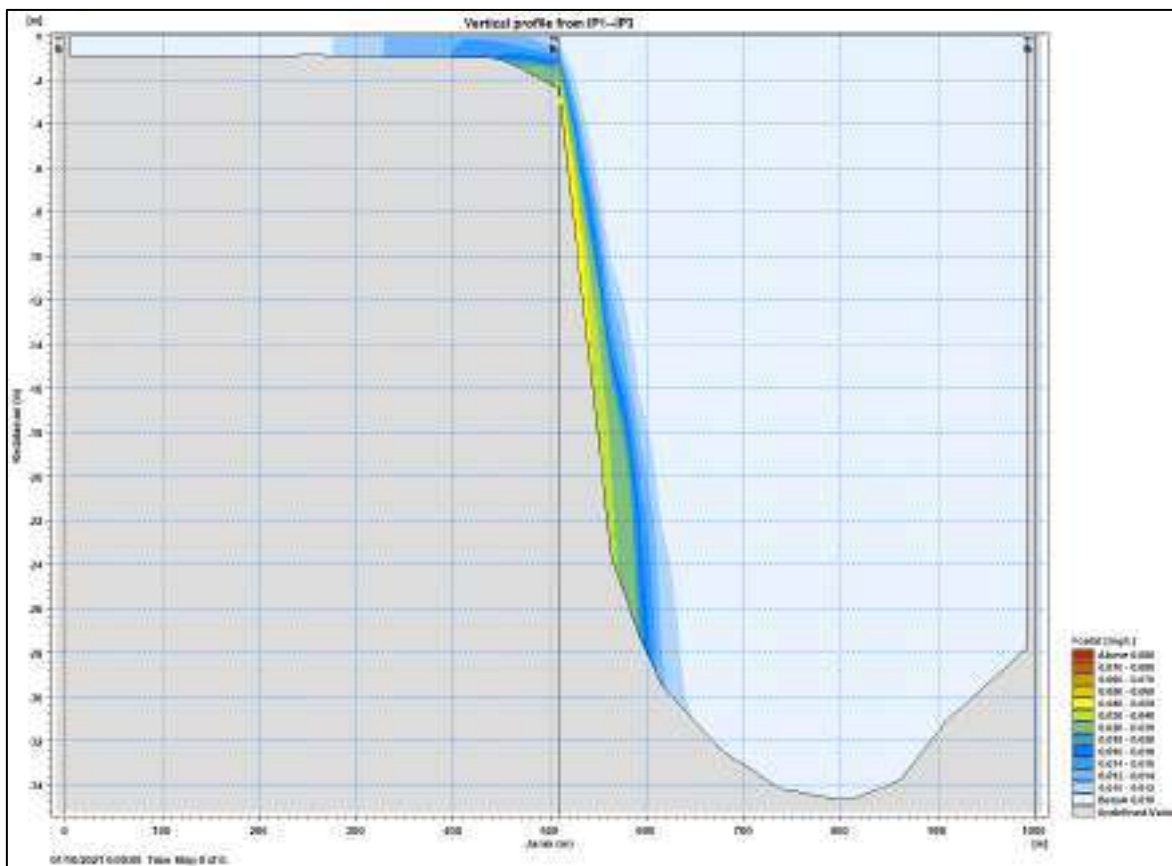
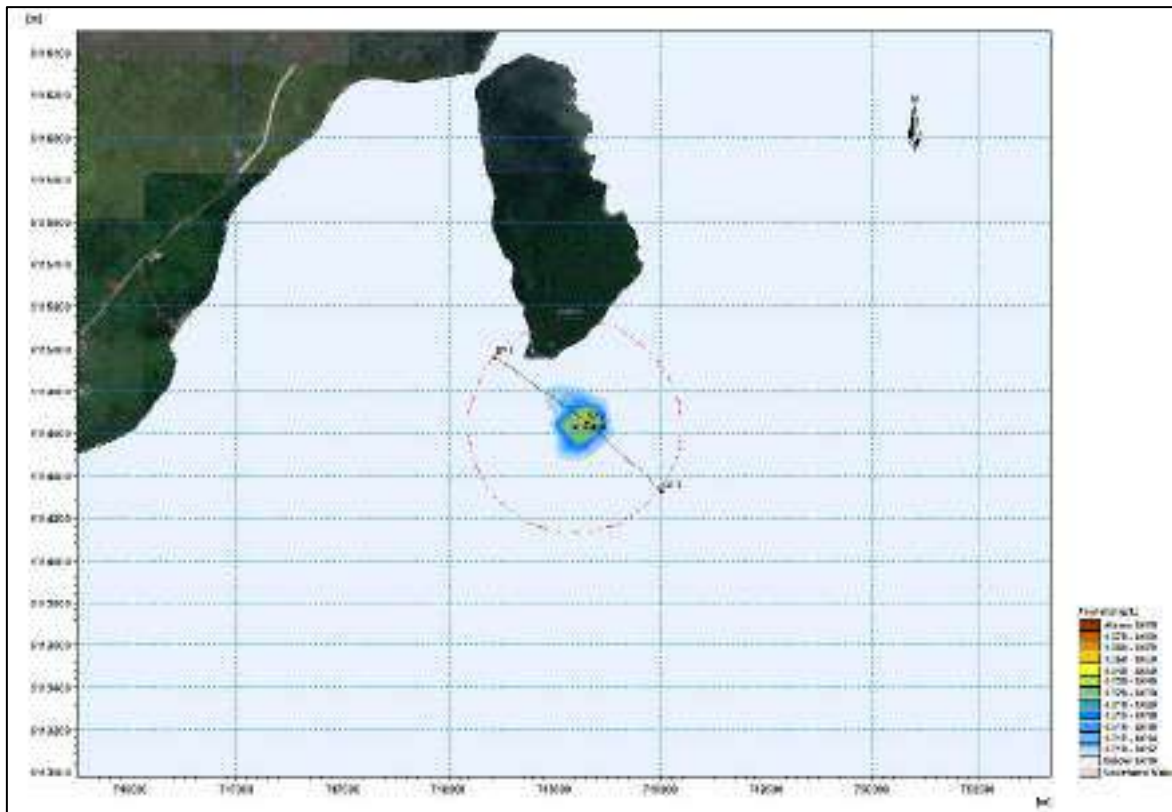
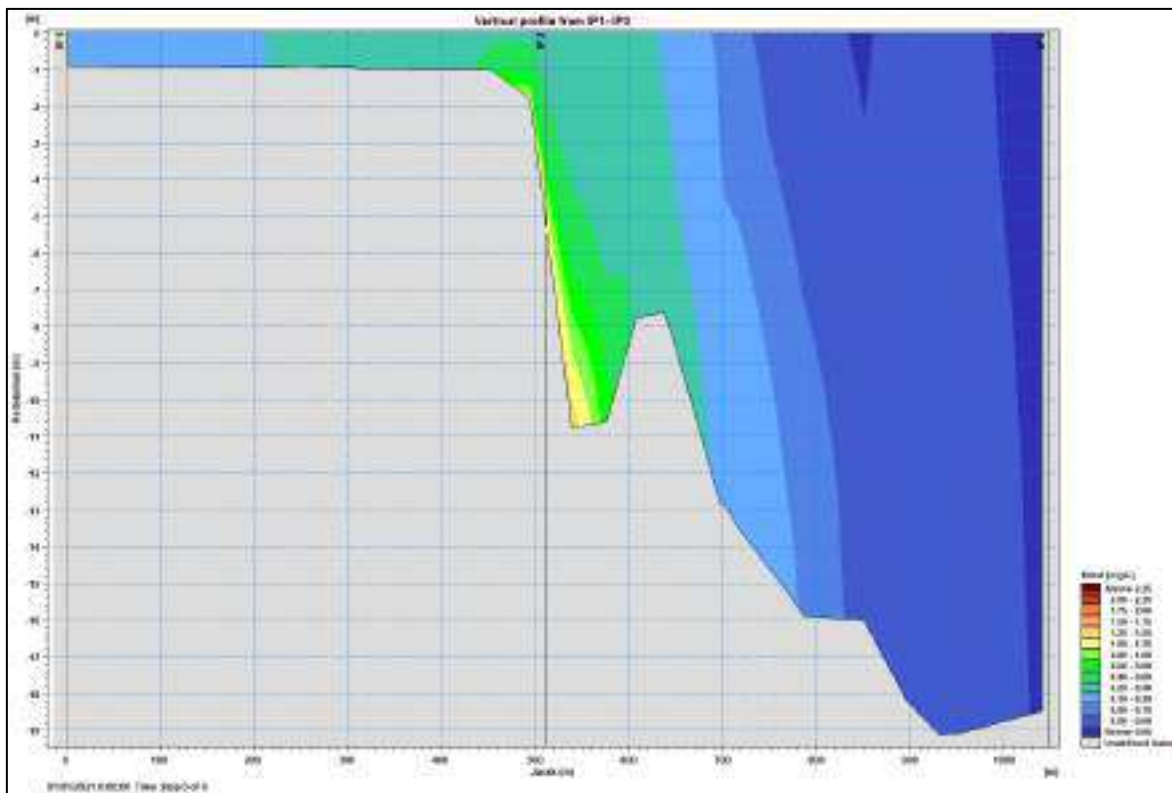
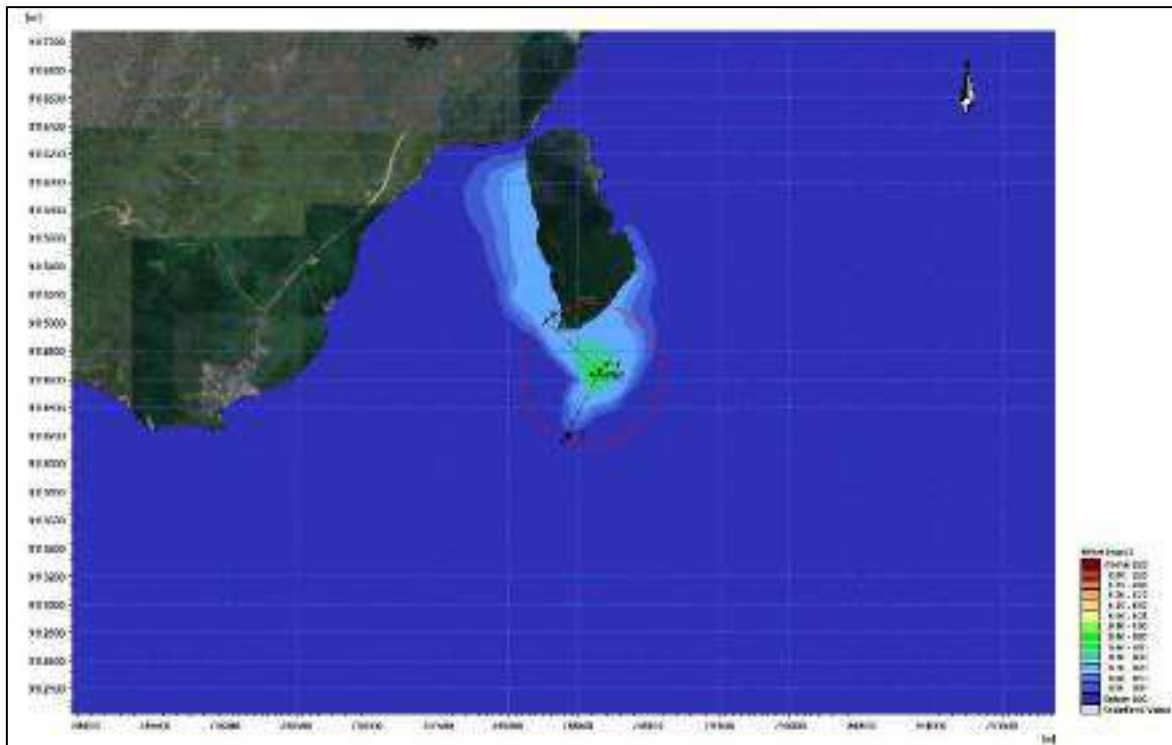




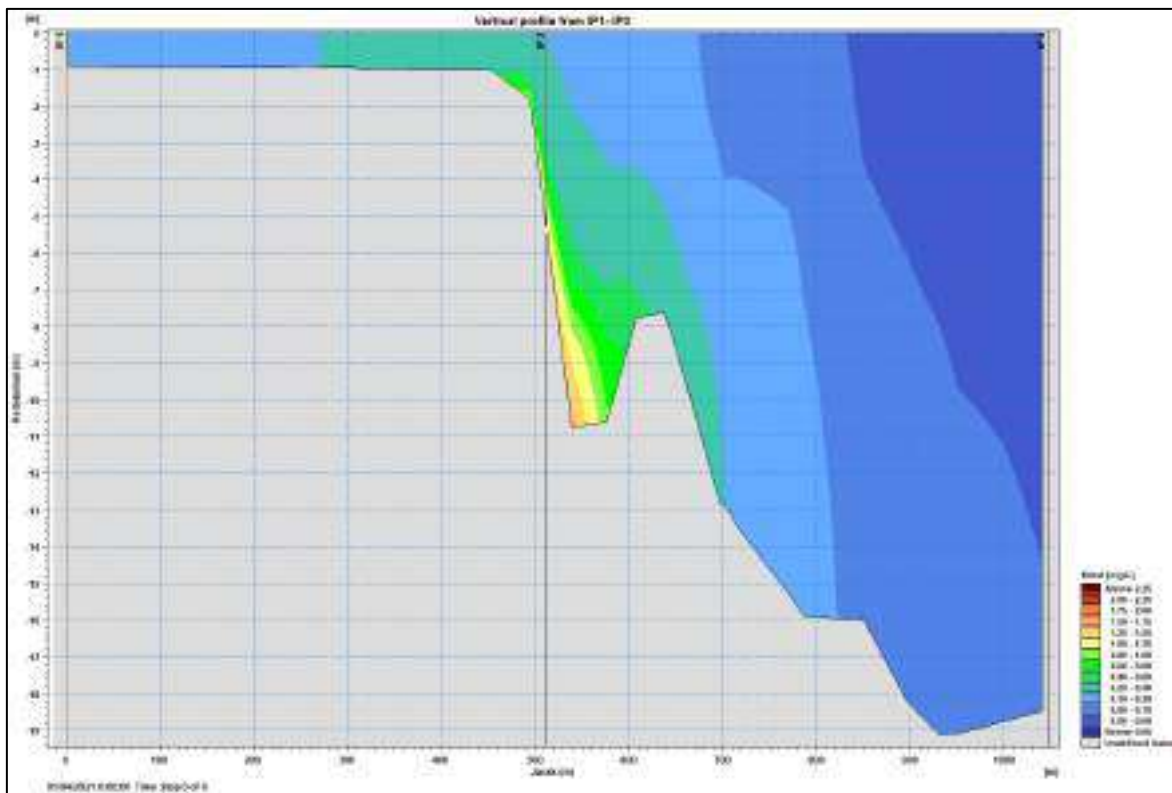
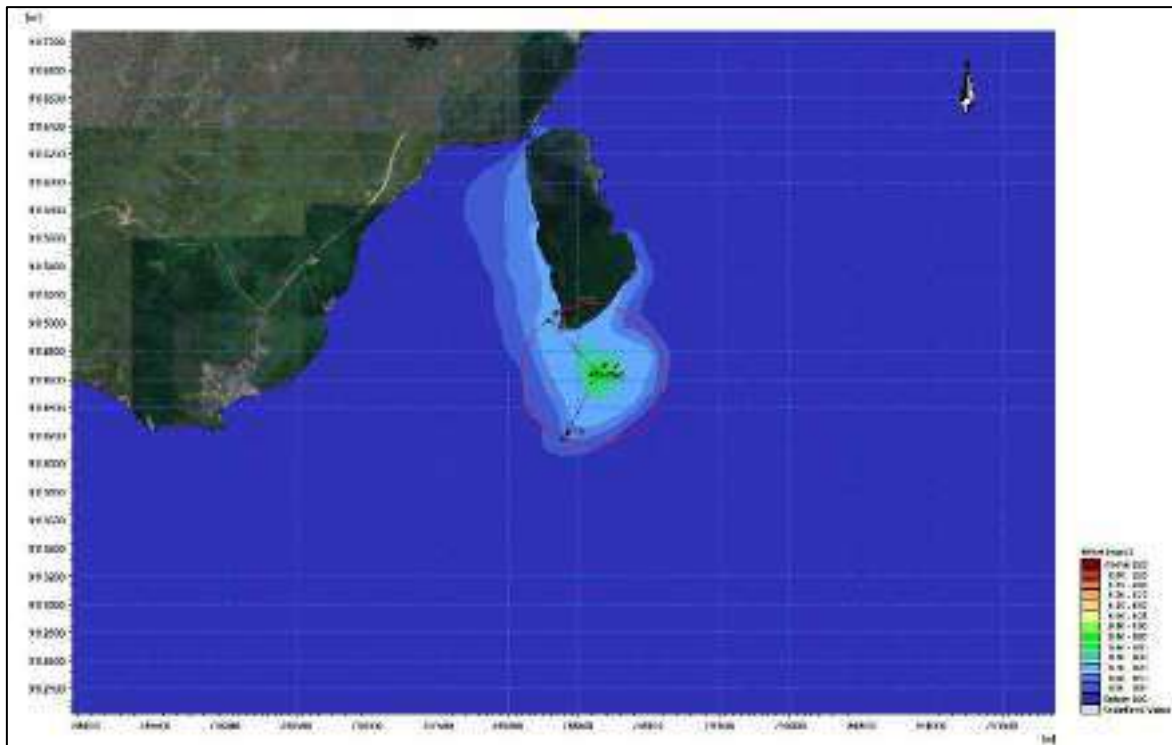
Gambar 146. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Fosfat maksimum hasil simulasi skenario-2 kondisi musim timur



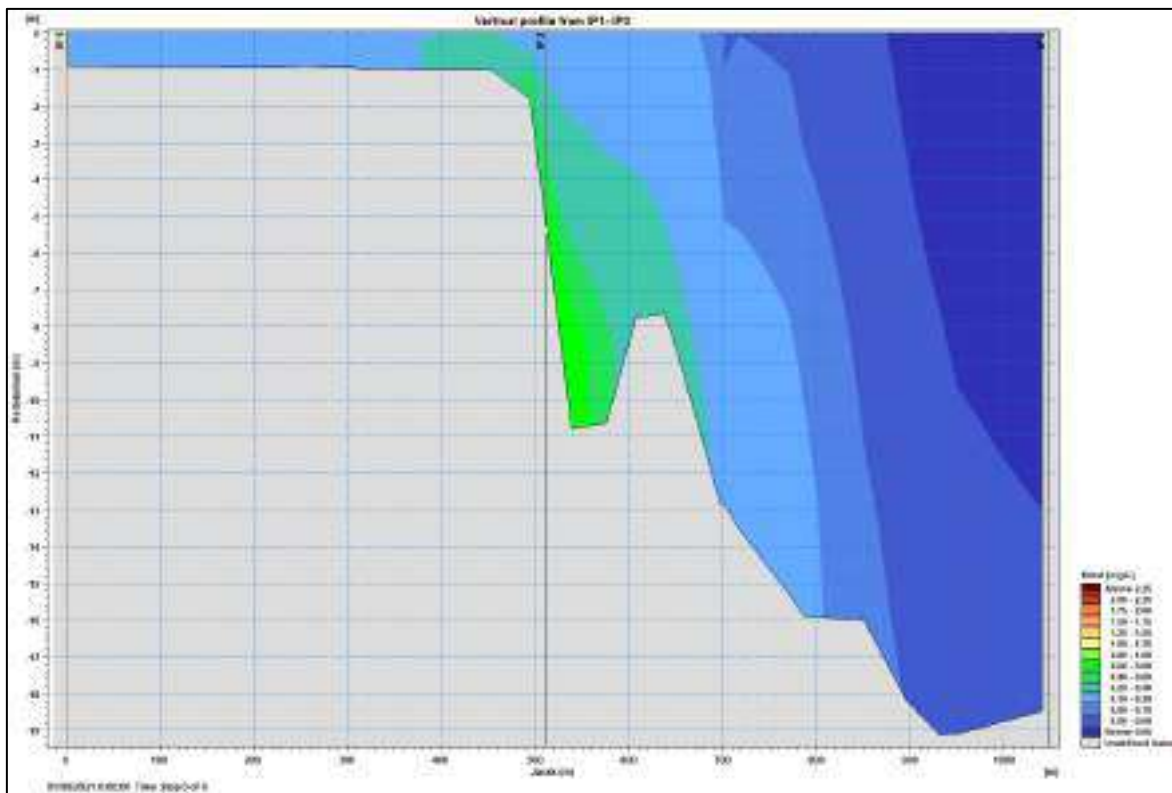
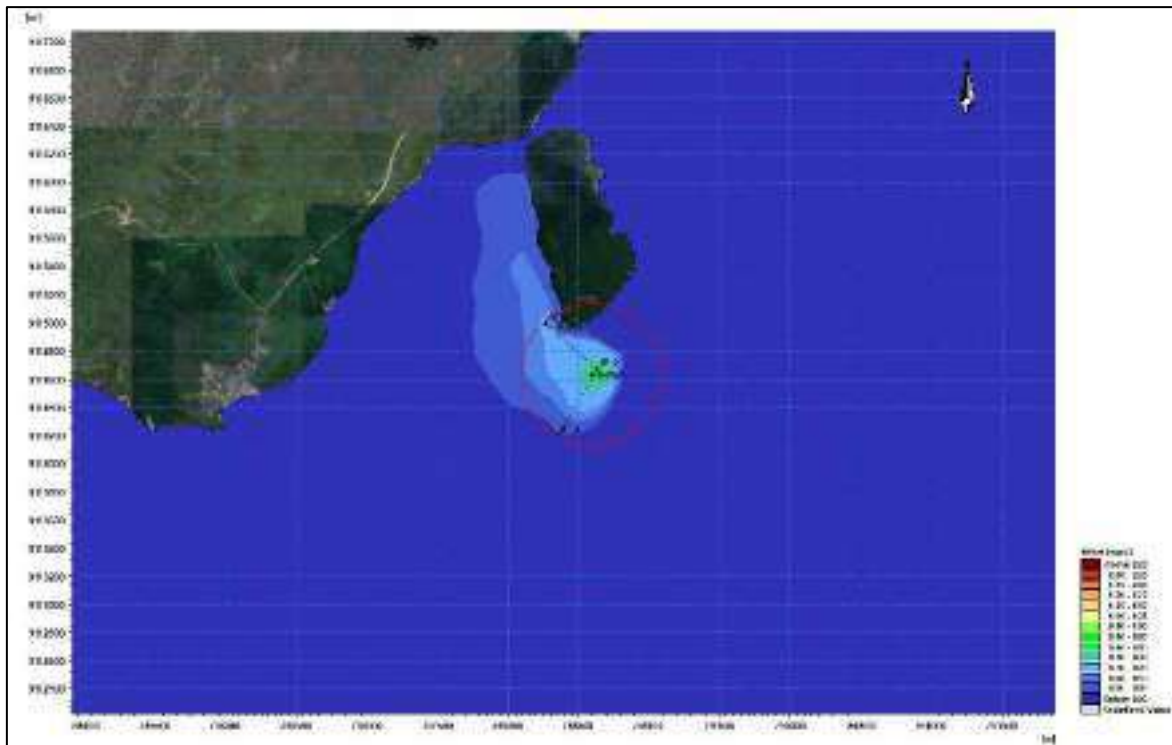
Gambar 147. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Fosfat maksimum hasil simulasi skenario-2 kondisi musim peralihan II



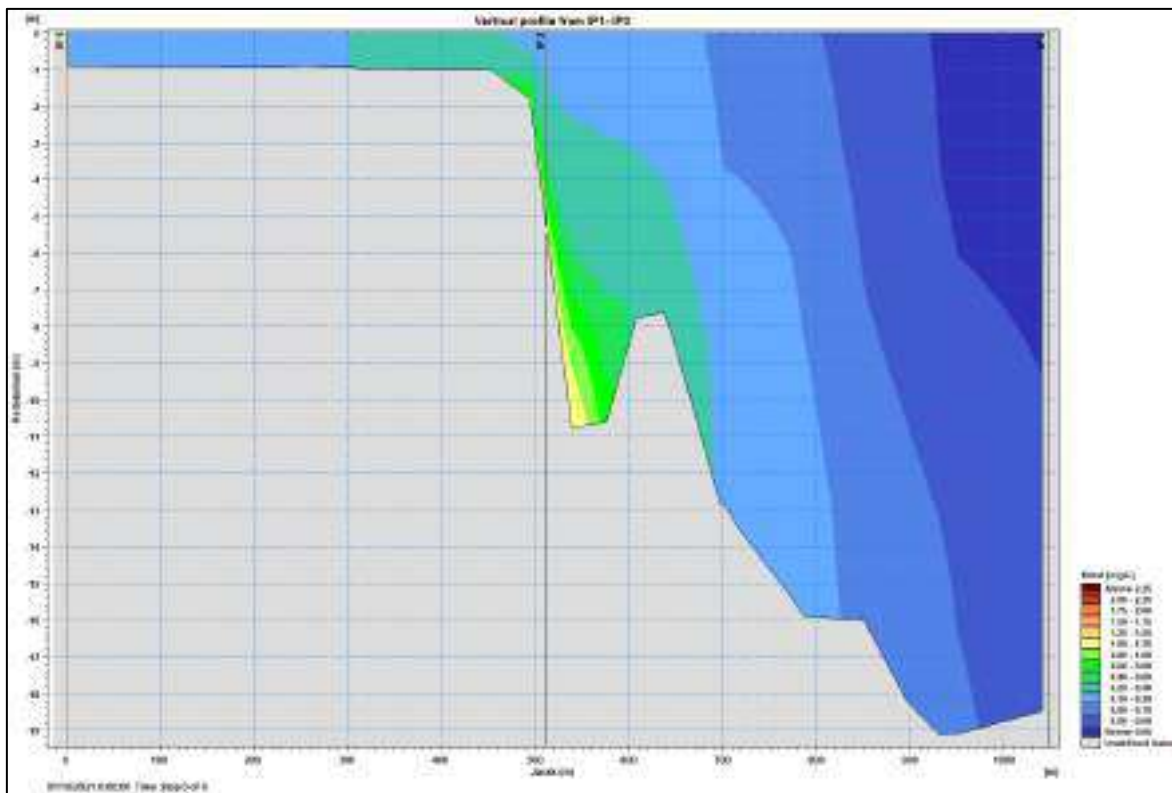
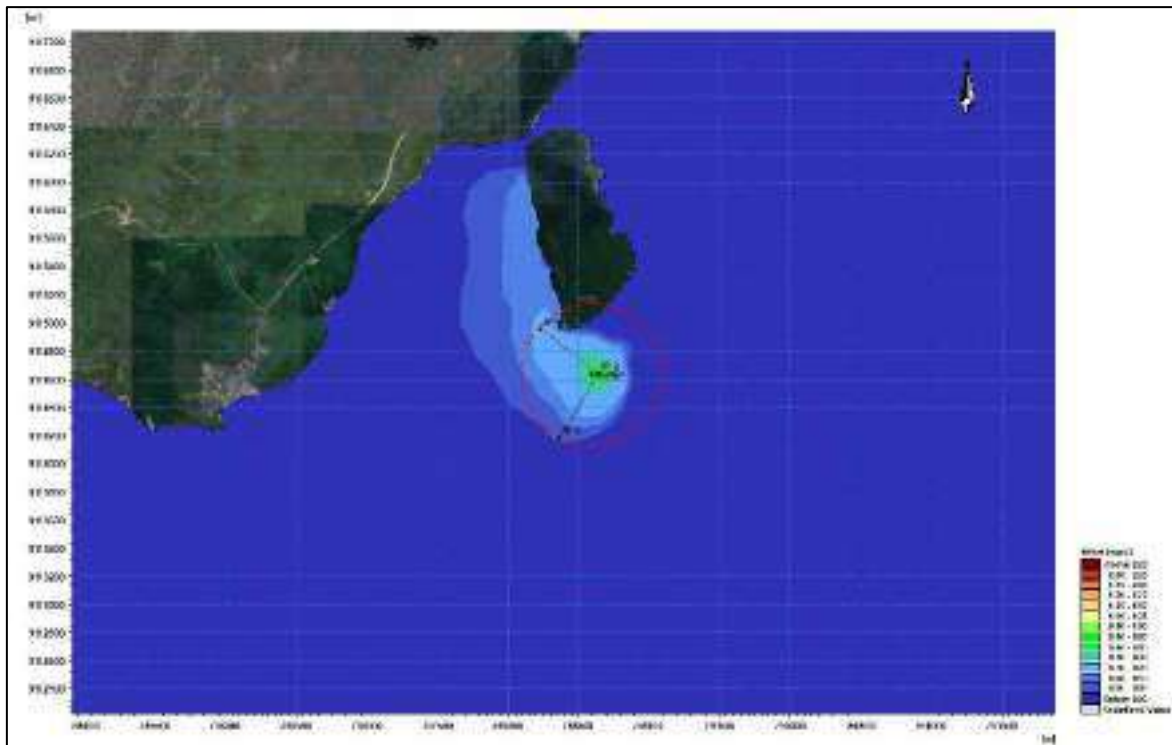
Gambar 148. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Nitrat maksimum hasil simulasi skenario-2 kondisi musim barat



Gambar 149. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Nitrat maksimum hasil simulasi skenario-2 kondisi musim peralihan I



Gambar 150. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Nitrat maksimum hasil simulasi skenario-2 kondisi musim timur

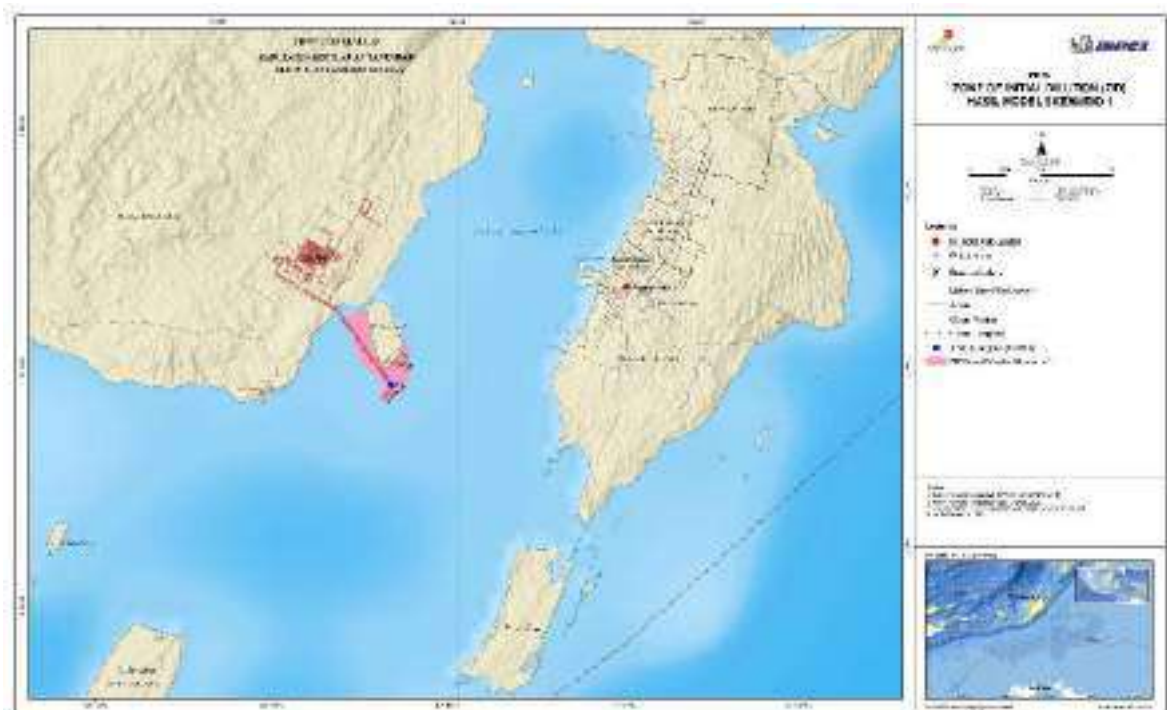


Gambar 151. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Nitrat maksimum hasil simulasi skenario-2 kondisi musim peralihan II

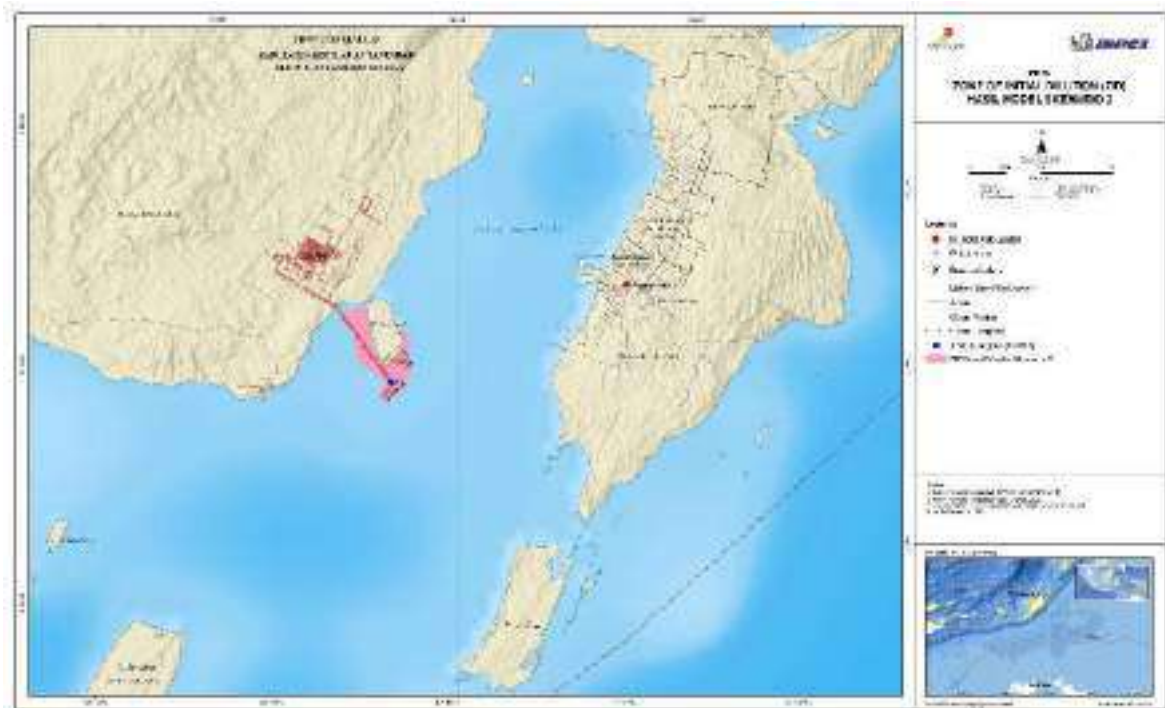
6. ZID DAN USULAN TITIK PANTAU

Zone of Initial Dilution (ZID) adalah suatu zona di mana organisme, termasuk benthos, dapat terpapar oleh pencemar dengan konsentrasi yang melebihi baku mutu air laut secara terus menerus. Pendekatan penentuan ZID dalam studi ini adalah berdasarkan hasil model sebaran limbah. Parameter yang dipilih sebagai acuan untuk penentuan ZID adalah parameter limbah yang ketika masuk ke perairan konsentrasinya masih melampaui baku mutu dan sebarannya paling jauh diantara parameter lainnya. Baku mutu yang digunakan adalah baku mutu badan air penerima, yakni PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk biota laut.

Berdasarkan hasil model secara keseluruhan, parameter yang konsentrasinya masih melebihi baku mutu ketika masuk ke badan penerima adalah Cd, Fosfat dan nitrat. Diantara ketiga parameter yang melebihi baku mutu tersebut nitrat adalah parameter yang sebarannya paling jauh, sehingga parameter nitrat digunakan untuk mendeliniasi ZID. Batas terkecil nilai yang digunakan untuk menentukan ZID adalah nilai baku mutu nitrat, yakni sebesar 0.06 mg/L, artinya semua konsentrasi nitrat hasil model yang nilainya ≥ 0.06 mg/L dianggap sebagai area ZID. Hasil deliniasi ZID berdasarkan hasil model skenario-1 parameter nitrat tersaji dalam **Gambar 152**, sedangkan berdasarkan hasil model skenario-2 disajikan dalam **Gambar 153**. Luasan ZID berdasarkan model skenario-1 adalah 0.936 km² (93.6Ha), sedangkan berdasarkan hasil model skenario-2 sebesar 1.05 km² (105 Ha).



Gambar 152. Area *Zone of Initial Dilution (ZID)* berdasarkan deliniasi model skenario-1 parameter nitrat



Gambar 153. Area *Zone of Initial Dilution* (ZID) berdasarkan deliniasi model skenario-2 parameter nitrat

Berdasarkan hasil ZID yang diperoleh, selanjutnya ditentukan usulan titik pantau kualitas air laut. Titik pantau yang diusulkan dalam kajian ini hanya terdiri dari 3 titik yang mengarah ke timur laut dan barat daya dari titik outfall. Titik pantau yang mengarah ke utara hingga barat laut tidak diusulkan, hal ini dikarenakan area sebelah utara dan barat laut dari outfall merupakan perairan dangkal yang kedalamannya < 0.5 m. Kedalaman tersebut sulit untuk dijangkau oleh kapal dalam mengambil sampel air laut. Koordinat usulan titik ditunjukkan dalam **Tabel 16**, sedangkan peta usulan titik pantau tersebut disajikan dalam **Gambar 154**.

Tabel 16. Koordinat usulan titik pemantauan kualitas air laut

Kode	Latitude	Longitude
TP-1	08° 00' 26,26" LS	131° 15' 13,88" BT
TP-2	08° 00' 07,85" LS	131° 15' 33,58" BT
TP-3	07° 59' 42,58" LS	131° 15' 32,29" BT

7. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis kondisi fisik oseanografi dan hasil model sebaran limbah maka dapat disarikan beberapa hal sebagai berikut:

- Kedalaman di lokasi pembuangan limbah cukup ideal untuk area buangan limbah, yakni berkisar 4-6 m
- Tipe pasang surut campuran condong harian ganda (*mixed mainly semidiurnal tides*) dengan tunggang pasut (tidal range) sebesar 3.14 m
- Tinggi gelombang dominan berada pada kisaran 0.25-0.5 m (35.98%) dan 0.5-0.75 m (34.72%), sedangkan arah datang gelombang lebih dari 60 % berasal dari selatan (54.18%) dan tenggara (17.98%).
- Arus dominan disekitar lokasi studi merupakan arus pasut yang bergerak masuk (ke timur laut) dan keluar (ke barat daya) teluk, selanjutnya memasuki lokasi outfall arah arus berbelok ke utara (mendekati pantai) ketika menjelang pasang dan ke arah tenggara hingga selatan ketika menuju surut
- Pola sebaran air limbah setelah masuk ke badan air penerima bergerak mengikuti arah arus dominan, ke timur laut, tenggara dan sebagian terdorong ke arah utara
- Berdasarkan hasil model skenario-1 dan skenario-2 dapat disimpulkan bahwa konsentrasi parameter Cd, fosfat dan nitrat setelah masuk dan tercampur oleh air laut tergolong masih tinggi atau melebihi baku mutu, sedangkan parameter lainnya tidak melebihi baku mutu atau tidak di di syaratkan dalam baku mutu badan air penerima. Baku mutu badan air yang digunakan di sekitar lokasi buangan limbah PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk biota laut.
- Hasil model sebaran limbah yang digunakan untuk penentuan ZID adalah hasil model nitrat, dimana luasan ZID berdasarkan model skenario-1 adalah 0.936 km² (93.6Ha), sedangkan berdasarkan hasil model skenario-2 sebesar 1.05 km² (105 Ha)
- Berdasarkan hasil ZID yang telah dibuat selanjutnya ditentukan 3 (tiga) usulan titik pantau yang mewakili keseluruhan musim, koordinat titik pantau ditampilkan dalam tabel berikut:

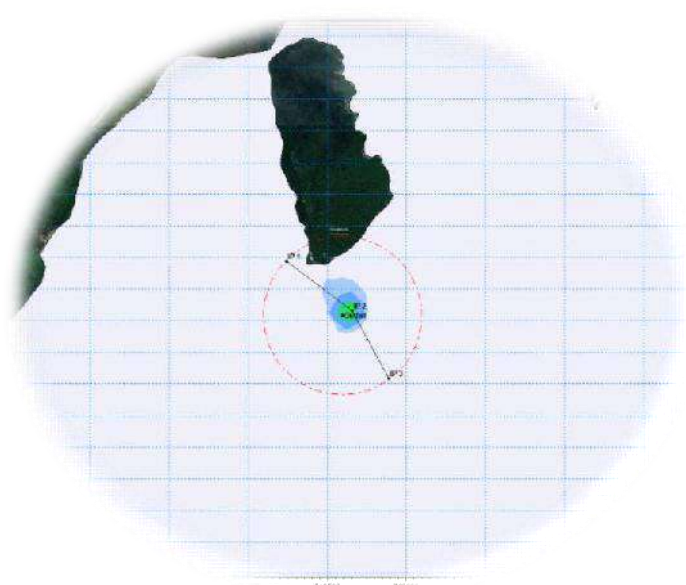
Kode	Latitude	Longitude
TP-1	08° 00' 26,26" LS	131° 15' 13,88" BT
TP-2	08° 00' 07,85" LS	131° 15' 33,58" BT
TP-3	07° 59' 42,58" LS	131° 15' 32,29" BT

8. DAFTAR PUSTAKA

- Danish Hydraulic Institute (DHI) 2012, MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM Hydrodynamic and Transport Module. Scientific Documentation. DHI Software.
- Danish Hydraulic Institute (DHI). 2012, MIKE 21 FLOW MODEL FM, User Guide, DHI Software.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Cetakan Kelima. Yogyakarta : Kanisius
- Hutomo M, Arinardi OH.1992. Dampak Pembangkit Tenaga Listrik (Terutama limbah termal) terhadap Ekosistem Akuatik.Oseana, 17 (4): 135-158

Tambahan Studi Sebaran Limbah Dari Kegiatan OLNG di Perairan Teluk Saumlaki

INPEX Masela, Ltd



Report

1. Tahap Kontruksi

1.1. Sebaran Salinitas

Hasil model sebaran salinitas maksimum buangan dari limbah *brine water* pada tahap kontruksi kondisi musim barat, peralihan I, musim timur dan musim peralihan II berturut-turut disajikan dalam **Gambar 1** hingga **Gambar 4**. Berdasarkan keempat gambar tersebut terlihat pola sebaran hanya bergerak di sekitar titik buangan dan sedikit terdorong ke arah barat daya, timur laut hingga utara. Peningkatan konsentrasi salinitas akibat buangan limbah *brine water* tergolong rendah, dimana peningkatan konsentrasi tertinggi hasil model musim barat dan peralihan I hanya mencapai 0,8 psu, sedangkan hasil model musim timur dan peralihan II sebesar 0,6 psu. Mengacu pada baku mutu PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII bahwa salinitas diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <5% dari salinitas rata-rata musiman. Berdasarkan data kualitas air 18 titik sekitar lokasi O LNG rata-rata salinitas permukaan pada musim kemarau sebesar 34,4 psu, sedangkan pada musim hujan 33,7 psu. Perubahan 5% dari salinitas rata-rata kedua musim tersebut adalah $5\% \times 34,4 \text{ psu} = 1,72 \text{ psu}$ dan adalah $5\% \times 33,7 \text{ psu} = 1,68 \text{ psu}$. Dengan demikian peningkatan salinitas akibat buangan limbah *brine water* masih tergolong rendah atau di bawah 5% dari salinitas rata-rata perairan badan air penerima.

2. Tahap Operasi

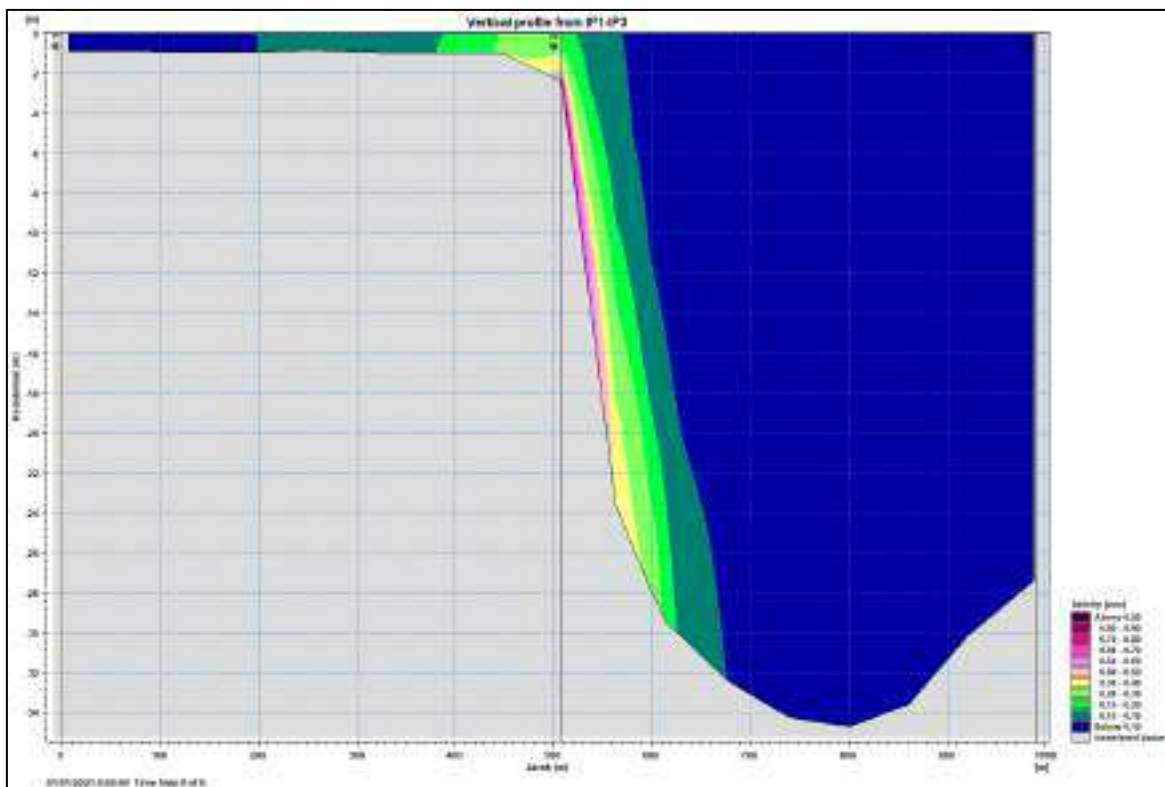
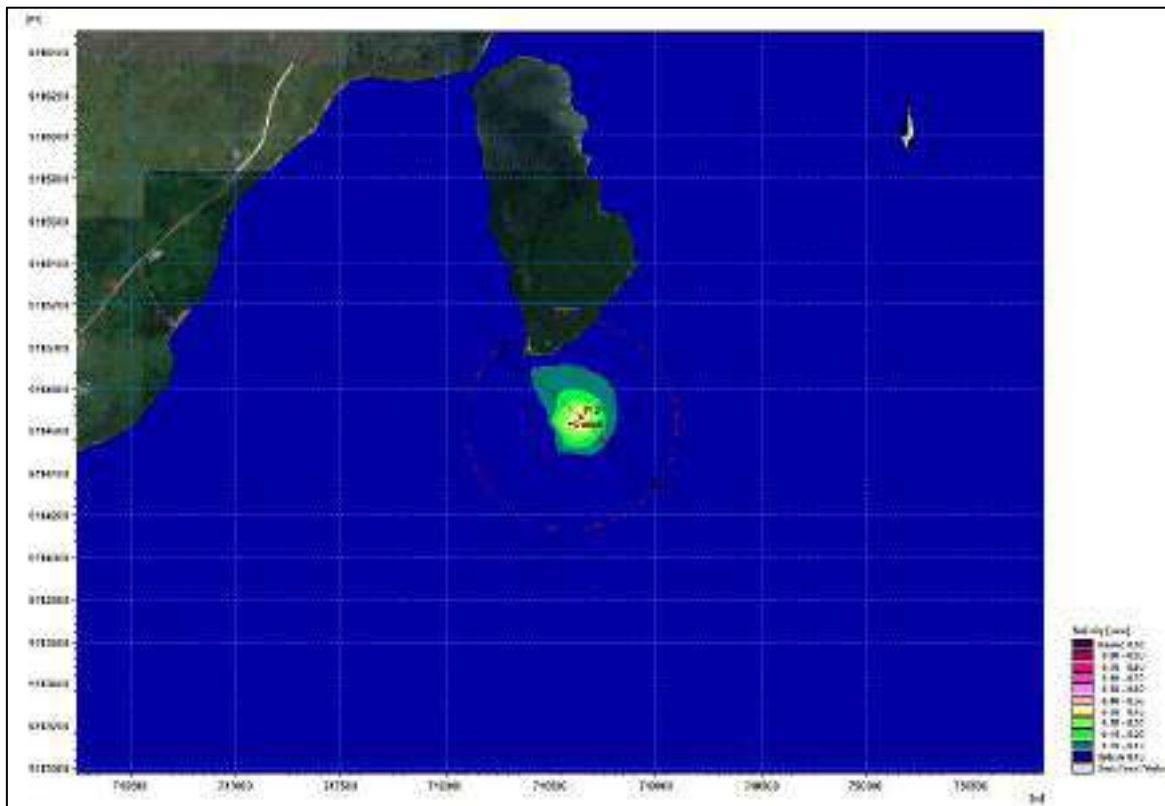
2.1. Sebaran Sulfida

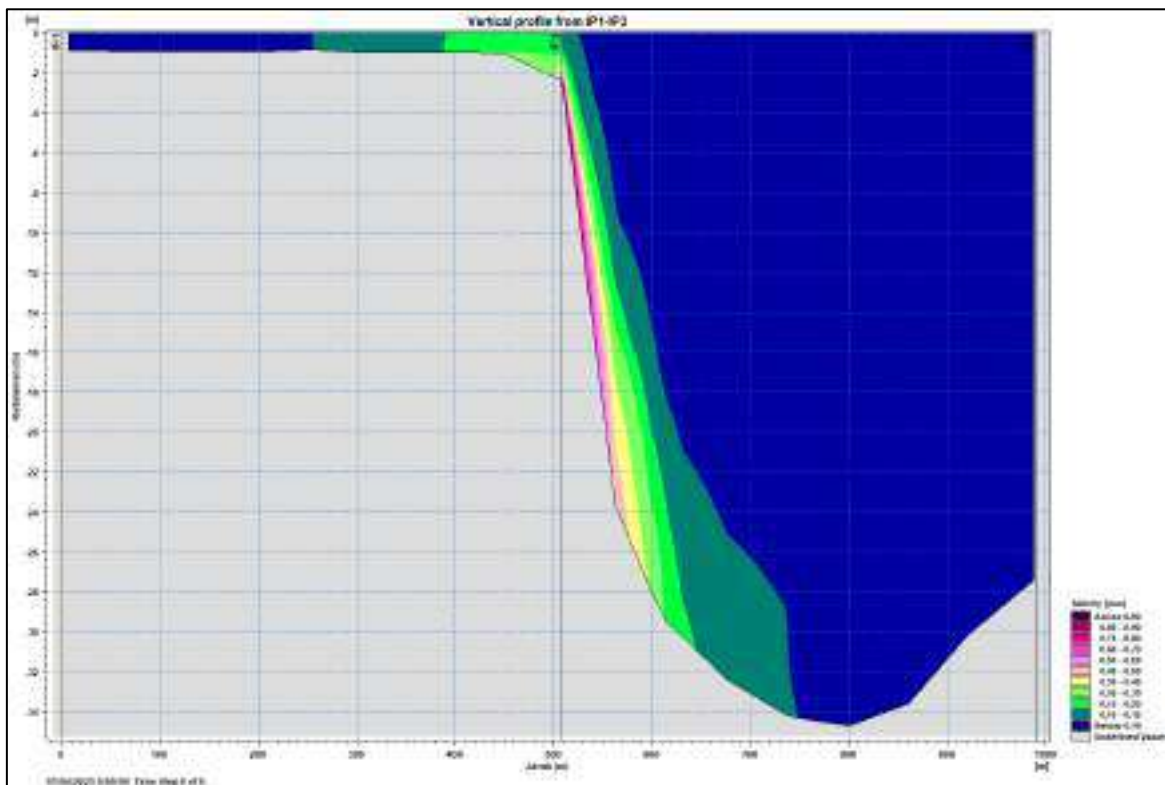
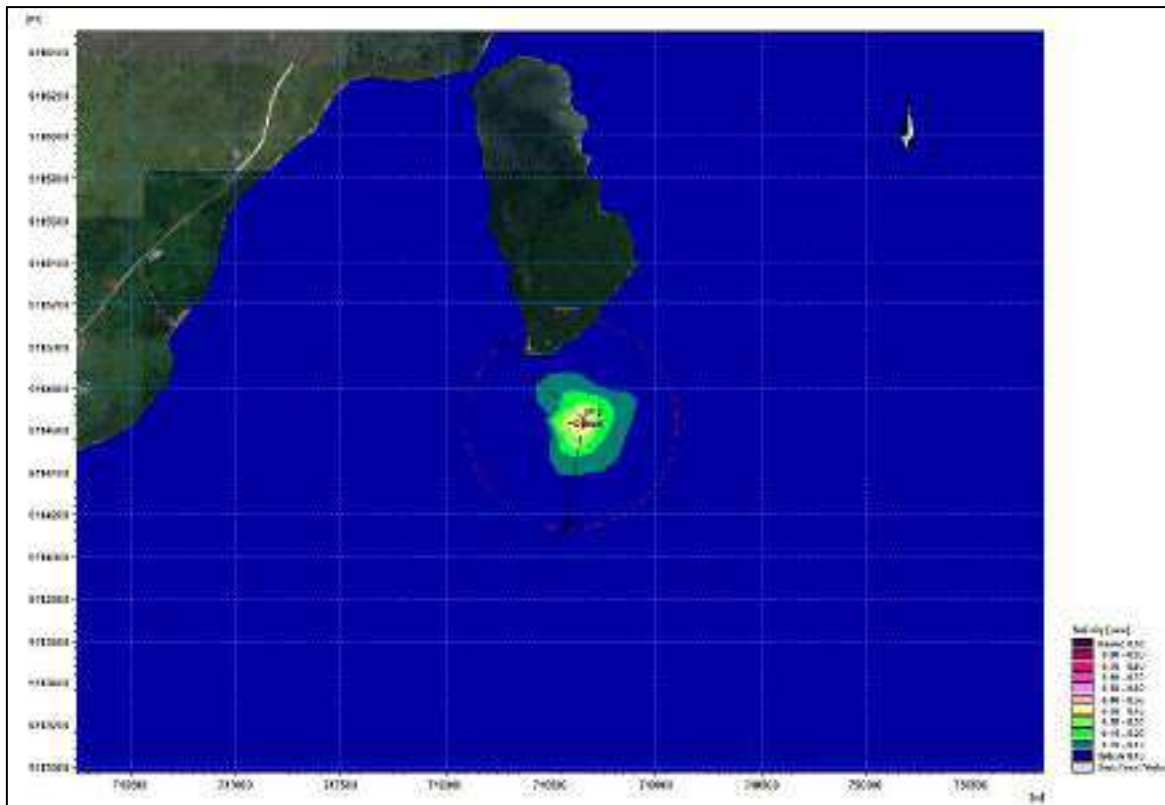
Pola sebaran sulfida hasil simulasi kondisi musim barat, peralihan I, musim timur dan musim peralihan II berturut-turut diperlihatkan dalam **Gambar 5** hingga **Gambar 8**. Arah sebaran sulfida terlihat tidak berbeda signifikan dengan parameter lainnya, yakni dominan barat daya, timur laut dan utara. Peningkatan konsentrasi maksimum sulfida keempat musim tersebut cukup bervariasi, dimana pada musim barat dan peralihan I maksimum mencapai 0,016 mg/L, sementara pada musim timur dan peralihan II mencapai 0,011 mg/L. Baku mutu Sulfida berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk biota laut adalah sebesar 0,01 mg/l, artinya buangan limbah sulfida setelah masuk ke badan air penerima sedikit lebih tinggi dari baku mutu. Jarak sebaran konsentrasi Sulfida yang melebihi baku mutu tersebut sebarannya tidak jauh dari titik buangan, yakni pada keseluruhan musim hanya mencapai 75 m dari titik outfall. Konsentrasi Sulfida di badan air penerima berdasarkan analisis sampel air laut tergolong kecil, yakni baik musim barat dan timur < 0,002 mg/L (dibawah deteksi limit).

2.2. Sebaran Fenol

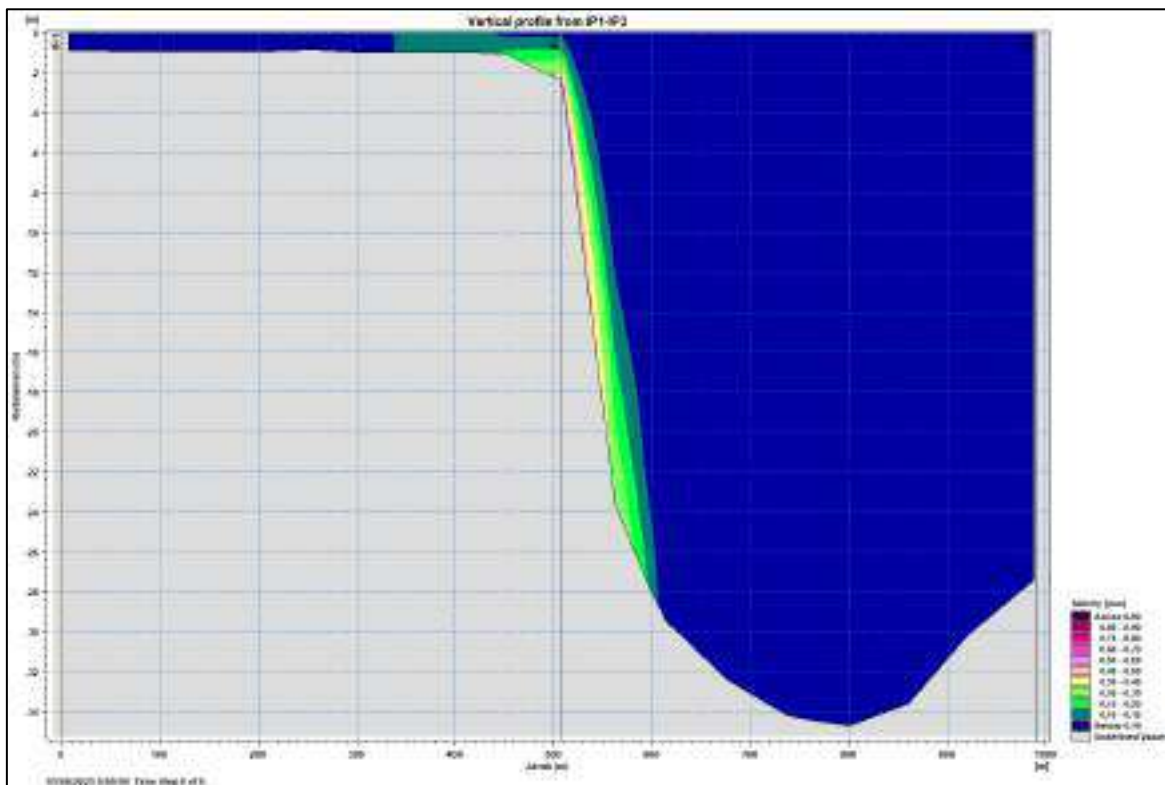
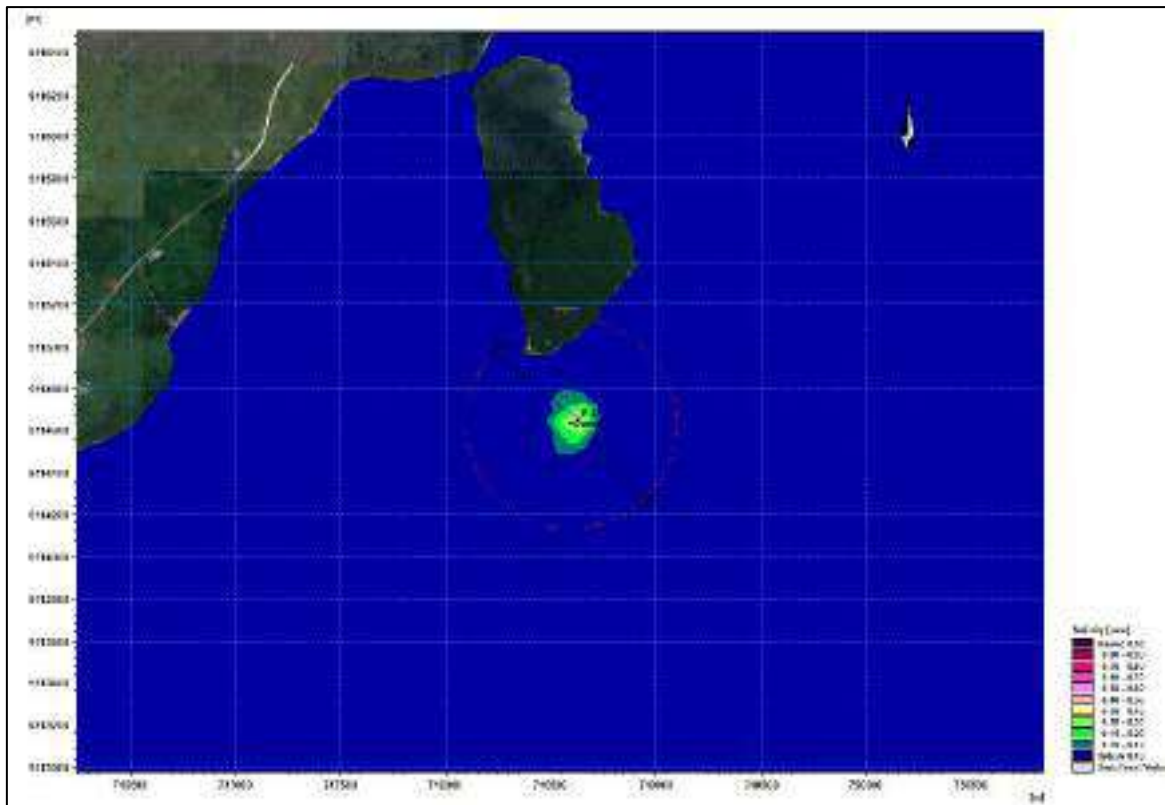
Pola sebaran Fenol yang ditampilkan dalam **Gambar 9** hingga **Gambar 12** sedikit berbeda dengan parameter sebelumnya, dimana pola sebarannya terlihat sedikit lebih jauh. Peningkatan konsentrasi setelah masuk ke perairan juga tergolong tinggi, dimana pada musim barat dan peralihan I mencapai 0,02 mg/L, sedangkan pada musim timur dan peralihan II mencapai 0,014 mg/L. Baku mutu Fenol berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk biota tergolong ketat, yakni 0,002 mg/L, sehingga hasil model pada keseluruhan musim tersebut tergolong tinggi atau melebihi baku mutu. Jarak sebaran Fenol yang melebihi baku mutu pada musim barat mencapai 355 m ke timur laut, 230 m ke barat daya dan 1.3 km ke utara. Jarak sebaran ke timur laut, ke barat daya dan ke utara saat musim peralihan I masing-masing mencapai 426 m, 350 m dan 525 m, pada musim timur

Gambar 1. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Salinitas maksimum hasil model kondisi musim barat

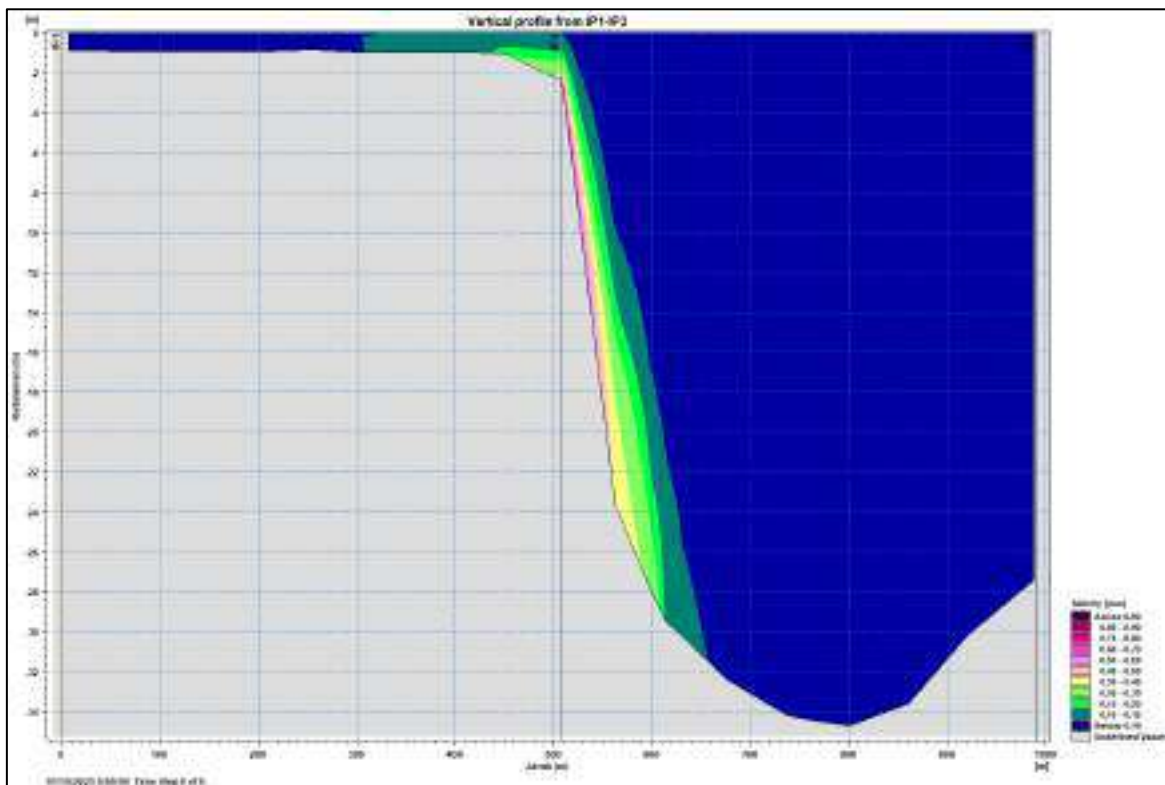
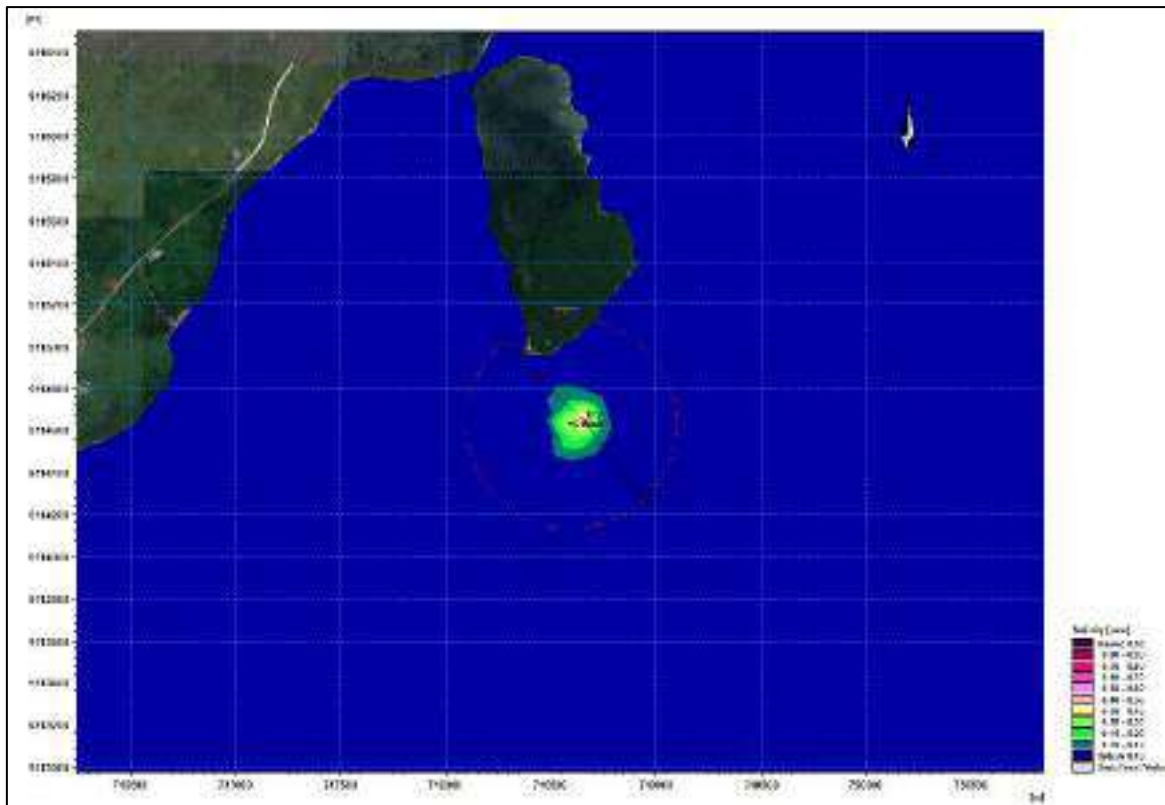




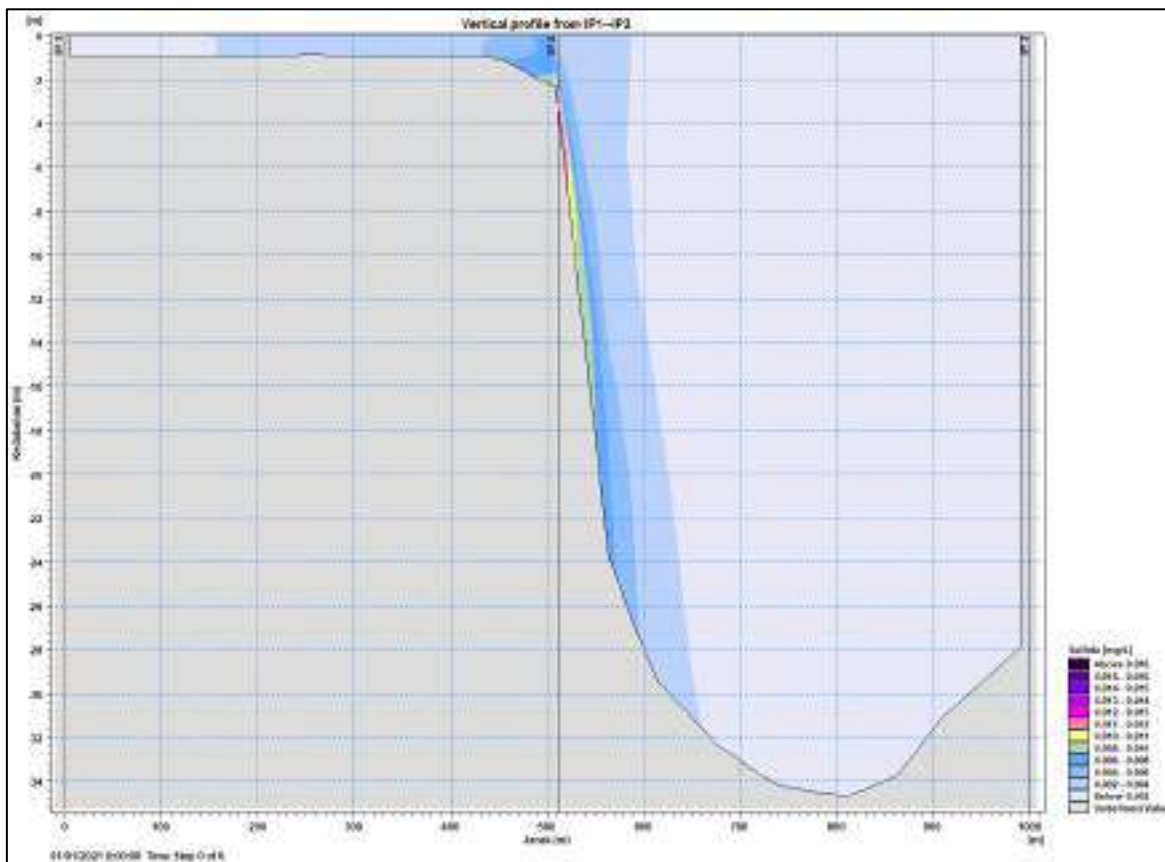
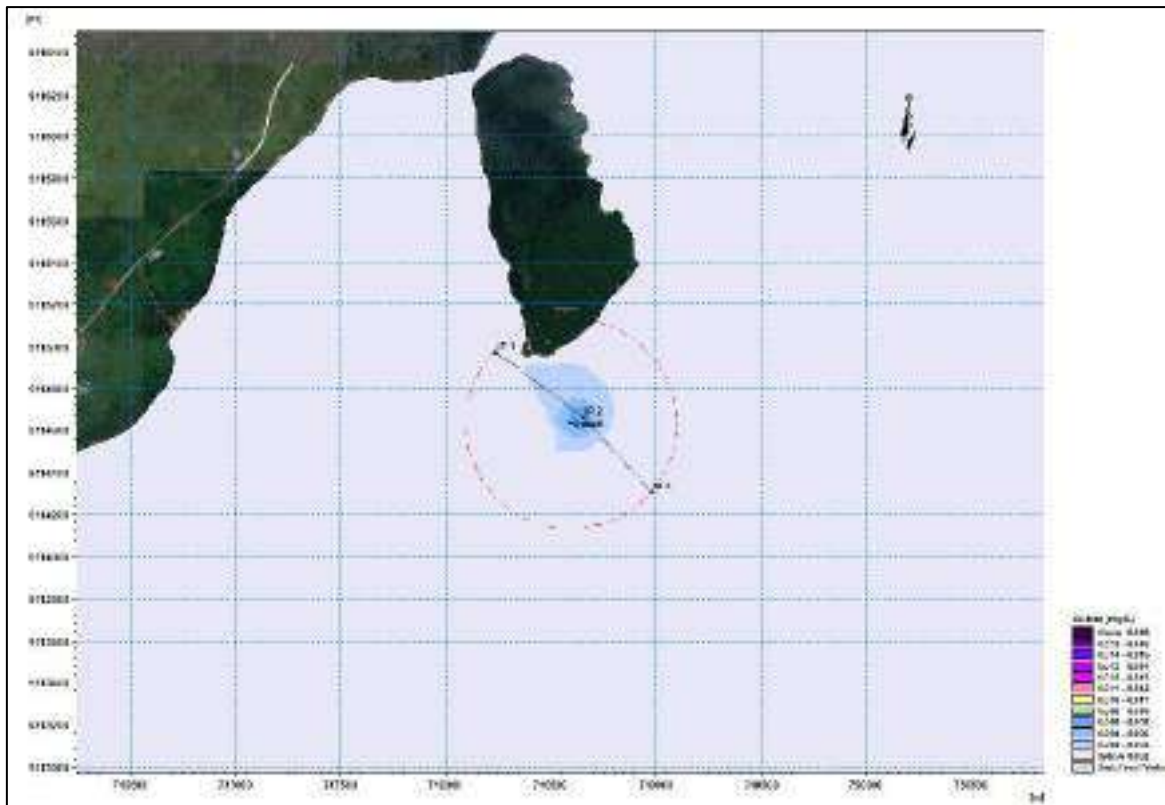
Gambar 2. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Salinitas maksimum hasil model kondisi musim peralihan I



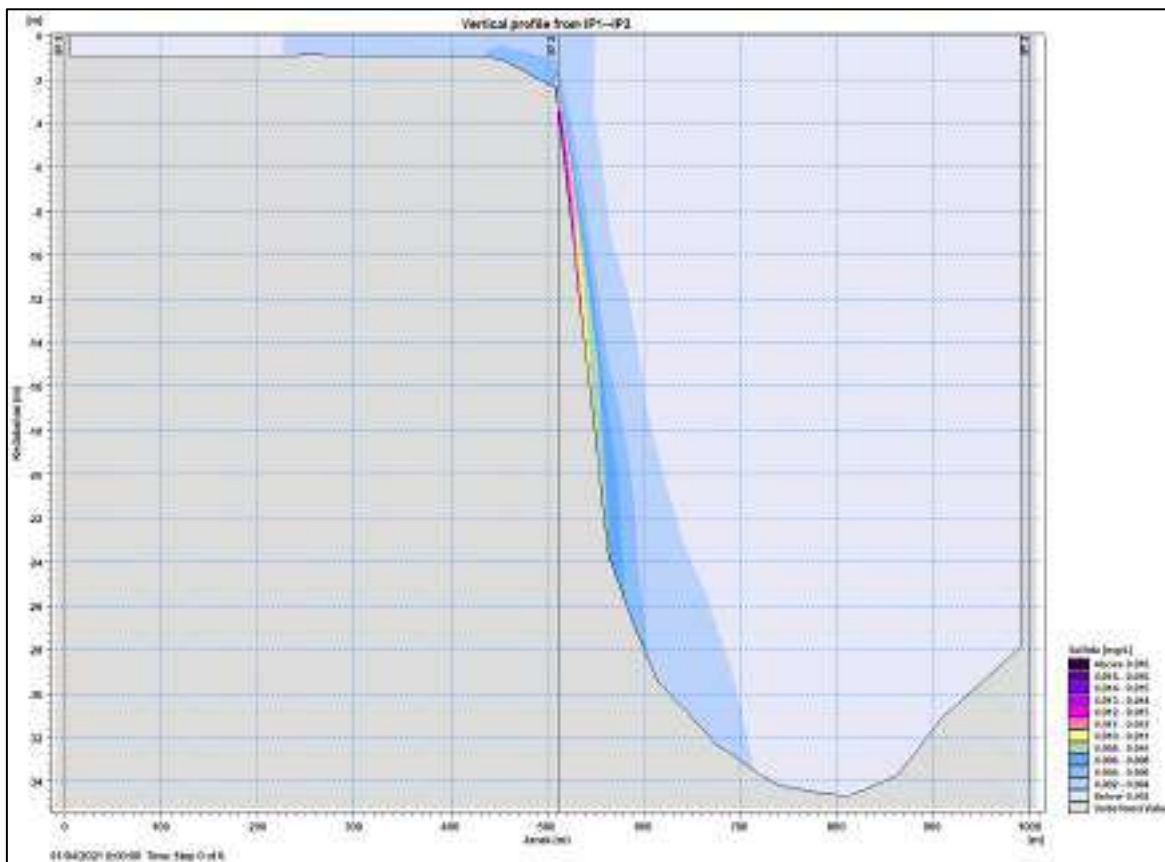
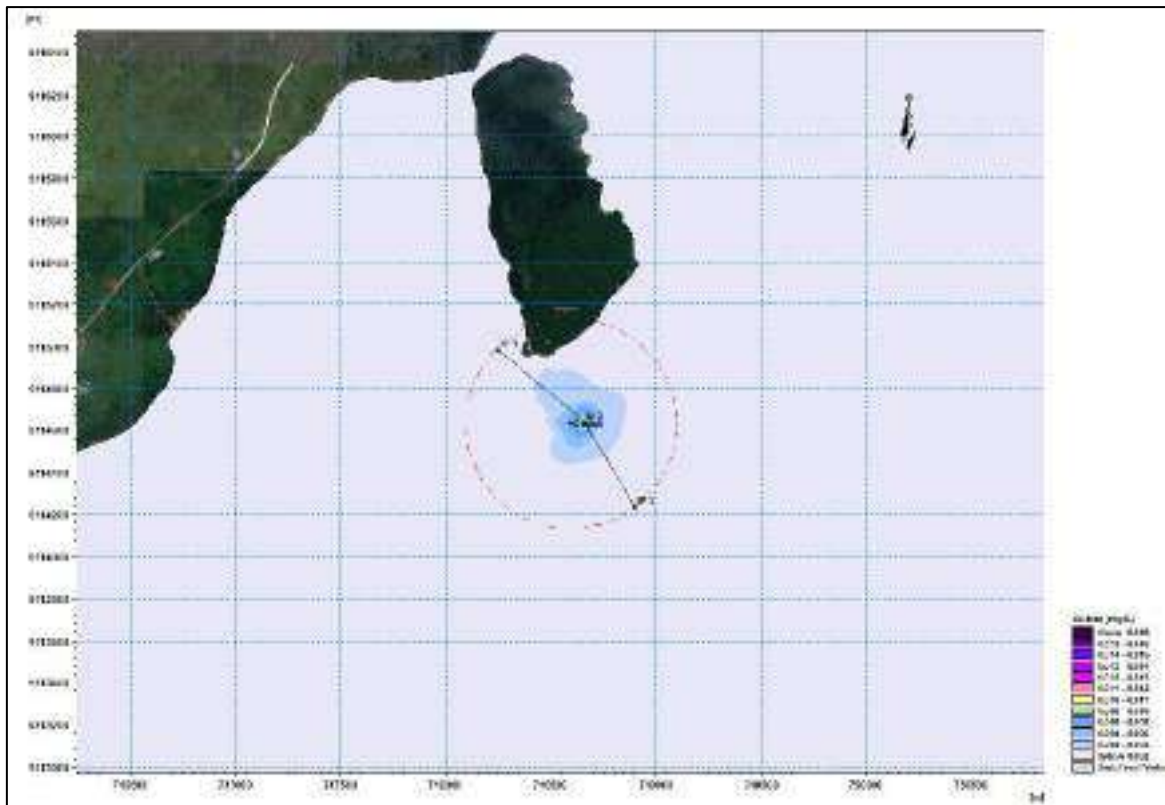
Gambar 3. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Salinitas maksimum hasil model kondisi musim timur



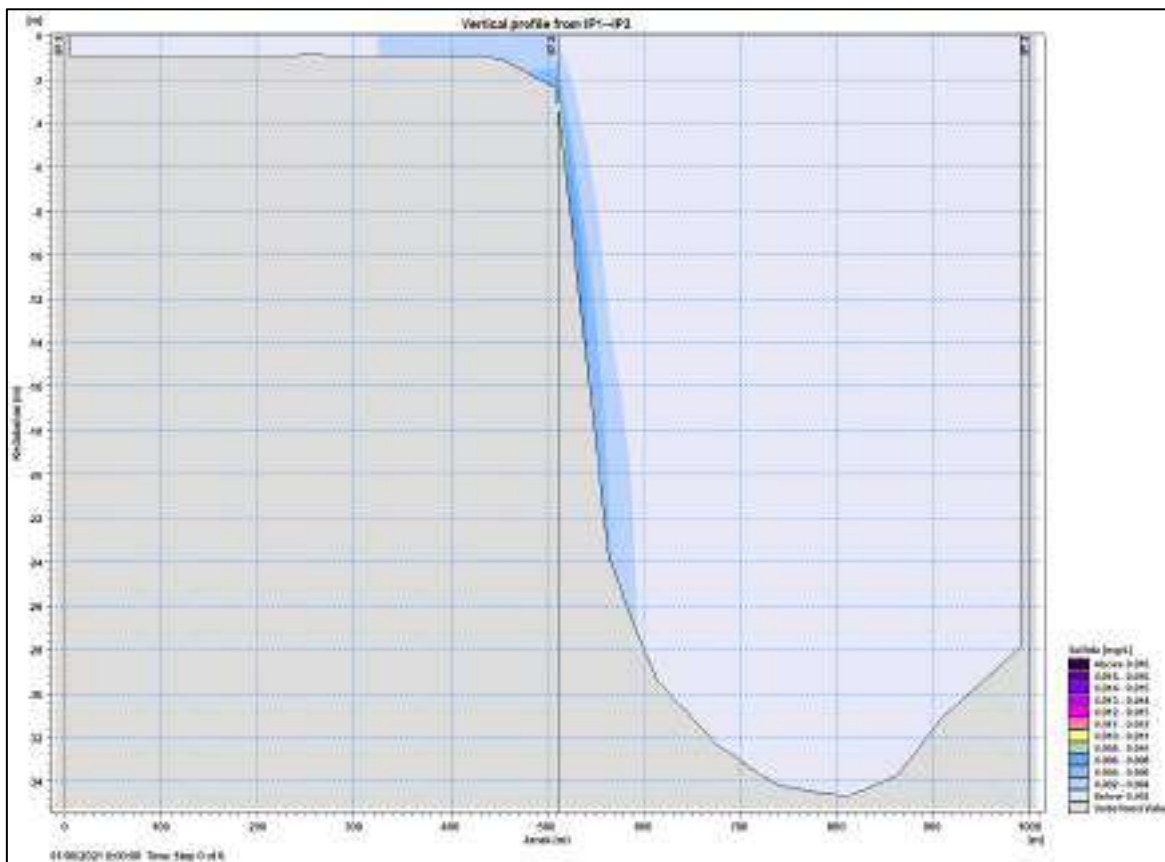
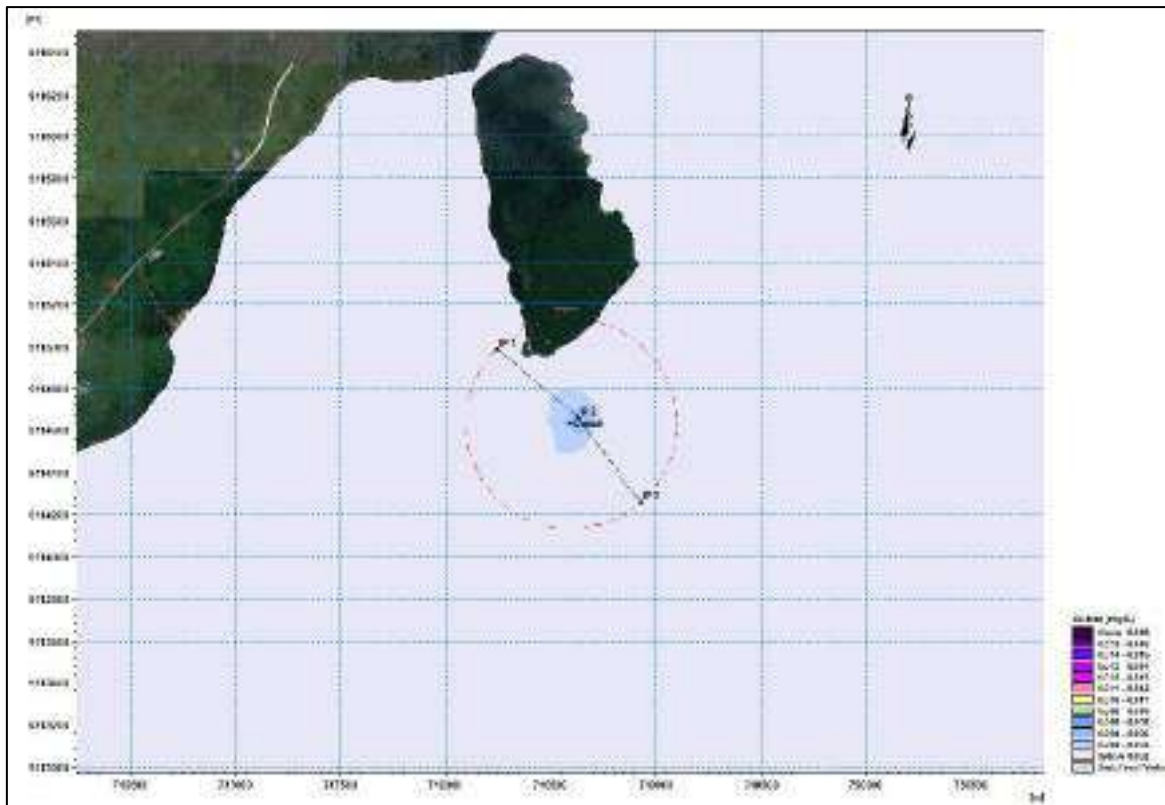
Gambar 4. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Salinitas maksimum hasil model kondisi musim peralihan II



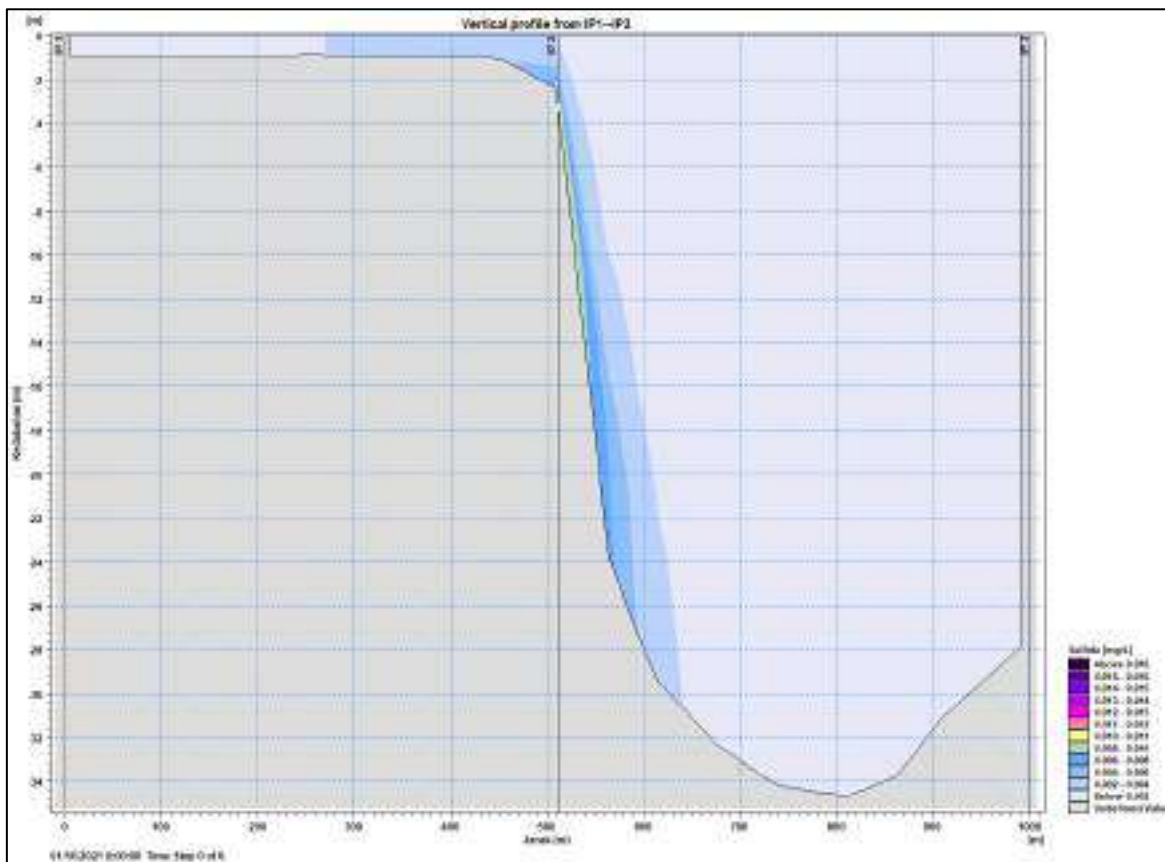
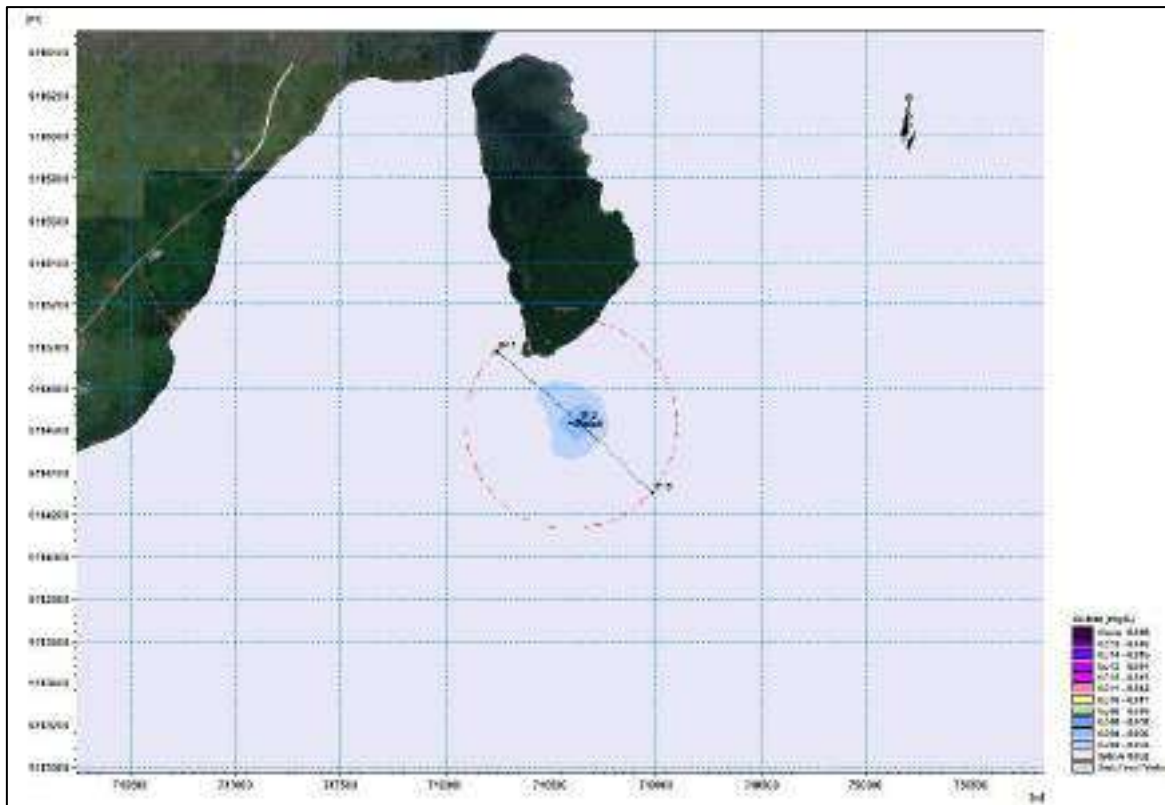
Gambar 5. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Sulfida maksimum hasil model kondisi musim barat



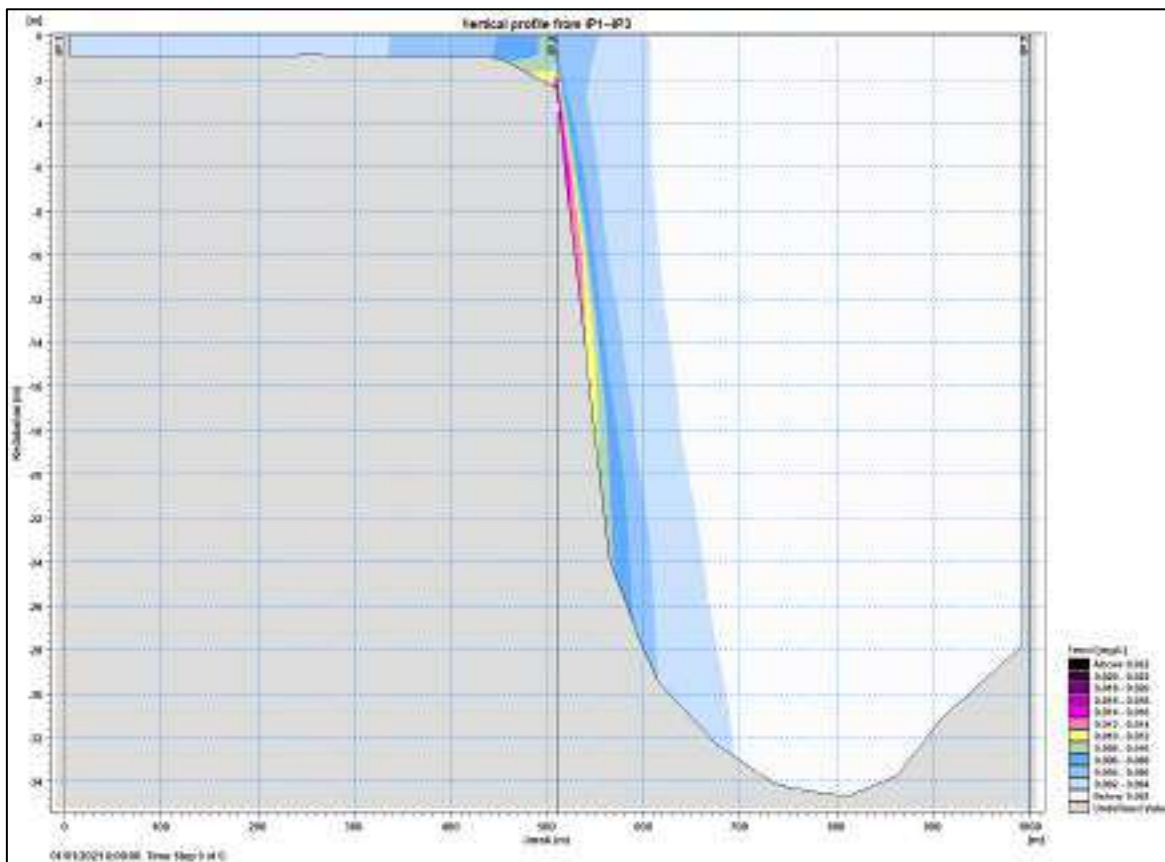
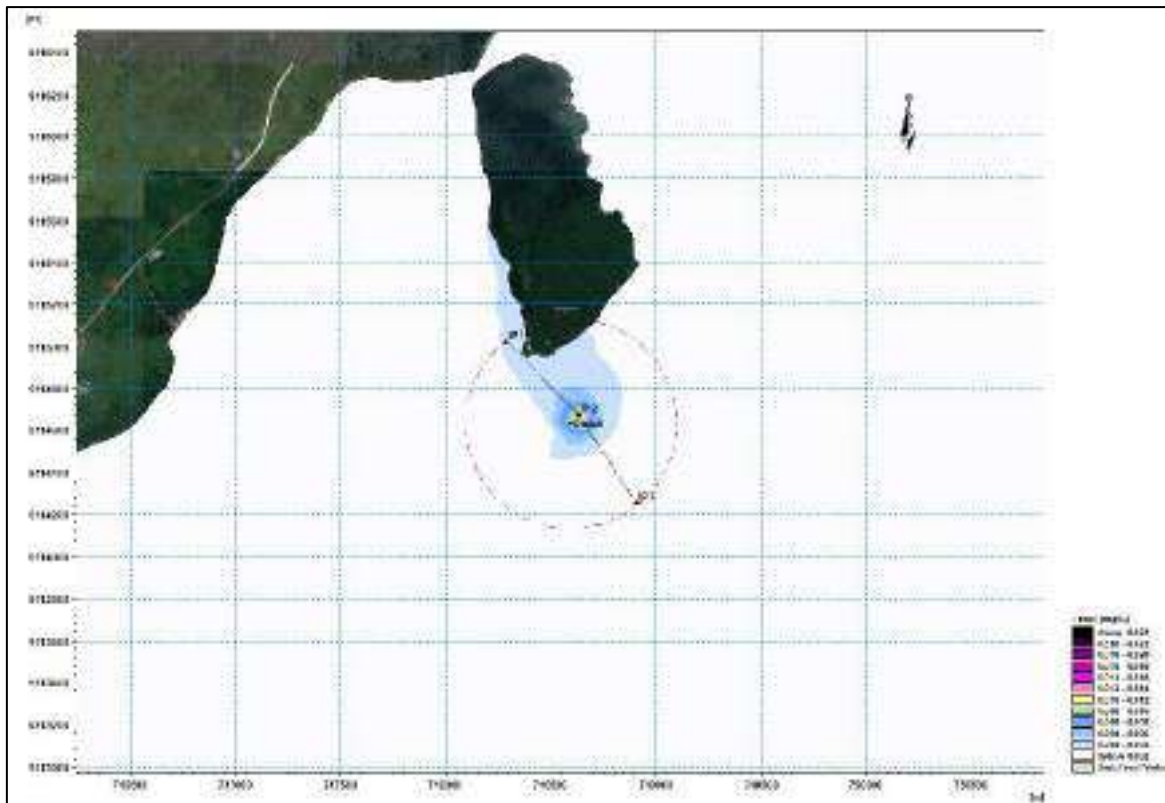
Gambar 6. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Sulfida maksimum hasil model kondisi musim peralihan I



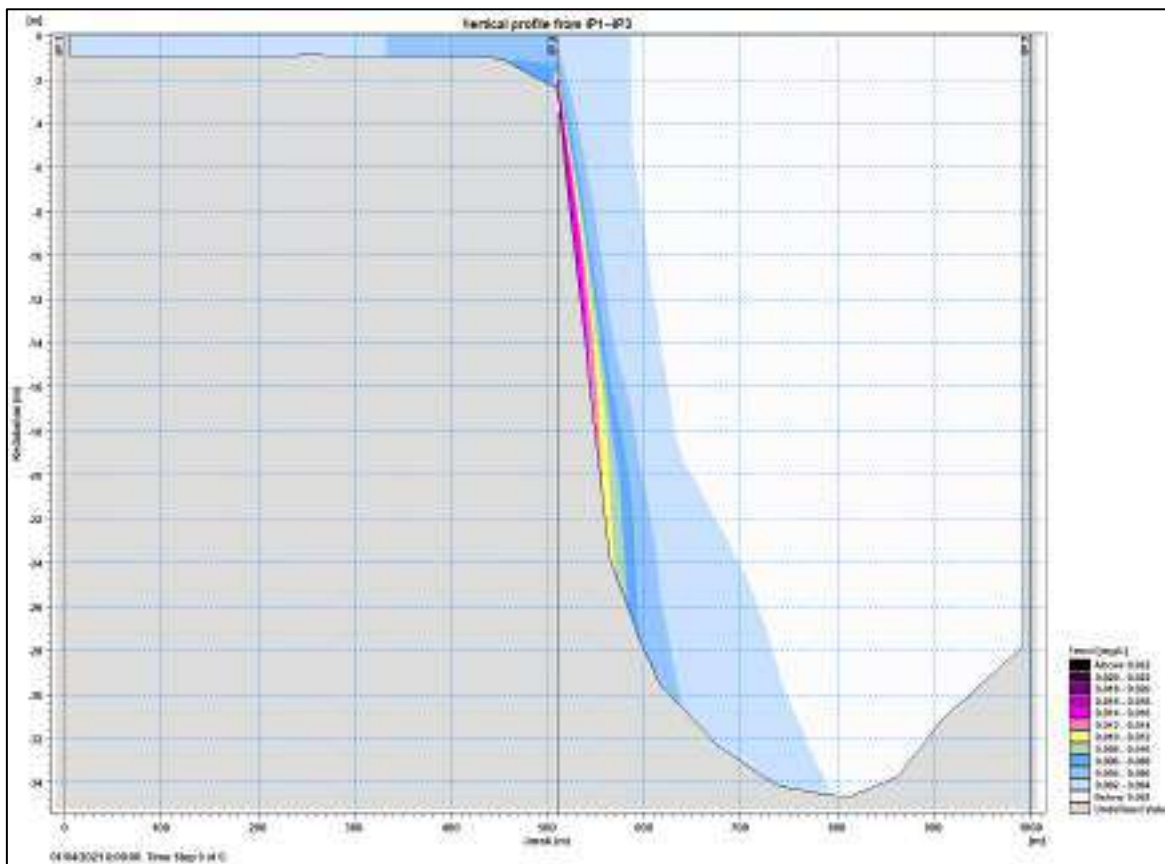
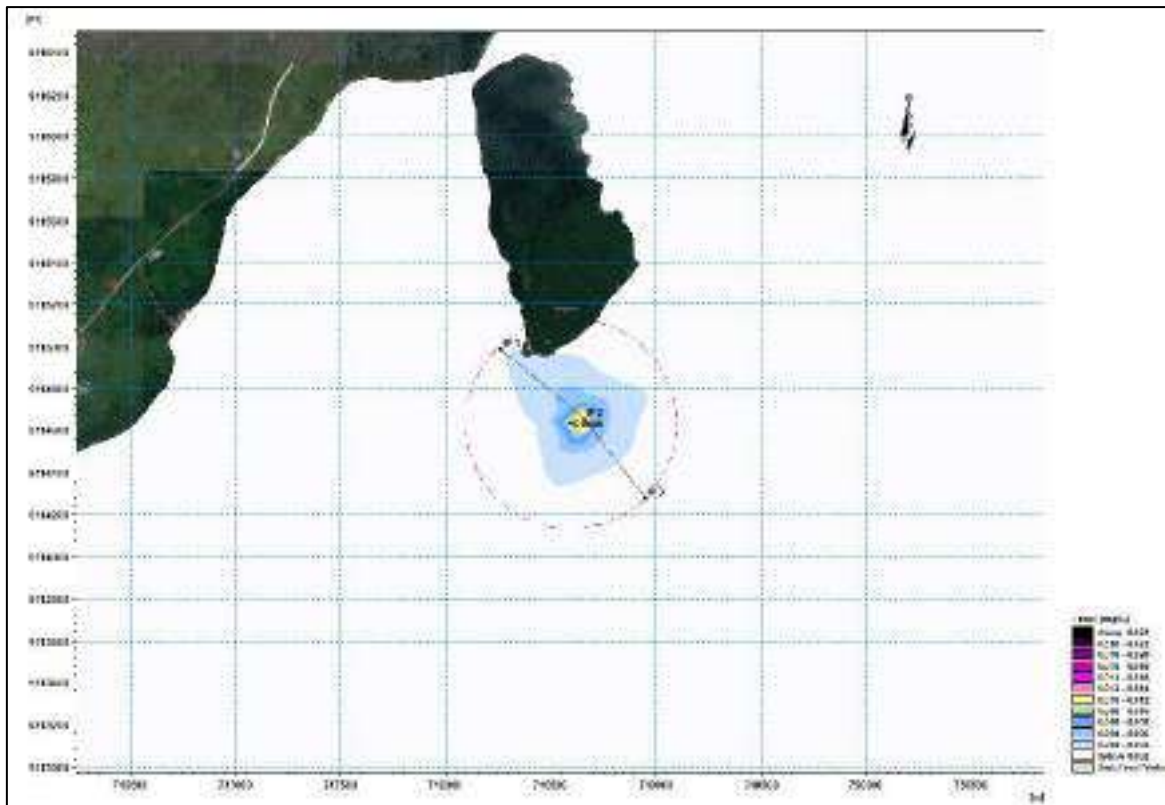
Gambar 7. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Sulfida maksimum hasil model kondisi musim timur



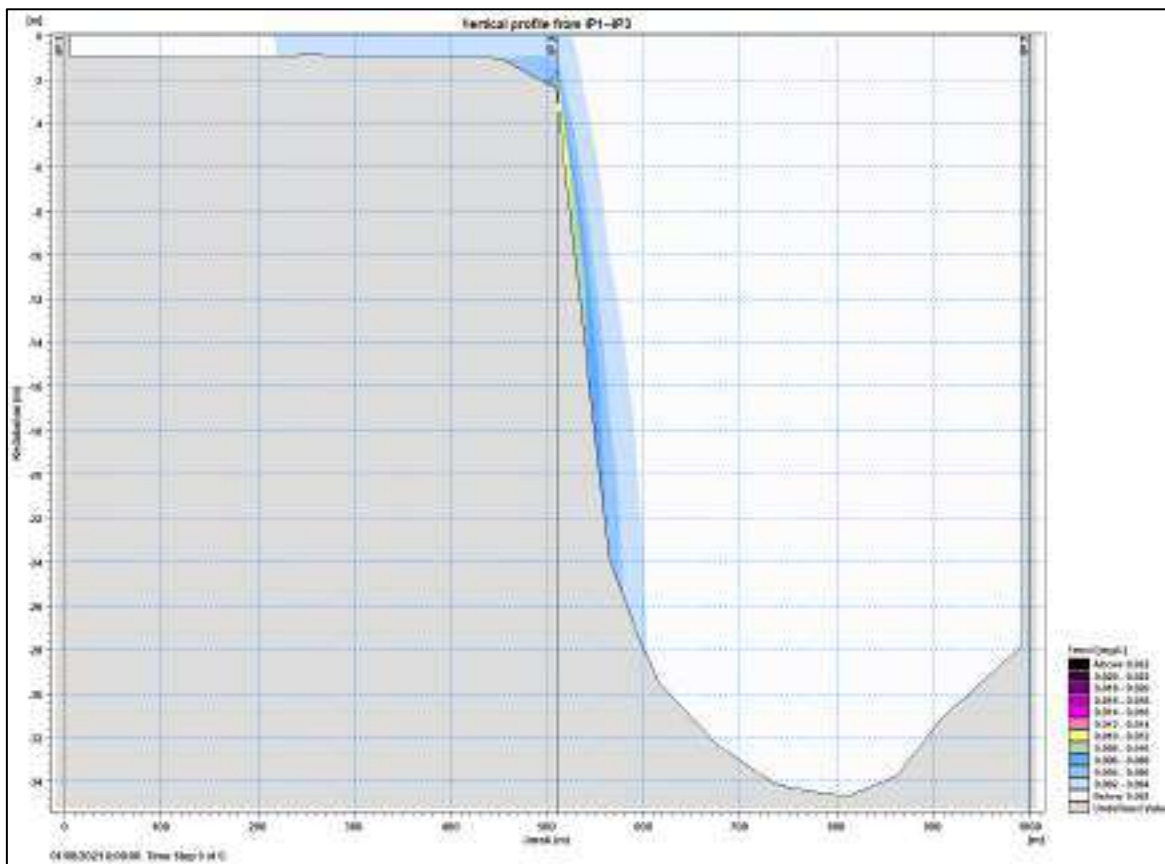
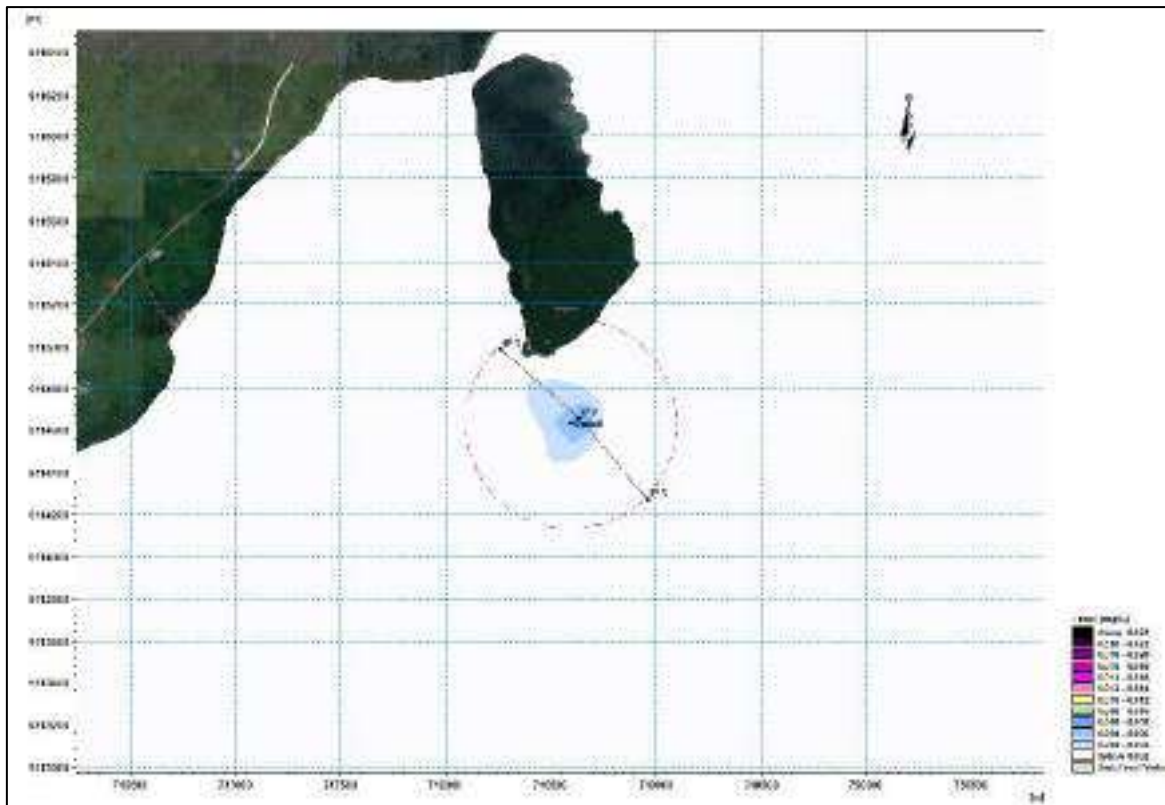
Gambar 8. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Sulfida maksimum hasil model kondisi musim peralihan II



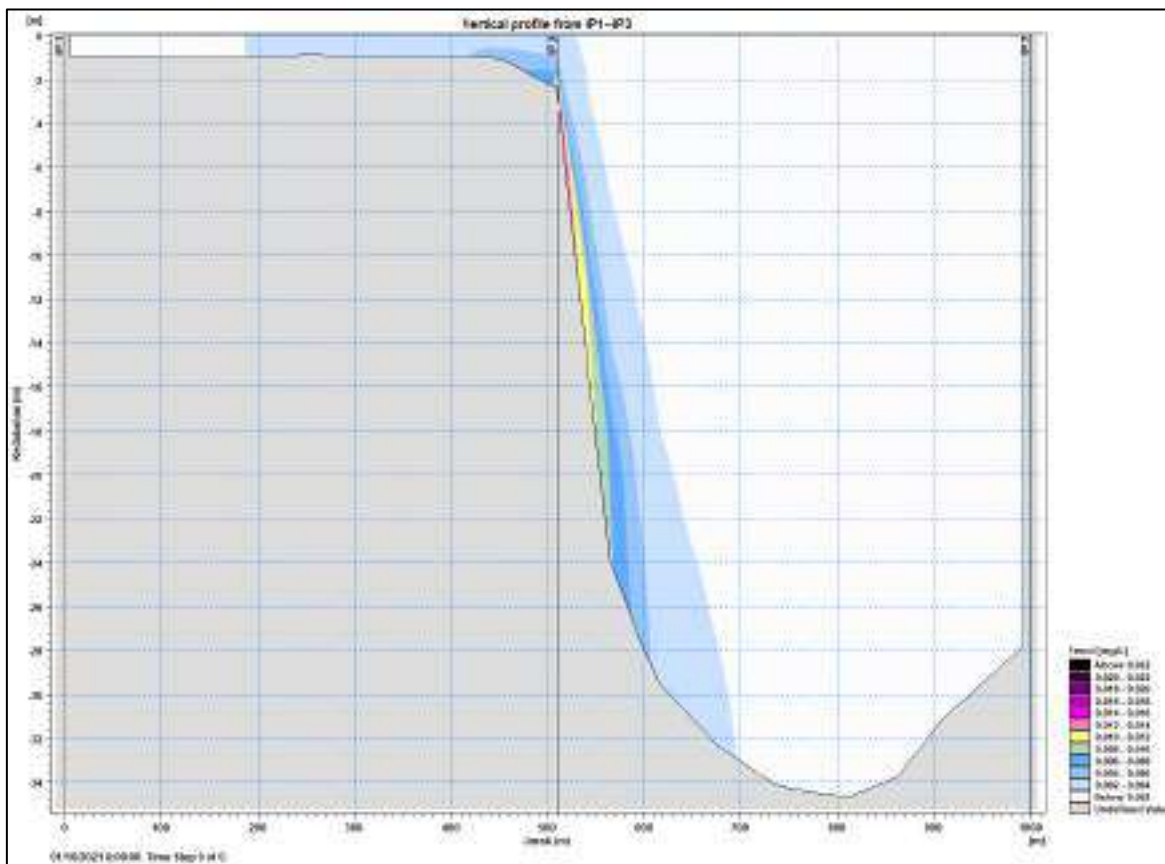
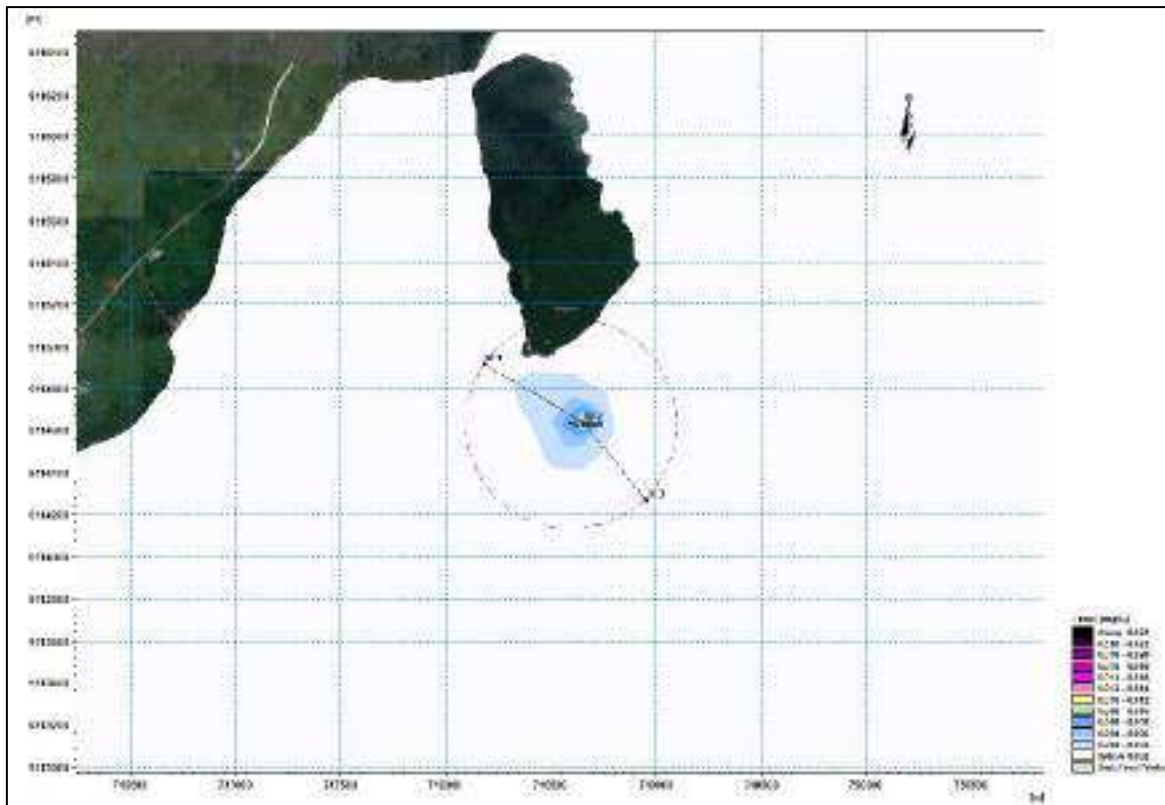
Gambar 9. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Fenol maksimum hasil model kondisi musim barat



Gambar 10. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Fenol maksimum hasil model kondisi musim peralihan I



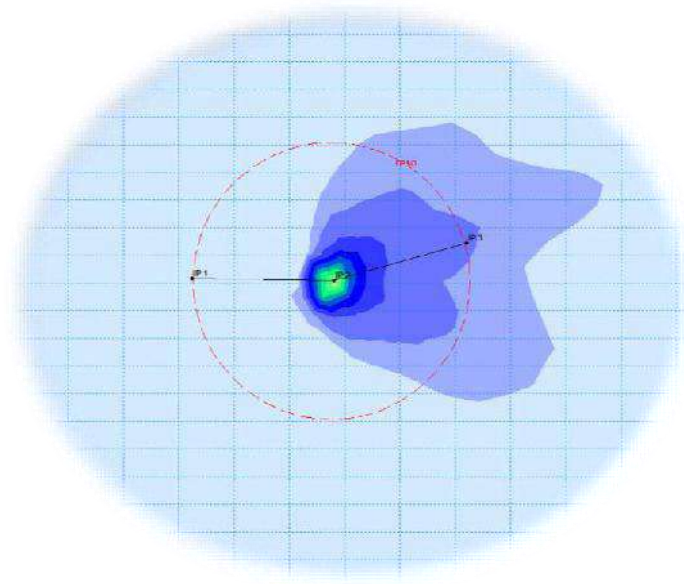
Gambar 11. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Fenol maksimum hasil model kondisi musim timur



Gambar 12. Sebaran horisontal (atas) dan melintang (bawah) Fenol maksimum hasil model kondisi musim peralihan II

Studi Sebaran Limbah Dari Kegiatan FPSO di Laut Arafura

INPEX Masela, Ltd



Draft Report

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	ii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan dan Sasaran	1
1.3. Manfaat	1
1.4. Lokasi Kajian	2
1.5. Ruang Lingkup Sudi	2
2. METODOLOGI	3
2.1. Pengumpulan data	3
2.2. Metode Model Sebaran Limbah	4
2.2.1. Modul Hidrodinamika (HD)	4
2.2.2. Modul Mud Transport (MT)	7
2.2.3. Modul Transport (T)	8
2.3. Setup dan Desain Model	9
2.3.1. Domain dan Elemen Model	9
2.3.2. Initial dan open boundary	9
2.4. Sekenario Simulasi Model	12
3. KONDISI OSEANOGRAFI	14
3.1. Kedalaman Perairan	14
3.2. Pasang Surut	14
3.3. Gelombang	16
3.4. Suhu dan Salinitas	19
3.5. Pola Arus	22
4. AREA SENSITIF	28
5. PARAMETER KUNCI DAN SEBARAN AIR LIMBAH	29
5.1. Parameter Kunci	29
5.2. Sebaran Air Limbah	29
6. ZID DAN USULAN TITIK PANTAU	64
7. KESIMPULAN	66
8. DAFTAR PUSTAKA	67

DAFTAR TABEL

1. Spesifikasi data beserta sumbernya yang digunakan dalam kajian-----	3
2. Konstanta pasut hasil analisis metode <i>least square</i> berdasarkan data pasut 1-31 Juli 2021 -----	16
3. Elevasi-elevasi penting pasang surut pada tipe pasut harian tunggal (<i>mixed semidiurnal tides</i>)-----	16
4. Deskripsi statistik tinggi dan periode gelombang selama tahun 2011-2020-----	17
5. Persentase tinggi dan arah gelombang selama tahun 2011-2020-----	18
6. Variasi suhu pada lapisan tercampur, lapisan piknoklin dan lapisan dalam-----	21
7. Jarak area sensitif dengan titik buangan aktivitas FPSO-----	28
8. Koordinat titik penataan sekaligus titik buangan beserta masing-masing debit di FPSO -----	29
9. Parameter dan konsentrasi limbah yang keluar dari masing-masing titik buangan ---	29
10. Koordinat usulan titik pemantauan kualitas air laut-----	65

DAFTAR GAMBAR

1. Lokasi kajian-----	2
2. Diskritisasi model dalam bentuk elemen segitiga -----	9
3. Rata-rata angin bulanan 2011-2020. (atas) bulan Januari dan (bawah) bulan April --	11
4. Rata-rata angin bulanan 2011-2020. (atas) bulan Agustus dan (bawah) bulan Oktober -----	12
5. Karakteristik kedalaman sekitar lokasi studi -----	14
6. Grafik fluktuasi pasang surut hasil pengukuran tanggal 1-31 Juli 2021 -----	15
7. Tinggi dan periode gelombang signifikan harian selama tahun 2011-2020 -----	17
8. Mawar gelombang (kiri) dan distribusi frekuensi tinggi gelombang (kanan) selama tahun 2011-2020 -----	19
9. Stasiun lokasi pengukuran suhu dan salinitas dengan CTD -----	19
10. Profil menegak (atas kiri), lapisan termoklin (atas kanan) dan sebaran melintang (bawah) temperatur di sekitar lokasi kajian -----	20
11. Profil menegak (atas kiri), lapisan haloklin (atas kanan) dan sebaran melintang (bawah) salinitas di sekitar lokasi kajian -----	21
12. Verifikasi pasang surut. (a) Stasiun pasut Saumlaki. (b) Stasiun Pasut FPSO-----	22
13. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan Januari (Musim Barat) -----	24
14. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan April (Musim Peralihan I) -----	25
15. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan Agustus (Musim Timur)-----	26

16. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan Oktober (Musim Peralihan II)-----	27
17. Area sensitif sekitar aktivitas FPSO -----	28
18. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) minyak dan lemak maksimum hasil simulasi musim barat-----	31
19. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) minyak dan lemak maksimum hasil simulasi musim peralihan I -----	32
20. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) minyak dan lemak maksimum hasil simulasi musim timur -----	33
21. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) minyak dan lemak maksimum hasil simulasi musim peralihan II -----	34
22. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) TPH maksimum hasil simulasi musim barat-----	35
23. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) TPH maksimum hasil simulasi musim peralihan I -----	36
24. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) TPH maksimum hasil simulasi musim timur-----	37
25. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) TPH maksimum hasil simulasi musim peralihan II-----	38
26. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) klorin residu maksimum hasil simulasi musim barat-----	39
27. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) klorin residu maksimum hasil simulasi musim peralihan I -----	40
28. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) klorin residu maksimum hasil simulasi musim timur -----	41
29. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) klorin residu maksimum hasil simulasi musim peralihan II -----	42
30. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) delta suhu maksimum hasil simulasi musim barat-----	44
31. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) delta suhu maksimum hasil simulasi musim peralihan I -----	45
32. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) delta suhu maksimum hasil simulasi musim timur-----	46
33. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) delta suhu maksimum hasil simulasi musim peralihan II-----	47
34. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) salinitas maksimum hasil simulasi musim barat-----	48
35. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) salinitas maksimum hasil simulasi musim peralihan I -----	49
36. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) salinitas maksimum hasil simulasi musim timur-----	50
37. Sebaran hirsontal (atas) dan melintang (bawah) salinitas maksimum hasil simulasi musim peralihan II-----	51

38. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) TSS maksimum hasil simulasi musim barat-----	52
39. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) TSS maksimum hasil simulasi musim peralihan I -----	53
40. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) TSS maksimum hasil simulasi musim timur-----	54
41. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) TSS maksimum hasil simulasi musim peralihan II-----	55
42. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) BTEX maksimum hasil simulasi musim barat-----	56
43. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) BTEX maksimum hasil simulasi musim peralihan I -----	57
44. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) BTEX maksimum hasil simulasi musim timur-----	58
45. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) BTEX maksimum hasil simulasi musim peralihan II-----	59
46. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) klorin bebas maksimum hasil simulasi musim barat -----	60
47. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) klorin bebas maksimum hasil simulasi musim peralihan I -----	61
48. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) klorin bebas maksimum hasil simulasi musim timur -----	62
49. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) klorin bebas maksimum hasil simulasi musim peralihan II -----	63
50. Area <i>Zone of Initial Dilution</i> (ZID) berdasarkan deliniasi model parameter delta suhu dan TPH -----	64
51. Peta usulan titik pantau kualitas air laut-----	65

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

INPEX Masela, Ltd berencana mengajukan permohonan persetujuan teknis (PERTEK) pembuangan limbah cair ke laut. Salah satu syarat dalam mengajukan PERTEK yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2021 adalah membuat kajian lingkungan terkait parameter oseanografi dan model sebaran limbah ketika masuk ke perairan laut. Parameter oseanografi yang akan dikaji dalam studi ini adalah parameter oseanografi yang berpengaruh terhadap limbah ketika masuk ke perairan. Beberapa parameter oseanografi tersebut meliputi batimetri, pasang surut, arus, suhu dan salinitas (stratifikasi dan profil densitas). Selanjutnya beberapa data oseanografi tersebut akan digunakan untuk mengkaji atau digunakan sebagai input model sebaran dan *fate* limbah ketika masuk ke perairan.

Limbah yang dimodelkan bersumber dari *produce water*, *brine water*, *sea cooling water*, *sewage/domestic wastewater* dan *clean water from slop tank*, sedangkan parameter yang dimodelkan meliputi minyak dan lemak, TPH (*total petroleum hydrocarbon*), klorin residu, suhu, salinitas, TSS (*total suspended solid*), BTEX dan klorin bebas. Kedelapan parameter tersebut diduga akan memberikan dampak yang tidak baik pada ekosistem perairan laut. Untuk mengetahui perilaku limbah tersebut ketika memasuki perairan laut maka diperlukan suatu kajian yang mampu menggambarkan penyebaran secara spasial maupun temporal. Salah satu metode yang sering digunakan untuk menggambarkan sebaran dan *fate* dari limbah ketika memasuki perairan laut adalah dengan melakukan pemodelan numerik.

1.2. Tujuan dan Sasaran

Tujuan dari studi ini adalah

- Mempelajari karakteristik beberapa parameter oseanografi seperti kedalaman perairan (batimetri), pasang surut, pola arus, suhu dan salinitas
- Menduga pola sebaran dan peningkatan konsentrasi limbah setelah masuk ke perairan badan air penerima
- Menentukan zona of initial dilution (ZID)
- Mengusulkan beberapa titik pantau kualitas air laut berdasarkan deliniasi zona of initial dilution (ZID)

Sasaran yang ingin dicapai adalah

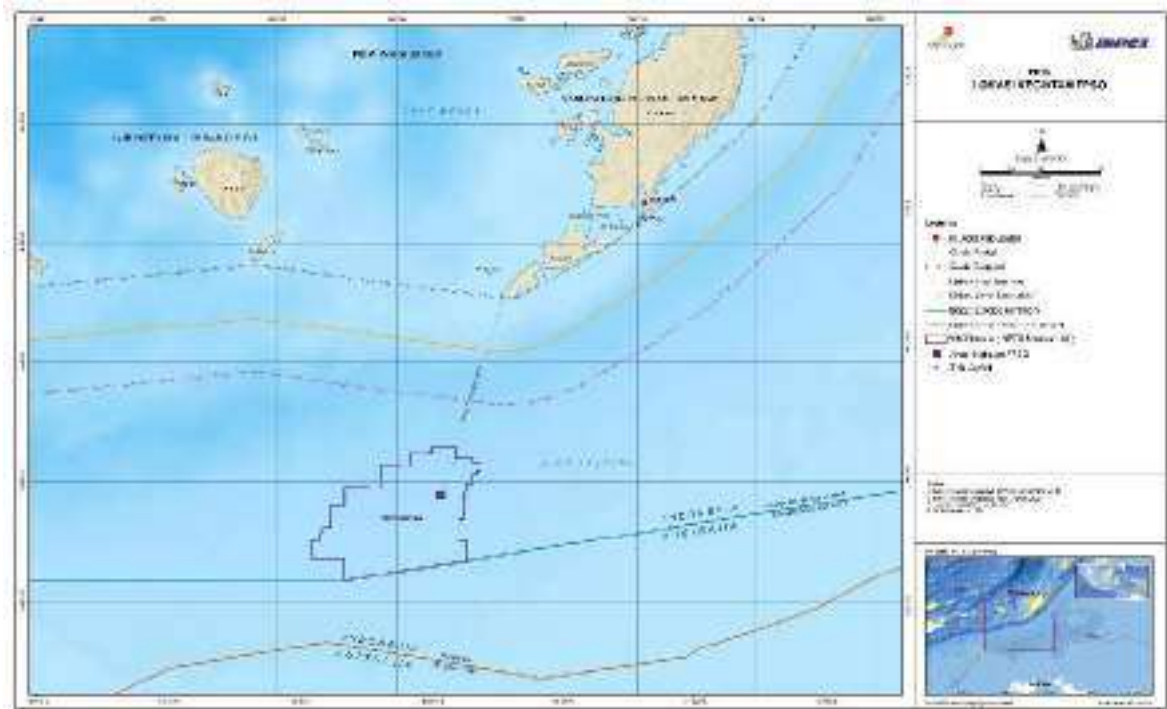
- Diketahuinya area atau luasan yang terpapar oleh limbah konsentrasi tinggi (melebihi baku mutu)

1.3. Manfaat

Manfaat dari kajian ini adalah diperoleh informasi sebaran dari limbah tersebut, sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengelolaan lingkungan

1.4. Lokasi Kajian

Lokasi kajian ini berada di perairan Laut Arafuru, Provinsi Maluku. Lokasi tersebut terhubung langsung dengan perairan Samudera Hindia dan dibatasi oleh daratan Australia di sisi selatan, serta Saumlaki di sisi utara. Secara geografis lokasi kajian disajikan dalam **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi kajian

1.5. Ruang Lingkup Sudi

Berberapa lingkup studi dalam kegiatan ini adalah sebagai berikut:

- Melakukan pengumpulan dan pengolahan data pendukung seperti kedalaman perairan (batimetri), pasang surut, gelombang, arus, suhu dan salinitas, serta limbah cair
- Mensimulasikan sebaran limbah cair dibuang di kolom perairan (12 m di bawah msl) dengan menggunakan model DHI MIKE 3 FM
- Menentukan zona of initial dilution berdasar model sebaran limbah
- Mengusulkan titik pemantauan berdasarkan *zona of initial dilution*

2. METODOLOGI

2.1. Pengumpulan data

Data yang digunakan dalam studi ini terdiri dari data meteorologi, oseanografi dan kualitas air. Data meteorologi yang digunakan hanya berupa angin, sedangkan beberapa data fisik oseanografi yang digunakan diantaranya adalah batimetri, pasang surut, gelombang, arus, suhu dan salinitas. Untuk data kualitas air terdiri dari kualitas air limbah dan kualitas air laut badan air penerima. Data yang digunakan merupakan data primer maupun sekunder yang diperoleh berbagai sumber, seperti ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), Marine Copernicus, Badan Informasi Geospasial (BIG) dan INPEX Masela, Ltd. Spesifikasi data beserta masing-masing sumber tersaji dalam **Tabel 1**

Tabel 1. Spesifikasi data beserta sumbernya yang digunakan dalam kajian

No	Data	Spesifikasi	Sumber
1	Batimetri	Batimetri Nasional dengan resolusi 6 s x 6 s	- Badan Informasi Geospasial (BIG)
		Hasil pengukuran	- INPEX Masela, Ltd
2	Angin	Data angin interval per 6 jam tahun 2011-2020	- ECMWF
3	Pasang Surut	Pasang surut untuk verifikasi model hasil pengukuran	- INPEX Masela, Ltd
		Elevasi pasut untuk syarat batas atau batas terbuka input model	Prediksi berdasarkan model FES2004
4	Gelombang	Gelombang harian 10 tahun terakhir (2011-2020)	ECMWF
5	Suhu dan salinitas	Suhu dan salinitas berdasarkan stratifikasi kedalaman hasil pengukuran CTD	INPEX Masela, Ltd
6	Arus	Arus harian tahun 2020 untuk syarat batas model	Copernicus marine data
		Arus pengukuran untuk verifikasi model	INPEX Masela, Ltd
7	Limbah cair	Koordinat buangan, debit buangan, parameter dan konsentrasi limbah	INPEX Masela, Ltd
8	Kualitas air laut	Kualitas air laut berdasarkan analisis sampel dengan parameter mengacu pada PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII	INPEX Masela, Ltd

2.2. Metode Model Sebaran Limbah

Model yang digunakan dalam studi ini adalah model numerik dalam bentuk *software user interface* dengan nama DHI MIKE yang dikembangkan oleh *Danish Hydraulic Institute* (DHI) *Water and Environment*, Denmark. Di dalam model DHI MIKE terdiri dari beberapa paket model, akan tetapi dalam studi ini paket model yang digunakan adalah DHI MIKE 3 Flow Model FM. Paket ini merupakan paket model yang digunakan untuk pemodelan 3 dimensi dengan pendekatan berdasarkan *cell-centred finite volume method* (metode volume hingga). Di dalam paket model ini terdiri dari beberapa modul untuk menyelesaikan beberapa permasalahan yang terjadi di lingkungan perairan, akan tetapi dalam studi ini hanya menggunakan modul Hidrodinamika (HD), Modul *Mud Transport* (MT) dan modul Transport (T). 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.

2.2.1. Modul Hidrodinamika (HD)

Langkah awal sebelum melakukan pemodelan limbah adalah melakukan pemodelan hidrodinamika perairan dengan menggunakan modul HD dari paket model DHI MIKE 3 Flow FM, selanjutnya hasil dari pemodelan hidrodinamika digunakan sebagai masukan model sebaran polutan atau limbah. Dasar persamaan yang digunakan dalam pemodelan hidrodinamika ini adalah kontinuitas dan persamaan momentum dengan menggunakan solusi 3 dimensi tak mampat (*incompressible*) Reynolds persamaan Navier-Stokes, dengan asumsi Boussinesq dan tekanan hidrostatik. Persamaan kontinuitas dituliskan sebagai berikut

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (1)$$

Selanjutnya persamaan momentum arah x dan arah y berturut-turut dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fu - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) +$$

$$F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(V_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) +$$

$$F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(V_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S$$

dimana,

- | | |
|----------|------------------------|
| t | : waktu. |
| x, y & z | : koordinat kartesian. |
| η | : tinggi muka laut. |
| d | : kedalaman perairan. |
| h | : ($\eta + h$) |

u, v & w	: komponen kecepatan arus arah zonal, meridional dan vertikal.
f	: komponen koriolis ($2\Omega \sin \phi$) dimana Ω adalah kecepatan rotasi bumi dan ϕ adalah posisi lintang
g	: percepatan gaya gravitasi bumi.
ρ	: densitas air sungai.
S_{xx}, S_{xy}, S_{yx} & S_{yy}	: radiasi tensor tekanan massa air pada komponen xx, xy, yx dan yy.
vt	: turbulensi vertikal.
P_a	: tekanan udara
ρ_0	: referensi densitas air.
S	: debit dari sumber.
U_s & V_s	: kecepatan debit aliran

- Tegangan horisontal digambarkan sebagai gradien tekanan yang disederhanakan sebagai

$$F_u + \frac{\partial}{\partial x} \left(2A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad (4)$$

$$F_v + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad (5)$$

Dimana, A adalah eddy viscosity horisontal

- Syarat batas (*boundary condition*) permukaan dan dasar komponen u,v dan w dituliskan sebagai berikut

- Saat $Z = \eta$, menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} - w = 0, \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_t} (\tau_{sx}, \tau_{sy}) \quad (6)$$

- Saat $Z = -d$, menggunakan persamaan berikut

$$u \frac{\partial d}{\partial x} + v \frac{\partial d}{\partial y} + w = 0, \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_t} (\tau_{bx}, \tau_{by}) \quad (7)$$

Dimana, (τ_{sx}, τ_{sy}) dan (τ_{bx}, τ_{by}) masing-masing merupakan gaya gesek angin dan dasar perairan arah x dan arah y.

- Total kedalaman (h) dapat diperoleh dari kinematika kondisi batas (*boundary condition*) dipermukaan setelah medan kecepatan diketahui dari persamaan momentum dan kontinuitas, namun demikian persamaan cenderung lebih kuat apabila mengintegrasikan persamaan kontinuitas lokal sebagai berikut

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{v}}{\partial y} = hS + \hat{P} - \hat{E} \quad (8)$$

Dimana, $\hat{P}$ dan $\hat{E}$ masing-masing adalah evaporasi dan curah hujan, sedangkan $\bar{u}$ dan $\bar{v}$ kecepatan arus yang dirata-ratakan terhadap kedalaman.

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz, h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad (9)$$

- Fluida diasumsikan sebagai aliran tak mampat (*incompressible*), akan tetapi densitas (ρ) tidak tergantung dengan tekanan, melainkan pada suhu (T) dan salinitas (s) dengan persamaan sebagai berikut (UNESCO dalam DHI, 2012)

$$\rho = \rho(T, S) \quad (10)$$

- Perpindahan (*Transport*) suhu dan salinitas dijabarkan sebagai persamaan difusi sebagai berikut

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S \quad (11)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} + \frac{\partial vS}{\partial y} + \frac{\partial wS}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial S}{\partial z} \right) + \hat{H} + S_s S \quad (12)$$

Dimana D_v merupakan koefisien turbulensi vertikal (*eddy*); $\hat{H}$ adalah koefisien pertukaran bahang dengan atmosfer. T_s dan S_s masing-masing menyatakan sumber suhu dan salinitas

- Difusi horisontal (F) didefinisikan sebagai berikut

$$(F_T, F_s) = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] (T, s) \quad (13)$$

Dimana D_h adalah koefisien difusi horisontal. Koefisien difusi berhubungan dengan eddy viskositas yang dijabarkan dalam persamaa berikut

$$D_h = \frac{A}{\sigma_T} \text{ dan } D_v = \frac{V_t}{\sigma_T} \quad (14)$$

Dimana σ_T adalah bilangan Prandtl

- Syarat batas (*boundary condition*) suhu di dasar dan permukaan perairan dijabarkan sebagai berikut

- Saat $z = \eta$, maka :

$$D_h \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{Q}{\rho_0 c_p} + T_p \hat{P} - T_e \hat{E} \quad (15)$$

- Saat $z = -d$, maka:

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad (16)$$

Dimana Q_n merupakan fluks bersih bahang permukaan dan $c_p = 4217 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{K)}$ adalah bahang spesifik air

- Syarat batas (*boundary condition*) salinitas di permukaan dan dasar dijabarkan sebagai berikut

- Saat $z = \eta$, maka :

$$\frac{\partial S}{\partial z} = 0 \quad (17)$$

- Saat $z = -d$ maka :

$$\frac{\partial S}{\partial z} = 0 \quad (18)$$

- Selanjutnya ketika mempertimbangkan evaporasi dalam pertukaran bahang di atmosfer, maka persamaannya adalah sebagai berikut

$$\hat{E} = \begin{cases} \frac{q_v}{\rho_0 l_v} & q_v > 0 \\ 0 & q_v \leq 0 \end{cases} \quad (19)$$

Dimana q_v merupakan fluk bahang laten dan $l_v = 2,5 \times 10^6$ adalah bahang laten penguapan air

2.2.2. Modul Mud Transport (MT)

Modul Mud Transport (MT) digunakan dalam pemodelan sebaran dinamika sedimen ketika masuk ke perairan, dalam studi ini sedimen yang dimodelkan adalah sedimen melayang atau sering disebut total suspended solid (TSS). Hasil model hidrodinamika dua dimensi, pada saat yang bersamaan akan menjadi data masukan (input) *model mud transport* guna menduga sebaran TSS. Dasar persamaannya yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial uc}{\partial x} + \frac{\partial vc}{\partial y} + \frac{\partial wc}{\partial z} - \frac{\partial w_s c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v_{Tx}}{\sigma_{Tx}} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_{Ty}}{\sigma_{Ty}} \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \\ \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_{Tz}}{\sigma_{Tz}} \frac{\partial c}{\partial z} \right) + S \end{aligned} \quad (20)$$

Dimana:

- t : waktu
- x,y,z : koordinat kartesian
- u,v,w : kecepatan komponen arus
- c : konsentrasi
- w_s : kecepatan jatuh sedimen
- σ_{Tx} : bilangan turbulen schmidt
- VT_x : anistropik eddy viskositas
- S : debit buangan

- Laju deposisi dinyatakan dengan persamaan (Krone dalam DHI, 2012) berikut:

$$S_D = w_s c_b p_d \quad (20)$$

Dimana:

- S_D : laju deposisi
 w_s : kecepatan jatuh sedimen (m/s)
 c_b : konsentrasi dekat dasar (kg/m³)
 p_d : probability deposisi : $1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}}$, $\tau_b \leq \tau_{cd}$
 τ_b : tegangan geser dasar (N/m²)
 τ_{cd} : tegangan geser dasar kritis untuk deposisi (N/m²)

- Mehta et al. (1989) dalam DHI (2012), menggambarkan laju erosi dasar dengan persamaan berikut:

$$S_E = E \left(\frac{\tau_b}{\tau_{ce}} - 1 \right), \quad \tau_b > \tau_{ce} \quad (21)$$

dimana:

- E : erodibility dasar (kg/m²/s)
 τ_{ce} : tegangan geser dasar kritis untuk erosi (N/m²)

- Kecepatan jatuh sedimen, diformulasikan dengan persamaan berikut (Rijn, 1984; Yalin, 1972; Engelund, Fredsoe, 1976 dalam DHI, 2012):

$$w = \begin{cases} \frac{(s-1)gd^2}{18v} & d < 100\mu\text{m} \\ \frac{10v}{d} \left\{ \left[1 + \frac{0.01(s-1)gd^3}{v^2} \right]^{0.5} - 1 \right\} & 100 < d \leq 1000\mu\text{m} \\ 1.1[(s-1)gd]^{0.5} & d > 1000\mu\text{m} \end{cases} \quad (22)$$

2.2.3. Modul Transport (T)

Modul Transport digunakan untuk pemodelan sebaran polutan atau limbah, dalam studi ini polutan yang dimodelkan adalah *oil and grease*, *TPH*, *chlorine residue*, *temperature*, *salinitas*, *BTEX* dan *free chlorine*. Model sebaran polutan diselesaikan dengan persamaan adveksi-dispersi. Persamaan adveksi-dispersi dapat dituliskan sebagai berikut

$$\frac{\partial}{\partial t}(hc) + \frac{\partial}{\partial x}(uhc) + \frac{\partial}{\partial y}(vhc) = \frac{\partial}{\partial x} \left(h \cdot D_x \cdot \frac{\partial}{\partial x} \right) + \left(h \cdot D_y \cdot \frac{\partial}{\partial y} \right) - F \cdot h \cdot c + S \quad (23)$$

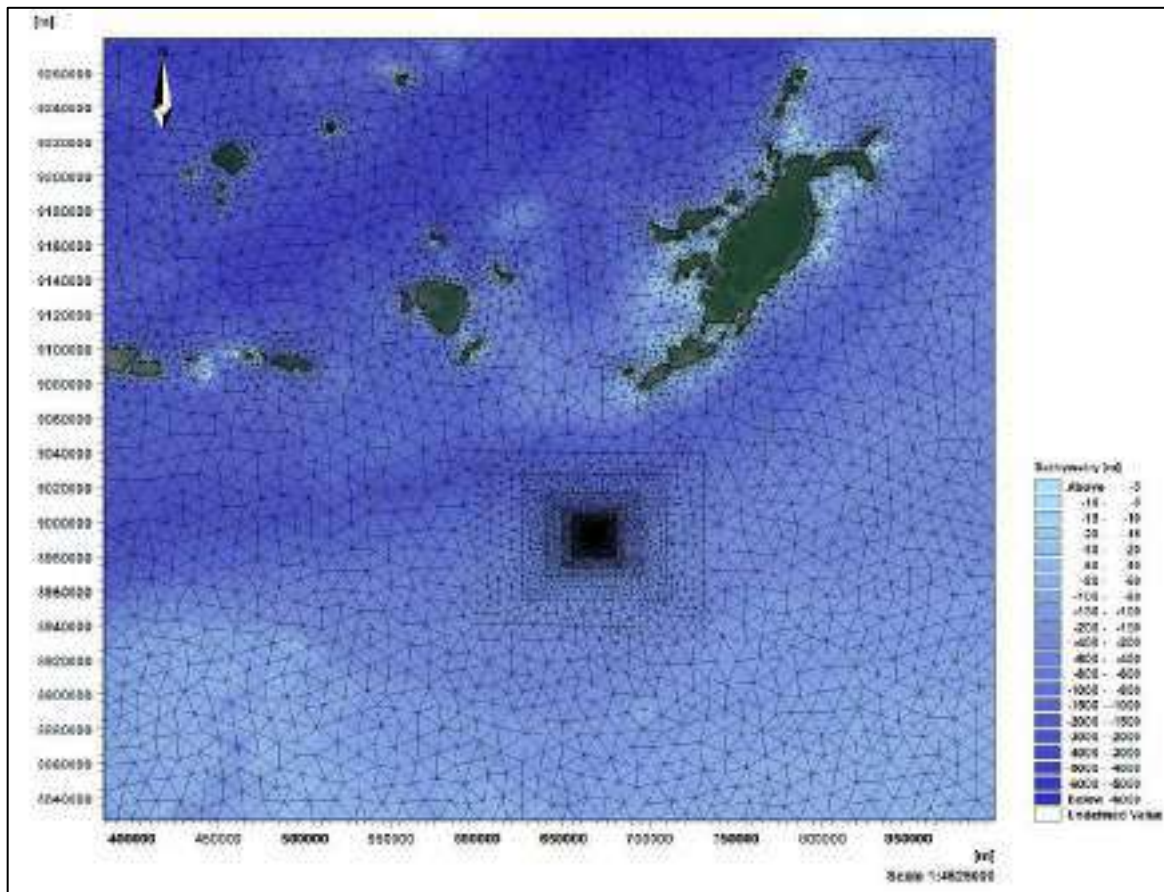
Dimana :

- c : konsentrasi polutan rata-rata terhadap kedalaman
 u, v : kecepatan aliran yang dirata-ratakan terhadap kedalaman (m/s)
 D_x, D_y : koefisien dispersi (m²/s)
 h : kedalaman (m)
 F : koefisien peluruhan/pelarutan (sec-1)
 S : Q_s , (Cs-c)
 Q_s : debit polutan per satuan luas horizontal (m³/s/m²)
 C_s : konsentrasi polutan dari debit

2.3. Setup dan Desain Model

2.3.1. Domain dan Elemen 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 pembuangan limbah. 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 (elemen) kemudian diterapkan ke dalam bentuk diskritisasi. Elemen-elemen yang digunakan dalam studi ini dibuat bervariasi, ukuran elemen yang detail di buat di area *interest* (lokasi pembuangan limbah), sedangkan untuk elemen yang lokasi yang jauh dari wilayah kajian dibuat ukuran besar. Gambaran diskritisasi area model secara horisontal (*horizontal plane*) diperlihatkan pada **Gambar 2** berikut:



Gambar 2. Diskritisasi model dalam bentuk elemen seitiga

2.3.2. Initial dan open boundary

a. Kondisi awal (*initial conditin*)

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 menggunakan nilai nol atau muka air dianggap rata, sementara komponen arus

menggunakan model global yang dikembangkan oleh *marine copernicus*. Kondisi awal yang digunakan dalam model *Mud Transport* (perpindahan sedimen) dan *Transport* (sebaran limbah) adalah konsentrasi TSS dan beberapa parameter limbah input model. Dalam kajian nilai konsentrasi awal TSS dan parameter limbah lainnya di perairan dianggap nol atau konsentrasi hasil model merupakan nilai peningkatan (penambahan).

b. Syarat batas (*boundary condition*)

Kondisi batas yang digunakan dalam pemodelan hidrodinamika terdiri batas tertutup (*closed boundary*), batas terbuka laut (*open sea boundary condition*), batas permukaan bebas (*free surface boundary condition*) dan debit (*discharge*).

➤ 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 boundary*)

Batas terbuka yang digunakan dalam kajian ini adalah data pasang surut. Data tersebut adalah ramalan dari AG95 (*updated to Andersen 2006*) yang dikembangkan oleh Ole Baltazar Andersen. Model ini merupakan suatu model peramalan pasang surut global dengan resolusi $0,125^\circ \times 0,125^\circ$ yang merupakan data asimilasi dari data TOPEX/Poseidon dengan menggunakan pendekatan *finite element*. Lokasi pemodelan pada studi ini akan menggunakan empat batas terbuka pasang surut, yakni batas utara (*north boundary*), batas timur (*easth boundary*) dan batas selatan (*south boundary*) dan batas barat (*west boundary*). Data ramalan pasut yang digunakan sebagai batas terbuka bervariasi terhadap ruang dan waktu.

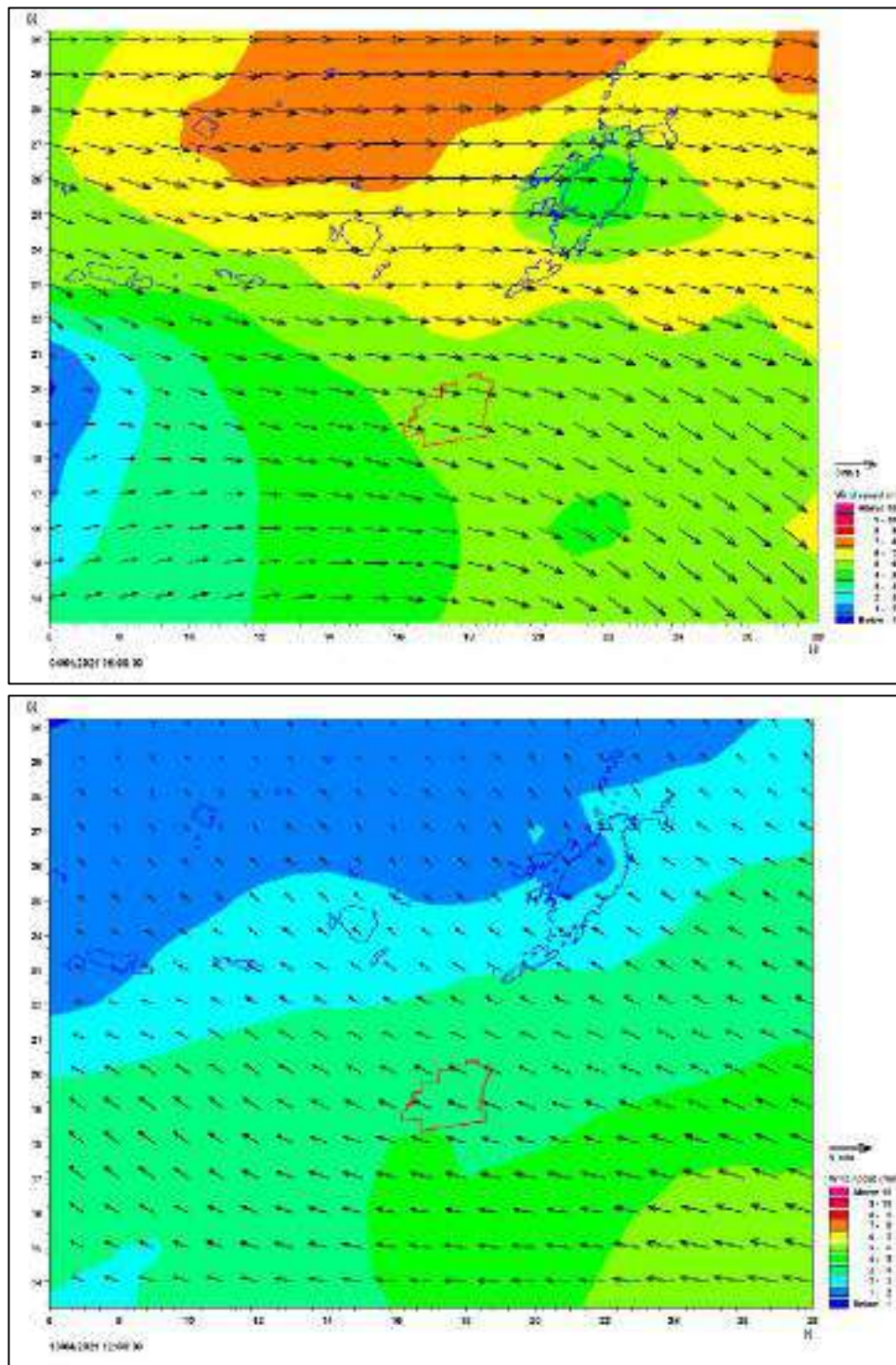
➤ Debit (*discharge*)

Data debit yang digunakan untuk syarat batas merupakan debit dari sistem buangan limbah. Debit yang digunakan berasal dari 5 sistem titik buangan (*outfall*). Debit buangan tersebut diasumsikan mengalir secara terus menerus

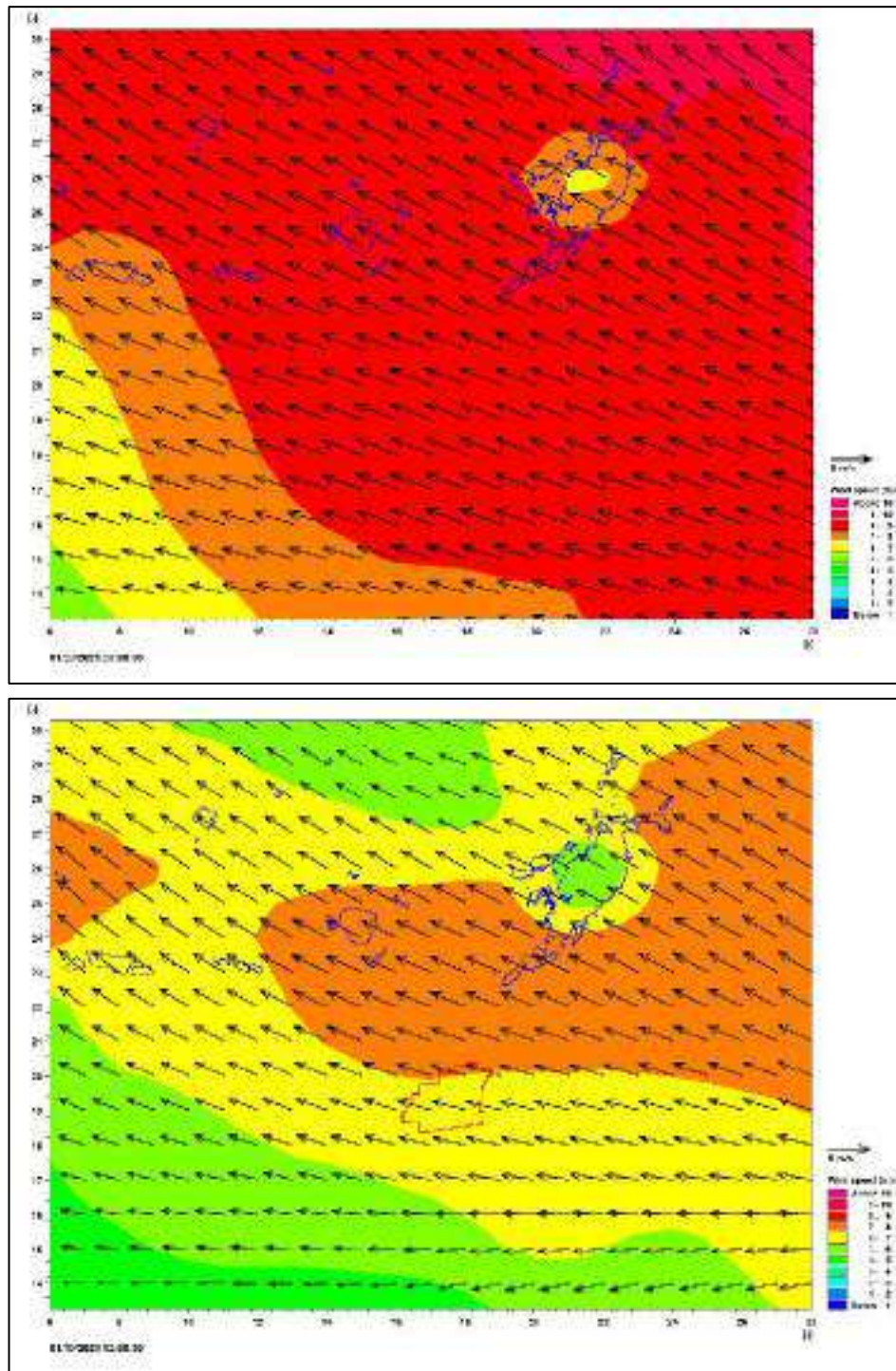
➤ Batas permukaan bebas (*Free Surface Boundary Condition*)

Batas permukaan yang digunakan dalam kajian ini adalah angin, hal ini dikarenakan pergerakan angin di permukaan perairan akan mengubah kecepatan arus dibawahnya karena efek tegangan geser (*shear stress*). Data angin masukan model diperoleh dari ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) yang merupakan data reanalisis dari gabungan data seluruh Badan Meteorologi dunia. Data angin mempunyai interval waktu tiap 3 jam dengan resolusi spasial $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ dengan cakupan global. 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). Gambaran data angin yang digunakan input model disajikan dalam **Gambar 3** dan **Gambar 4**. Sebelum digunakan, data angin input pemodelan dibandingkan secara kualitatif dengan data pengukuran yang dilakukan pada bulan Januari-Maret 2012 (kajian met-ocean phase I INPEX Masela LTD). Hasil perbandingan menunjukkan angin hasil pengukuran dan angin ECMWF (Lampiran A Gambar 1) terlihat konsisten bergerak

dari arah yang sama, yakni pada bulan Januari-Maret dominan bergerak dari barat laut dan baratl



Gambar 3. Rata-rata angin bulanan 2011-2020. (atas) bulan Januari dan (bawah) bulan April



Gambar 4. Rata-rata angin bulanan 2011-2020. (atas) bulan Agustus dan (bawah) bulan Oktober

2.4. Skenario Simulasi Model

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

1. Skenario 1; simulasi dilakukan pada bulan Januari dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh Musim Barat

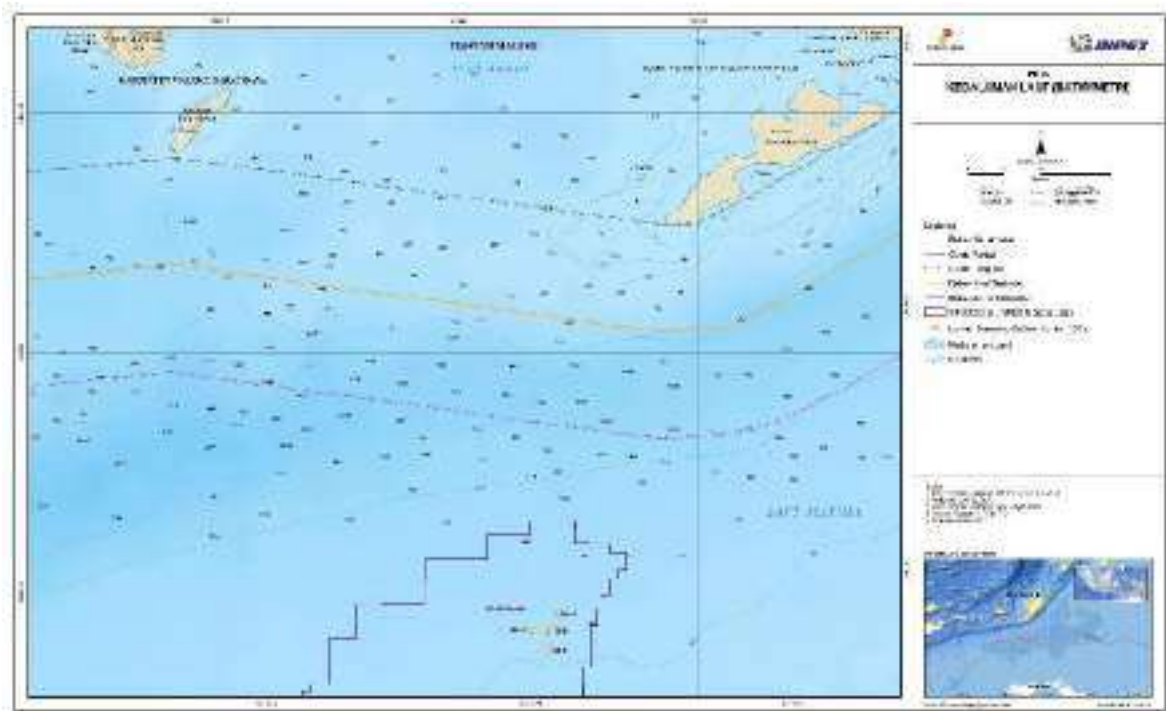
2. Skenario 2; simulasi dilakukan pada bulan April dengan tujuan untuk memperoleh pengaruh Musim Peralihan I
3. Skenario 3; simulasi dilakukan pada bulan Agustus dengan tujuan untuk memperoleh pengaruh Musim timur
4. Skenario 4; simulasi dilakukan pada bulan oktober dengan tujuan untuk memperoleh pengaruh Musim Peralihan II

3. KONDISI OSEANOGRAFI

3.1. Kedalaman Perairan

Kedalaman perairan merupakan salah satu paramater penting dalam kajian lingkungan perairan. Jika dikaitkan dengan suatu polutan atau limbah, sebagai contoh adalah limbah kegiatan FPSO, maka kedalaman adalah salah satu faktor yang mempengaruhi pengenceran limbah tersebut ketika masuk ke perairan. Umumnya semakin dalam perairan maka limbah akan mudah terencerkan, sebaliknya ketika perairan dangkal maka pengenceran akan lebih lambat, selain itu faktor hidrodinamika tentunya juga sangat berperan penting dalam pendistribusi dan pengencer limbah ketika masuk ke perairan.

Karakteristik kedalaman sekitar lokasi studi diperlihatkan dalam **Gambar 5**, dimana kedalaman perairan digambarkan dalam kontur kedalaman dalam satuan meter. Pada gambar tersebut terbaca skala warna yang menunjukkan gradien kedalaman laut mulai dari biru terang hingga biru gelap, biru terang menunjukkan perairan dangkal dan biru gelap menandakan bagian dari perairan yang lebih dalam. Kedalaman lingkungan perairan sekitar lokasi studi cukup bervariasi, dimana di sekitar wilayah kajian kedalaman mencapai 500-1000 m. Kedalaman di sekitar rencana pembuangan limbah berkisar 500-600 m



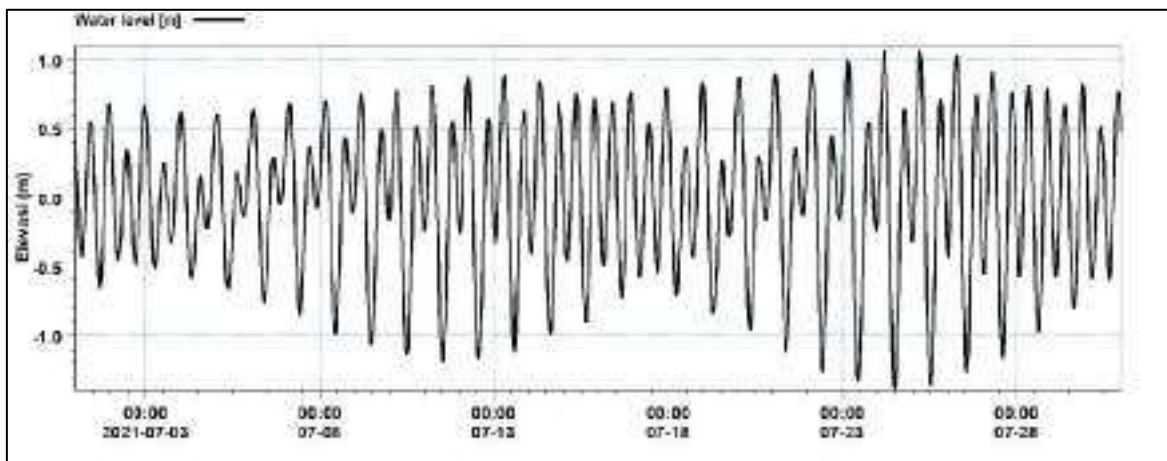
Gambar 5. Karakteristik kedalaman sekitar lokasi studi

3.2. Pasang Surut

Pasang surut (pasut) adalah proses naik turunnya paras laut (sea level) secara berkala yang ditimbulkan oleh adanya gaya tarik dari benda-benda angkasa, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Selain untuk keperluan teknis perencanaan bangunan pantai dan navigasi, pasang surut merupakan salah satu

parameter penting dalam kajian lingkungan akibat suatu kegiatan di perairan. Sebagai contoh jika ada suatu perairan karakter arusnya sangat dipengaruhi oleh pasang surut, maka suatu polutan yang masuk ke perairan tersebut karakter pergerakannya akan lebih mudah untuk diprediksi.

Data pasang surut di perairan lokasi studi diperoleh berdasarkan hasil pengukuran secara langsung di lapangan yang dilakukan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) di stasiun Saumlaki. Data tersebut berupa nilai elevasi muka laut yang diukur pada tanggal 1-31 Juli 2021 dengan interval data tiap 1 jam. Grafik series data pasut pengukuran tersebut diperlihatkan dalam **Gambar 6**



Gambar 6. Grafik fluktuasi pasang surut hasil pengukuran tanggal 1-31 Juli 2021

Selanjutnya data pasut yang diperoleh dianalisis dengan metode *least square* untuk memperoleh konstanta harmonis pasut yang diperlihatkan dalam **Tabel 2**. Berdasarkan tabel tersebut terlihat amplitudo komponen pasut ganda (semidiurnal) memperlihatkan nilai yang dominan dibandingkan dengan pasut tunggal (diurnal), total amplitudo pasut ganda yang terdiri dari S2, M2, N2 dan K2 mencapai 59,43%, sedangkan pada pasut tunggal (K1, O1 dan P1) persentasenya lebih kecil, yakni 40,25%, sisanya merupakan pasut perairan dangkal (M4 dan MS4) yang persentasenya tergolong kecil, yakni sekitar 0,32%. Secara kuantitatif, tipe pasut di perairan studi ditentukan dengan menghitung perbandingan (nisbah) antara amplitudo unsur-unsur pasut tunggal utama (K1+O1) dengan amplitudo unsur-unsur pasut ganda utama (M2+S2) atau dikenal sebagai bilangan Formzhal. Hasil perhitungan bilangan Formzhal diperoleh nilai sebesar 0,69, berdasarkan kriteria *courtier range* nilai tersebut termasuk dalam tipe pasang campuran harian ganda (*mixed semidiurnal tides*). Tipe pasut ini merupakan tipe pasut yang dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, akan tetapi terdapat perbedaan amplitudo. Secara visual tipe pasut tersebut juga dapat dilihat pada **Gambar 6**, dimana gambar tersebut memperlihatkan pasang surut dalam sehari terjadi 2 kali dan dua kali surut, akan tetapi amplitudonya tidak simetris.

Tabel 2. Konstanta pasut hasil analisis metode *least square* berdasarkan data pasut 1-31 Juli 2021

Konstanta Pasut	S_0	M_2	S_2	K_1	O_1	N_2	K_2	P_1	M_4	MS_4
Amplitudo (m)	0.00	0.62	0.16	0.32	0.21	0.13	0.04	0.11	0.003	0.003
Beda Fase (°)		152	224	205	187	116	224	205	84	195

Berdasarkan konstanta yang diperoleh, elevasi-elevasi penting pasut dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa persamaan seperti diperlihatkan pada **Tabel 3**. Tunggang pasut yang digunakan mengacu pada pada tinggi muka air laut rata-rata (MSL). Dari hasil perhitungan diperoleh muka air tertinggi (HAT) diperoleh 1.6 m. Muka air tertinggi (HHWL) dan terendah (LLWL) pada saat purnama maupun bulan mati menngacu muka air rata-rata masing-masing diperoleh 1.47 m dan -1.47 m.

Rata-rata air tertinggi baik kondisi bulan purnama maupun bulan mati (MHWS) diperoleh 0.78 m, sedangkan air rendah pada rata-rata surut (MLWS) diperoleh -0.78 m. Nilai tunggang pasut pada air tinggi rata-rata pasang selama periode 19.60 tahun (MHWL) untuk referensi MSL sebesar 1.15 m, sedangkan untuk air rendah pada rata-rata surut (MLWL) sebesar -1.15 m. Nilai tunggang pasut atau jarak antara pasang tertinggi dan surut terendah berdasarkan keseluruhan komponen diperoleh 3.21 m

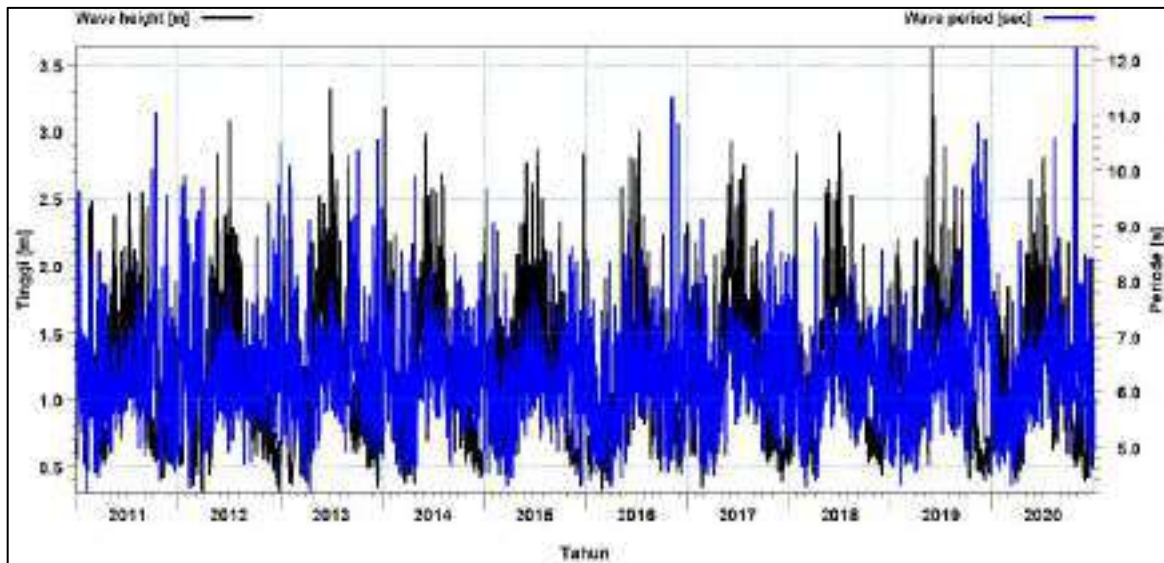
Tabel 3 Elevasi-elevasi penting pasang surut pada tipe pasut harian tunggal (*mixed semidiurnal tides*)

Design water level	Symbol	Calculation	Referensi
			MSL (m)
Highest Astronomical Tide	HAT	$Z_0 + (\text{all constituents})$	1.60
Higher High Water Level	HHWL	$Z_0 + (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1)$	1.47
High Water Spring	HWS	$Z_0 + (M_2 + S_2 + K_1 + O_1)$	1.32
Mean High Water Spring	MHWS	$Z_0 + (M_2 + S_2)$ or $Z_0 + (K_1 + O_1)$	0.78
Mean High Water Level	MHWL	$Z_0 + (M_2 + K_1 + O_1)$	1.15
Mean Sea Level	MSL	Z_0	0.00
Mean Low Water Level	MLWL	$Z_0 - (M_2 + K_1 + O_1)$	-1.15
Mean Low Water Spring	MLWS	$Z_0 - (M_2 + S_2)$ or $Z_0 - (K_1 + O_1)$	-0.78
Chart Datum Level	CDL	$Z_0 - (M_2 + S_2 + K_1 + O_1)$	-1.32
Lower Low Water Level	LLWL	$Z_0 - (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1)$	-1.47
Lowest Astronomical Tide	LAT	$Z_0 - (\text{all constituents})$	-1.60

3.3. Gelombang

Informasi gelombang secara series di sekitar lokasi diperoleh berdasarkan hasil model gelombang Wavewatch-III. Wavewatch-III merupakan model gelombang generasi ketiga yang dikembangkan oleh Marine Modeling and Analysis Branch (MMAB) dari The Environmental Modeling Center (EMC) dari National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Secara global data gelombang hasil model tersebut terdistribusi melalui situs <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/>, sedangkan di perairan Indonesia dapat diperoleh melalui INA-COAP (Indonesia-Consortium of Oceanic and Atmospheric Prediction). Data

gelombang yang digunakan adalah data gelombang 10 tahun terakhir (2011-2020) berupa tinggi gelombang signifikan, periode rata-rata dan arah datang gelombang rata-rata. Tinggi dan periode gelombang laut di sekitar lokasi studi selama 2011-2020 disajikan dalam **Gambar 7**. Deskripsi statistik berdasarkan gambar tersebut diperlihatkan dalam **Tabel 4**.



Gambar 7. Tinggi dan periode gelombang signifikan harian selama tahun 2011-2020

Tabel 4. Deskripsi statistik tinggi dan periode gelombang selama tahun 2011-2020

Musim	Bulan	Tinggi Gelombang (m)				Periode (detik)			
		Mean	St. Dev	Min	Max	Mean	St. Dev	Min	Max
Barat	Jan	1.14	0.50	0.40	3.18	6.34	0.95	4.54	10.52
	Feb	0.99	0.45	0.35	2.48	6.03	0.93	4.21	10.09
Peralihan I	Mar	0.83	0.34	0.31	2.41	5.93	0.91	4.28	9.70
	Apr	0.96	0.37	0.35	2.19	5.98	0.85	4.17	9.90
	Mei	1.54	0.45	0.51	2.84	6.21	0.54	4.46	8.50
Timur	Jun	1.72	0.49	0.66	3.62	6.47	0.56	4.92	8.84
	Jul	1.69	0.45	0.71	3.32	6.48	0.52	4.91	8.56
	Agust	1.41	0.41	0.55	2.68	6.36	0.64	4.70	10.59
Peralihan II	Sep	1.20	0.39	0.56	2.83	6.36	0.73	4.65	9.17
	Okt	0.97	0.33	0.41	2.33	6.56	1.09	4.40	12.21
	Nop	0.74	0.20	0.40	1.76	6.72	1.05	4.71	11.32
Barat	Des	0.78	0.39	0.31	2.84	6.54	1.10	4.37	10.57

2

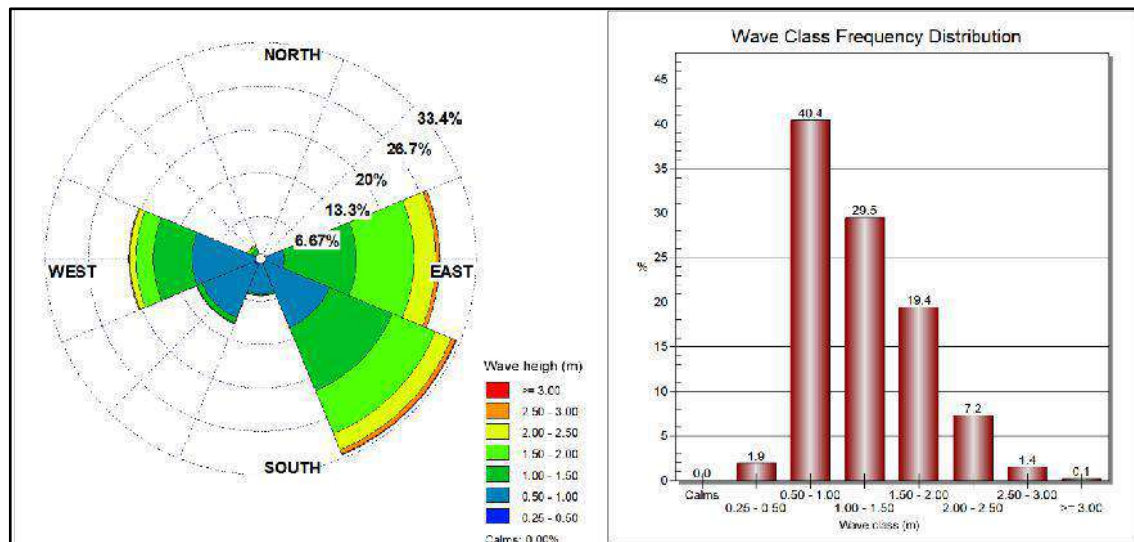
Secara umum berdasarkan tabel dan gambar tersebut terlihat tinggi gelombang signifikan tertinggi terjadi pada musim timur (Juni-Agustus), sementara tinggi gelombang rendah terjadi pada musim peralihan II (September-November). Puncak tertinggi gelombang pada musim timur terjadi pada bulan Juni, dimana rata-rata tinggi gelombang signifikan sebesar 1.72 m dan tinggi gelombang maksimum mencapai 3.62 m. Pada musim barat rata-rata tinggi gelombang terlihat lebih rendah, dimana puncak tertinggi terjadi pada bulan Januari dengan rata-rata dan tinggi gelombang maksimum masing-masing sebesar 1.14 m dan 3.18 m. Pada musim peralihan I puncak tertinggi gelombang terjadi pada bulan

Mei dengan rata-rata tinggi gelombang sebesar 1.54 m, sedangkan pada musim peralihan II terjadi pada bulan September dengan tinggi gelombang rata-rata sebesar 1.2 m. Tinggi gelombang maksimum maksimum peralihan I dan II tersebut masing-masing mencapai 2.84 m dan 2.83 m. Rata-rata tertinggi periode gelombang selama 10 tahun terakhir juga terjadi pada musim timur, dimana periode puncak terjadi pada bulan Juli dengan periode rata-rata sebesar 6.48 detik. Rata-rata periode terendah terjadi pada Musim Peralihan I, yakni periode sebesar 5.93 detik terjadi pada bulan Maret. Periode rata-rata tertinggi pada musim barat dan peralihan II tidak terlihat ada perbedaan signifikan, dimana rata-rata periode tertinggi kedua musim tersebut masing-masing adalah 6.54 detik (Desember) dan 6.72 detik (November).

Selain melihat deskripsi statistik umum tinggi dan periode gelombang di area kajian, analisis juga dilakukan terhadap persentase tinggi dan arah datang gelombang. Tujuannya adalah untuk melihat pada kisaran berapa dan arah dari mana saja gelombang sering terjadi. Persentase tinggi, periode dan arah datang gelombang selama 10 tahun terakhir 2011-2020 disajikan dalam **Tabel 5** dan divisualisasi dalam bentuk mawar gelombang (waverose) dan histogram disitribusi frekuensi yang diperlihatkan dalam **Gambar 8**. Berdasarkan tabel dan gambar tersebut terlihat selama 10 tahun terakhir tinggi gelombang dominan berada pada kisaran 0.5-1 m (40.38%) dan 1-1.5 m (29.5%). Untuk arah datang gelombang lebih dari 60 % berasal dari timur (27.66%) dan tenggara (32.69%), sedangkan arah datang gelombang dari arah lain tergolong kecil. Arah datang gelombang dari barat dan barat daya masing-masing sebesar 24.41 % dan 10.9%, sedangkan total sisa gelombang dari arah lain tidak lebih dari 10%. Tinggi dan arah gelombang hasil model Wavewatch-III juga dibandingkan dengan data gelombang hasil pengukuran bulan Januari-Mei 2012 (kajian met-ocean fase 1 INPEX Masela,LTD). Hasil model menunjukkan (Lampiran A Gambar 2), mawar gelombang (waverose) hasil model Wavewatch-III terlihat konsisten dengan hasil pengukuran Januari-Mei 2012, yakni dominan merambat dari barat, barat laut, timur dan tenggara.

Tabel 5. Persentase tinggi dan arah gelombang selama tahun 2011-2020

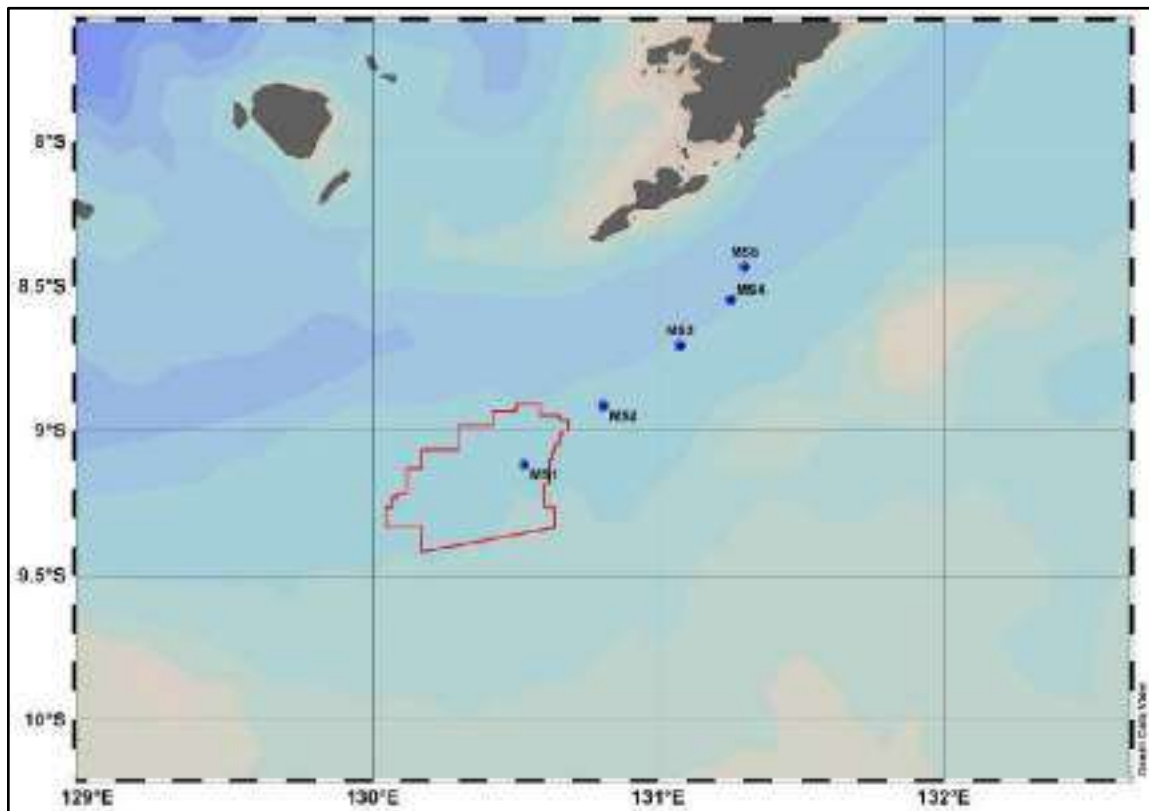
Arah [°]	Tinggi gelombang signifikan harian (m)							Total (%)
	0.25 - 0.5	0.5 - 1	1 - 1.5	1.5 - 2	2 - 2.5	2.5 - 3	>= 3	
Utara (337.5 - 22.5)	0.00	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
Timur Laut (22.5 - 67.5)	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
Timur (67.5 - 112.5)	0.00	3.75	11.05	8.89	3.36	0.60	0.01	27.66
Tenggara (112.5 - 157.5)	0.19	11.34	10.51	7.17	2.68	0.68	0.12	32.69
Selatan (157.5 - 202.5)	0.18	5.31	0.25	0.03	0.01	0.00	0.00	5.79
Barat daya (202.5 - 247.5)	1.23	8.67	0.86	0.12	0.03	0.00	0.00	10.90
Barat (247.5 - 292.5)	0.30	10.39	5.95	2.69	0.93	0.14	0.01	20.41
Barat Laut (292.5 - 337.5)	0.00	0.79	0.86	0.51	0.22	0.02	0.00	2.40
Sub-Total (%)	1.90	40.38	29.50	19.40	7.23	1.44	0.14	100.00
Missing/Incomplete								0.00
Total								100.00



Gambar 8. Mawar gelombang (kiri) dan distribusi frekuensi tinggi gelombang (kanan) selama tahun 2011-2020

3.4. Suhu dan Salinitas

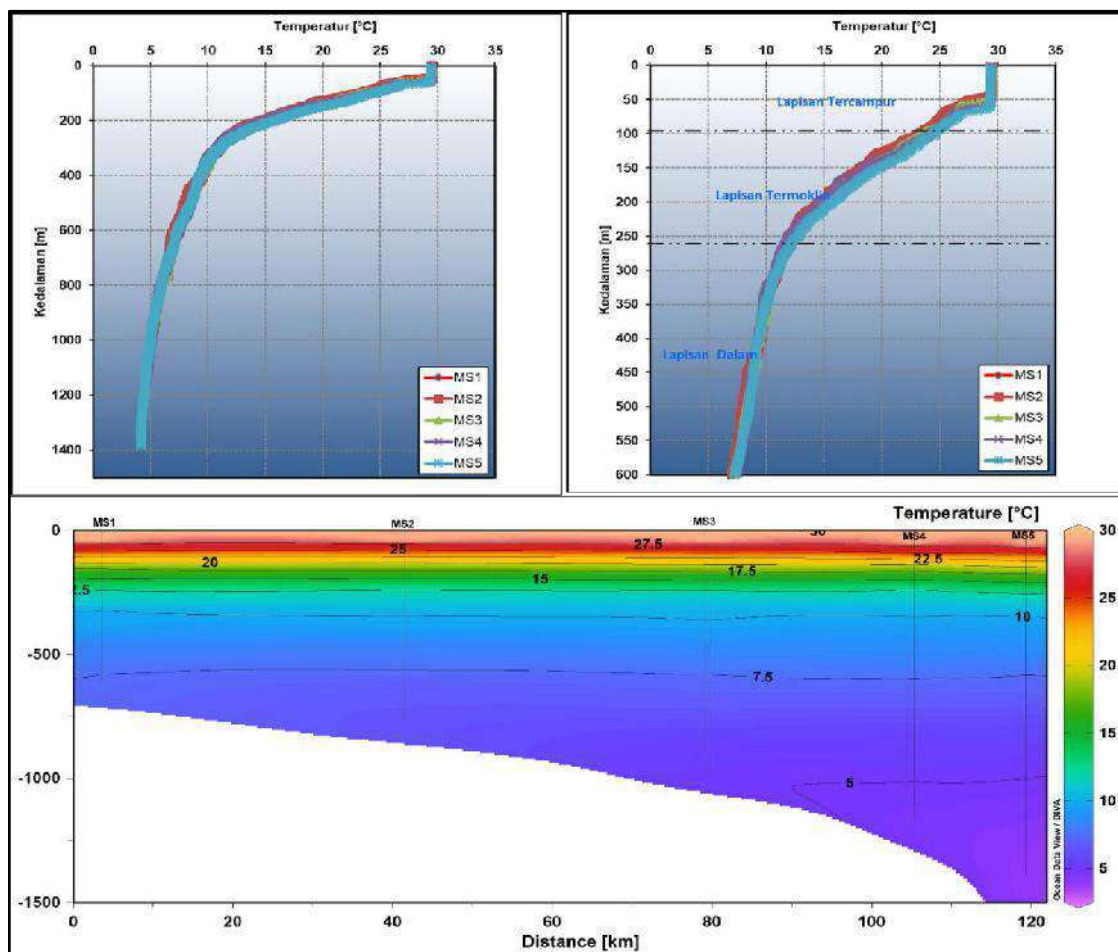
Data suhu dan salinitas diperoleh dari hasil kajian met-ocean yang dilakukan oleh Inpex Masela, LTD. Suhu dan salinitas diukur dengan menggunakan CTD (*conductivity temperature depth*) di empat stasiun sekitar wilayah kerja Masela (**Gambar 9**). Tujuan penggunaan alat ukur CTD ini guna mengetahui profil vertikal suhu dan salinitas terhadap kedalaman, selain itu juga digunakan untuk menentukan kedalaman termoklin.



Gambar 9. Stasiun lokasi pengukuran suhu dan salinitas dengan CTD

Hasil pengolahan profil sebaran vertikal dan melintang suhu diperlihatkan dalam **Gambar 10**. Secara umum berdasarkan gambar tersebut terlihat nilai suhu dari keempat stasiun semakin menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman, selain itu terdapat pola pelapisan massa air berdasarkan perubahan suhu yang dibagi menjadi tiga lapisan, yaitu lapisan tercampur (homogen), lapisan termoklin dan lapisan dalam. Suhu pada lapisan homogen terlihat seragam, hal ini tampak dari garis berbentuk menegak (pada sebaran vertikal), pada lapisan termoklin terlihat ada perubahan suhu secara drastis yang di representasikan dengan garis miring pada grafik vertikal. Pada lapisan dalam, perubahan suhu berdasarkan kedalaman terlihat sangat lambat dikarenakan pengaruh penentrasi sinar matahari sudah melemah.

Untuk melihat batas antar lapisan lebih mendetail dilakukan perhitungan pelapisan yang mengacu pada hasil penelitian Bureau of technical supervision of the P.R of China (1992) dalam Kunarso et. al (2012). Dasar penentuan pelapisan ini adalah menentukan lapisan termoklin yang ditandai dengan perubahan suhu secara cepat terhadap kedalaman yaitu dengan gradien suhu mencapai $\geq 0,05 \text{ }^{\circ}\text{C/m}$. Hasil perhitungan pelapisan massa berdasarkan perubahan suhu disajikan dalam **Tabel 6**. Berdasarkan tabel tersebut terlihat, lapisan tercampur yang terbentuk dari 5 stasiun data CTD mencapai kedalaman 43-70 m . Lapisan termoklin terbentuk dari kedalaman 43 m (stasiun MS2) hingga 273 m (stasiun MS5). Lapisan dalam mulai terbentuk dari kedalaman 222 m (stasiun MS2).

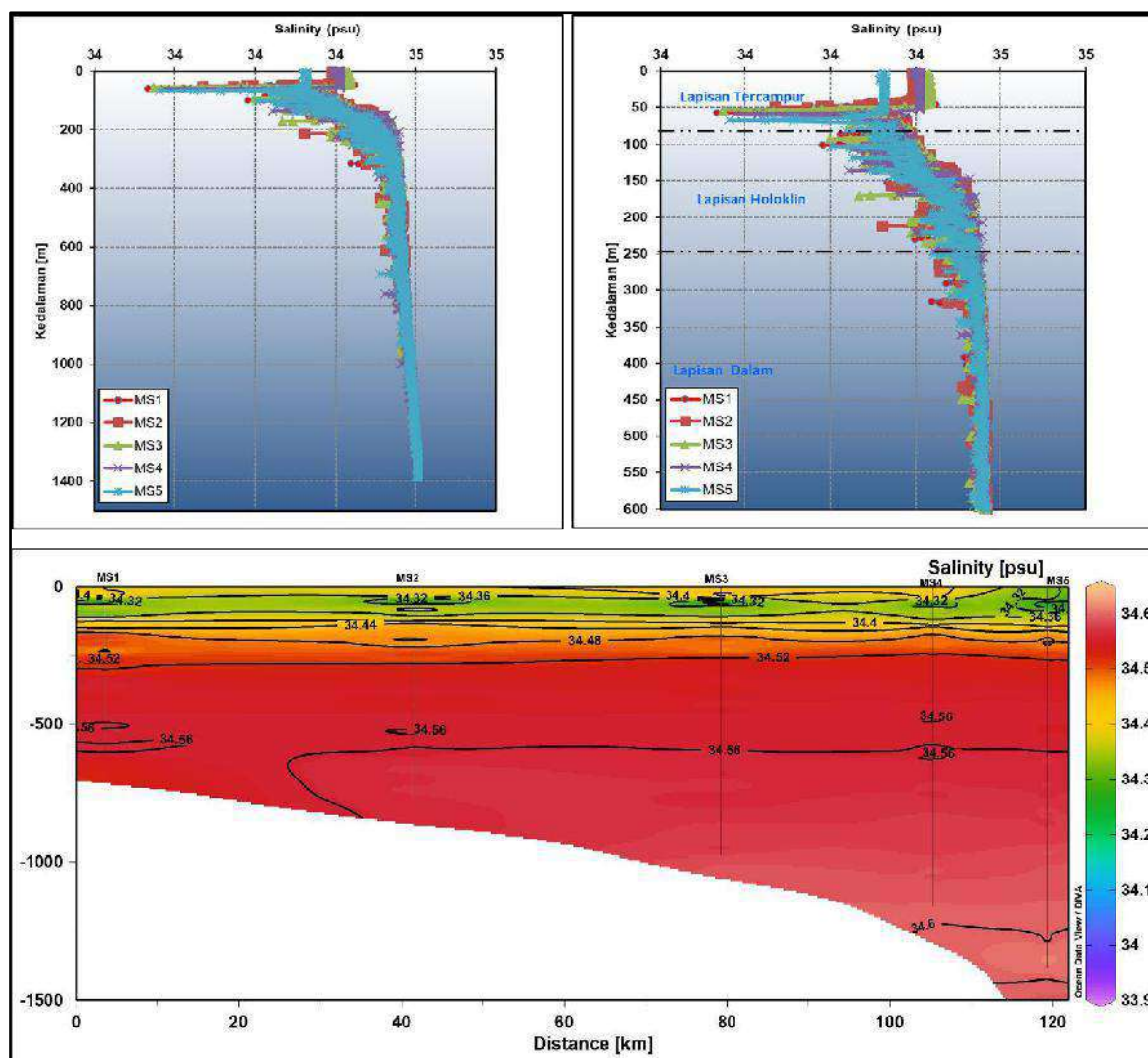


Gambar 10. Profil menegak (atas kiri), lapisan termoklin (atas kanan) dan sebaran melintang (bawah) temperatur di sekitar lokasi kajian

Tabel 6. Variasi suhu pada lapisan tercampur, lapisan piknoklin dan lapisan dalam

Stasiun	Lapisan Tercampur			Lapisan Termoklin			Lapisan Dalam		
	Kisaran suhu (°C)	Kisaran kedalaman (m)	Gradien suhu (°C/m)	Kisaran suhu (°C)	Kisaran kedalaman (m)	Gradien suhu (°C/m)	Kisaran suhu (°C)	Kisaran kedalaman (m)	Gradien suhu (°C/m)
MS1	25.89-29.54	0-70	0.018	12.03-25.86	70-250	0.08	9.00-13.04	> 250	0.013
MS2	29.40-29.47	0-43	0.001	13.10-29.37	43-222	0.09	3.56-13.89	> 222	0.011
MS3	29.39-29.56	0-50	0.004	11.64-29.36	50-260	0.08	5.17-11.57	> 260	0.010
MS4	29.41-29.43	0-55	0.001	11.77-29.41	55-260	0.09	4.63-11.72	> 260	0.010
MS5	29.28-29.45	0-60	0.004	11.74-29.25	60-273	0.08	4.14-11.67	> 273	0.007

Sebaran menegak dan melintang salinitas disajikan **Gambar 11**. Berdasarkan gambar tersebut terlihat pola perubahan nilai salintas terhadap kedalaman berkebalikan dengan pola perubahan suhu, dimana secara umum nilai salinitas semakin meningkat sering bertambahnya kedalaman. Nilai salinitas pada lapisan tercampur cukup bervariasi dari 33.93 psu hingga 34.56 psu, pada lapisan termoklin variasi salinitas semakin menurun dengan kisaran mulai 34.18-44.56 psu, variasi salinitas paling kecil terdapat pada lapisan dalam, yakni dengan kisaran salinitas antara 34.43-34.6 psu.

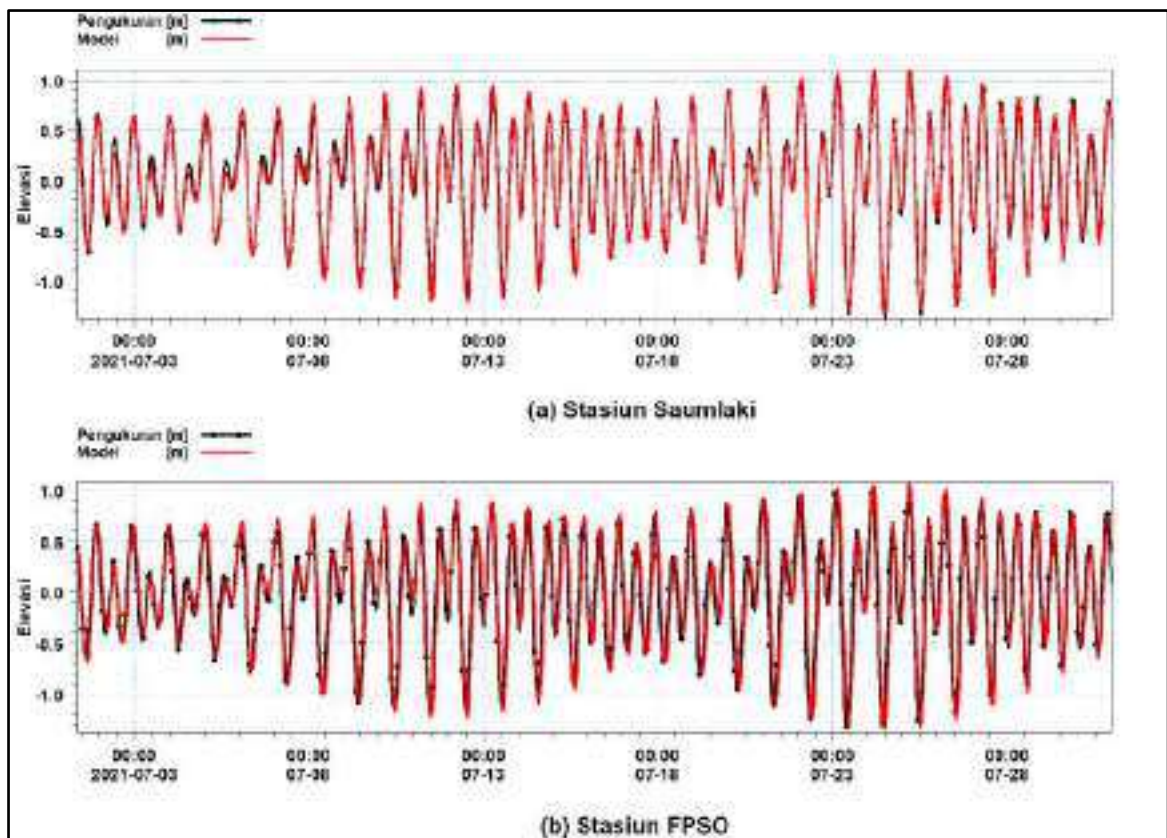


Gambar 11. Profil menegak (atas kiri), lapisan haloklin (atas kanan) dan sebaran melintang (bawah) salinitas di sekitar lokasi kajian

3.5. Pola Arus

Informasi karakteristik arus di wilayah studi diperoleh dengan melakukan pemodelan hidrodinamika, tujuan pemodelan ini adalah untuk memperoleh gambaran yang menyeluruh baik secara spasial maupun temporal karakteristik arus di wilayah studi, selain itu hasil model hidrodinamika juga digunakan sebagai input model sebaran limbah.

Luaran model hidrodinamika telah dilakukan uji validitas dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana kebenaran model yang telah disimulasikan. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan parameter data hasil model dengan hasil pengukuran. Komponen hidrodinamika hasil model yang divalidasi adalah komponen pasut. Data pasut yang digunakan untuk verifikasi adalah data pasut yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) stasiun Saumlaki dan data pengukuran berdasarkan kajian Met-Ocean INPEX Masela, Ltd. Hasil verifikasi model komponen pasut disajikan dalam bentuk grafik series yang tersaji dalam **Gambar 12**. Dari gambar tersebut terlihat elevasi pasut luaran model dan pengukuran menunjukkan pola yang sangat mirip. Hasil perhitungan *root mean square error* (RMSE) dan pesentase kesalahan untuk stasiun Saumlaki masing-masing diperoleh 0.06 dan 2.81 %, sedangkan stasiun FPSO a diperoleh 0.2 dan 4.92 %. Dengan melihat kecilnya persentase kesalahan pasut luaran model, maka secara umum hasil model hidrodinamika telah disimulasikan ditinjau dari komponen pasang surut sudah mendekati kondisi yang sebenarnya.



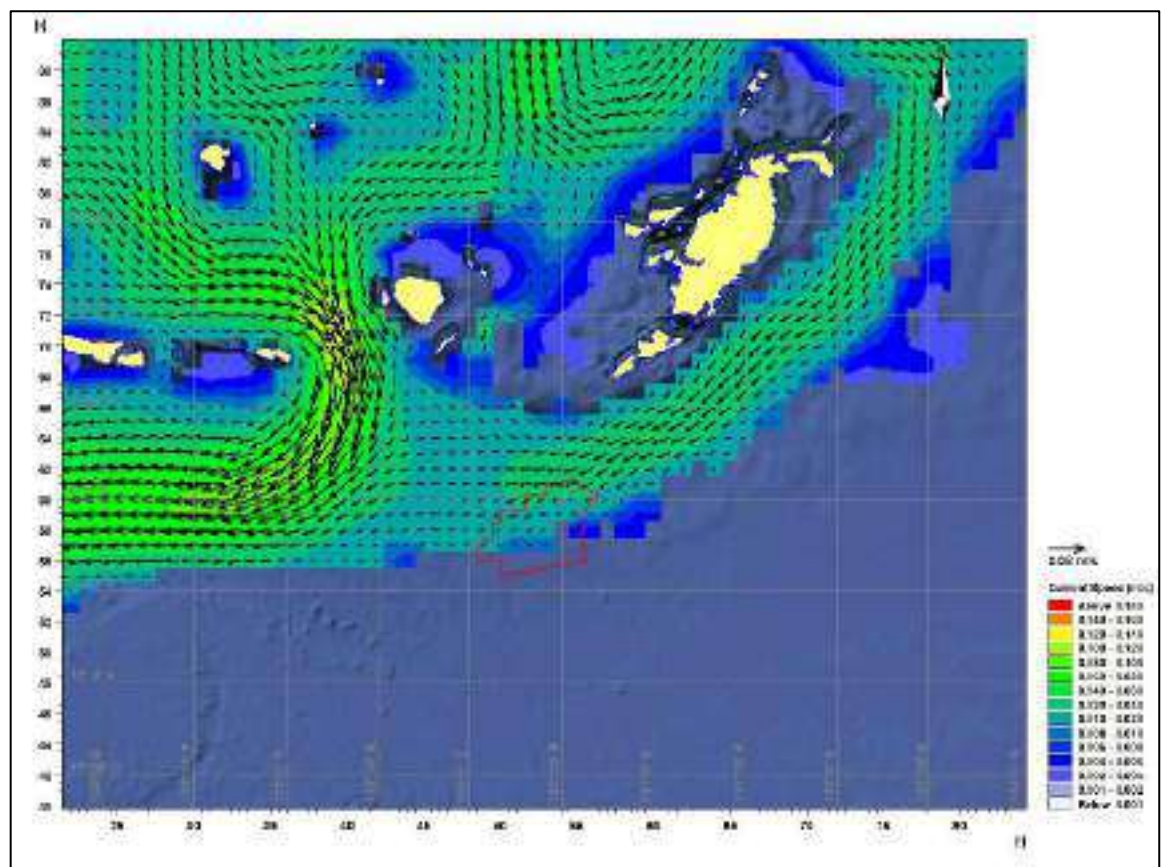
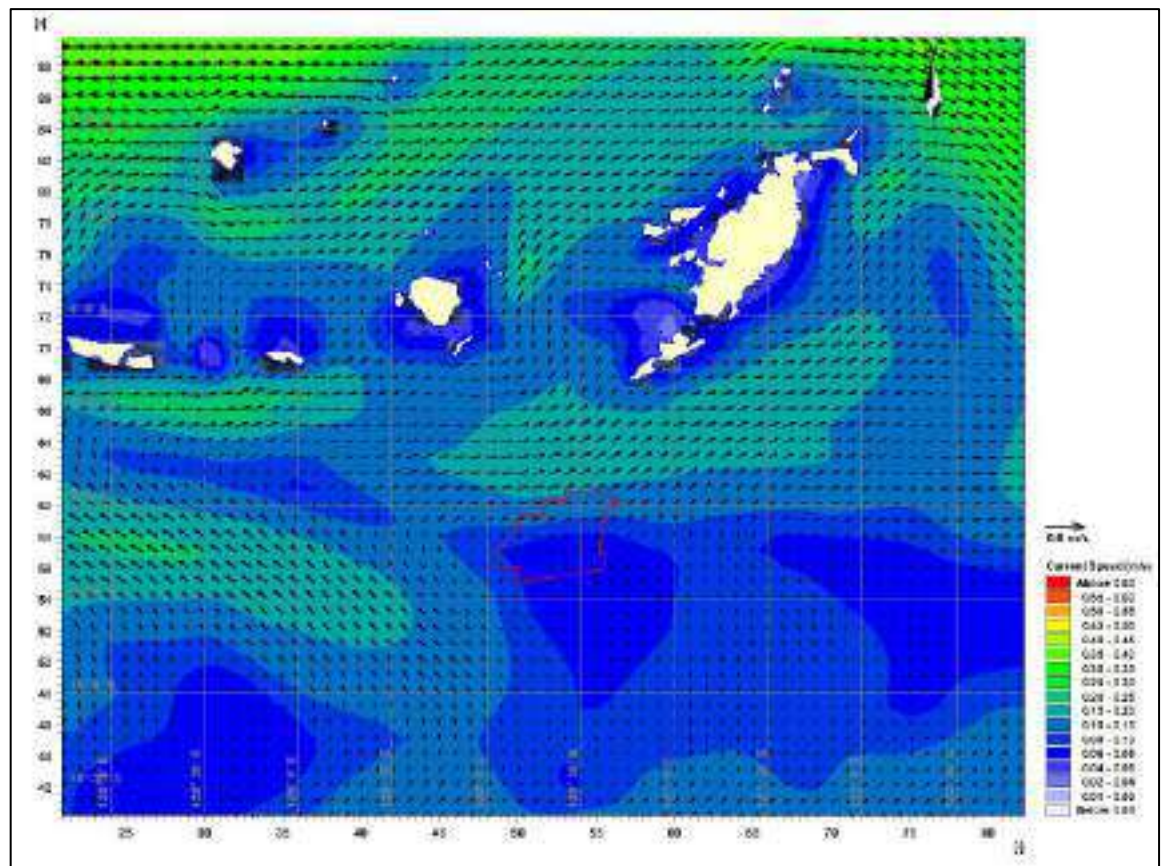
Gambar 12. Verifikasi pasang surut. (a) Stasiun pasut Saumlaki. (b) Stasiun Pasut FPSO

Pola arus hasil model tidak ditampilkan secara keseluruhan per lapisan kedalaman maupun tiap langkah waktu pemodelan, akan tetapi hanya ditampilkan arus rata-rata dari 15 hari simulasi di lapisan permukaan dan lapisan dekat dasar (lapisan dimana akan dilakukan pembuangan lumpur dan serbuk bor). Rata-rata pola arus lapisan permukaan dan dekat dasar kondisi Musim Barat, Peralihan I, Musim Timur dan Musim Peralihan II berturut-turut disajikan dalam **Gambar 13** hingga **Gambar 16**.

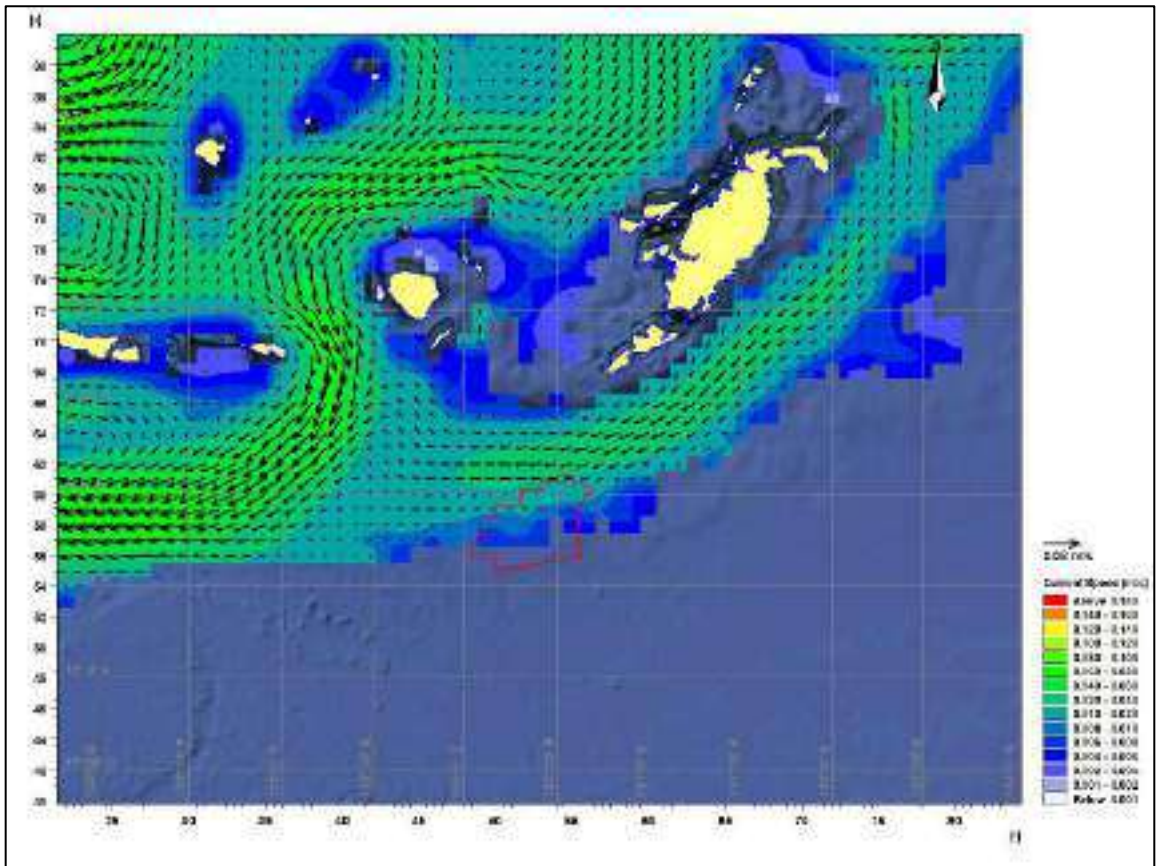
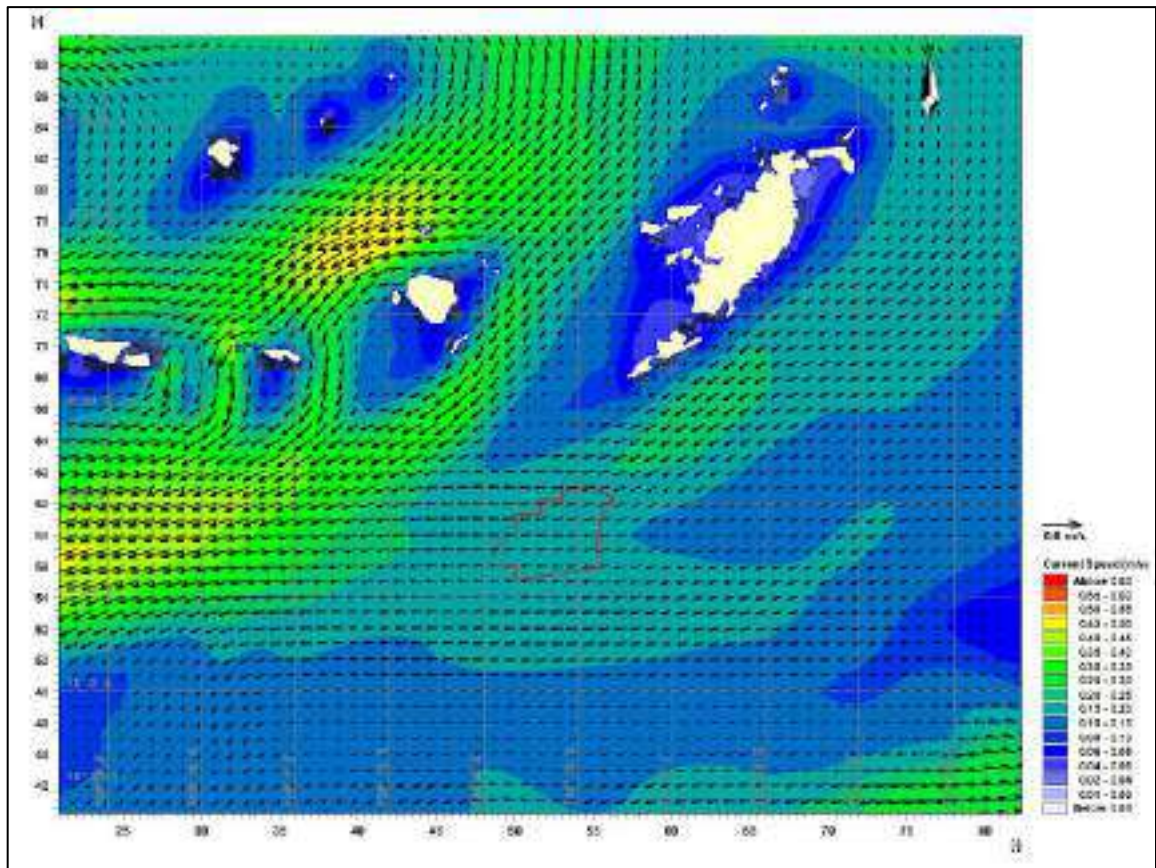
Secara umum dari keempat gambar tersebut terlihat karakter arah dan kecepatan arus di sekitar blok Masela cukup bervariasi baik dilihat secara musim maupun lapisan kedalaman. Kecepatan arus pada musim barat dan musim peralihan I di sekitar blok Masela terlihat lebih rendah dibandingkan pada musim timur dan musim peralihan II. Pada musim barat arah arus dominan sekitar blok Masela di lapisan permukaan (**Gambar 13** atas) bergerak ke arah timur laut hingga timur dengan kecepatan berkisar antara 0.06-0.15 m/det, sementara itu di lapisan dekat dasar (**Gambar 13** bawah) bergerak sebaliknya, yakni dominan ke barat daya dengan kecepatan 0.008-0.02 m/det. Pada musim peralihan I (**Gambar 14**) arah arus dominan baik lapisan permukaan maupun lapisan dekat dasar terlihat konsisten, yakni dominan ke arah barat daya. Kecepatan arus yang terlihat antara lapisan permukaan dan dasar cukup berbeda signifikan, yakni masing-masing berkisar antara 0.15-0.20 m/det dan 0.006-0.02 m/det.

Rata-rata arah dan kecepatan arus saat musim timur (**Gambar 15**) di lapisan permukaan dan lapisan dekat dasar terlihat sedikit ada perbedaan, yakni di lapisan permukaan arah arus dominan bergerak ke barat dengan kecepatan antara 0.15-0.4 m/det, sedangkan pada lapisan dekat dasar arah arus dominan menuju ke barat daya dengan kecepatan antara 0.01-0.04 m/det. Karakter arus rata-rata musim peralihan II (**Gambar 16**) cukup berbeda signifikan antara lapisan permukaan dan lapisan dekat dasar, dimana arah arus pada lapisan permukaan dominan ke barat daya, sebaliknya pada lapisan dekat dasar bergerak ke timur laut. Kecepatan arus yang terlihat pada lapisan permukaan dan dekat dasar juga berbeda signifikan, yakni pada lapisan permukaan kecepatan arus di dalam blok Masela berkisar antara 0.2-0.4 m/det, sedangkan pada lapisan dekat dasar 0.004-0.02 m/det.

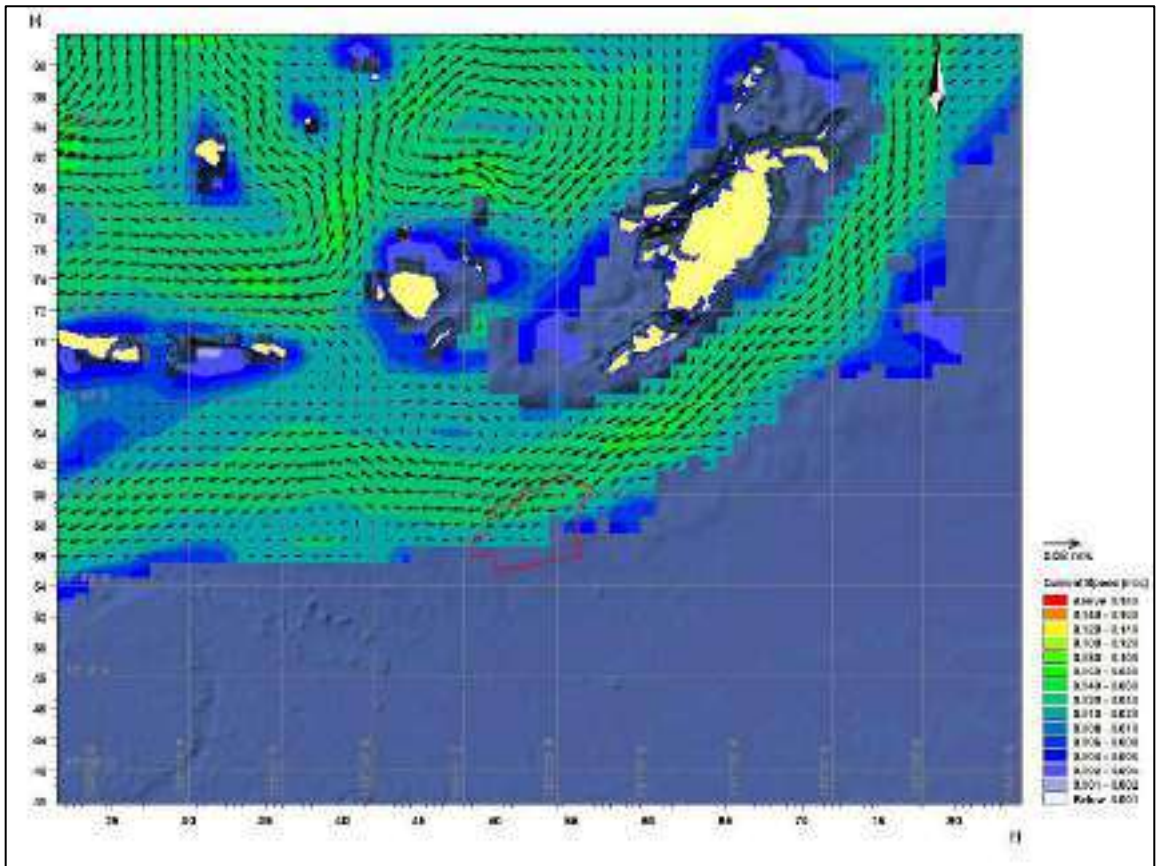
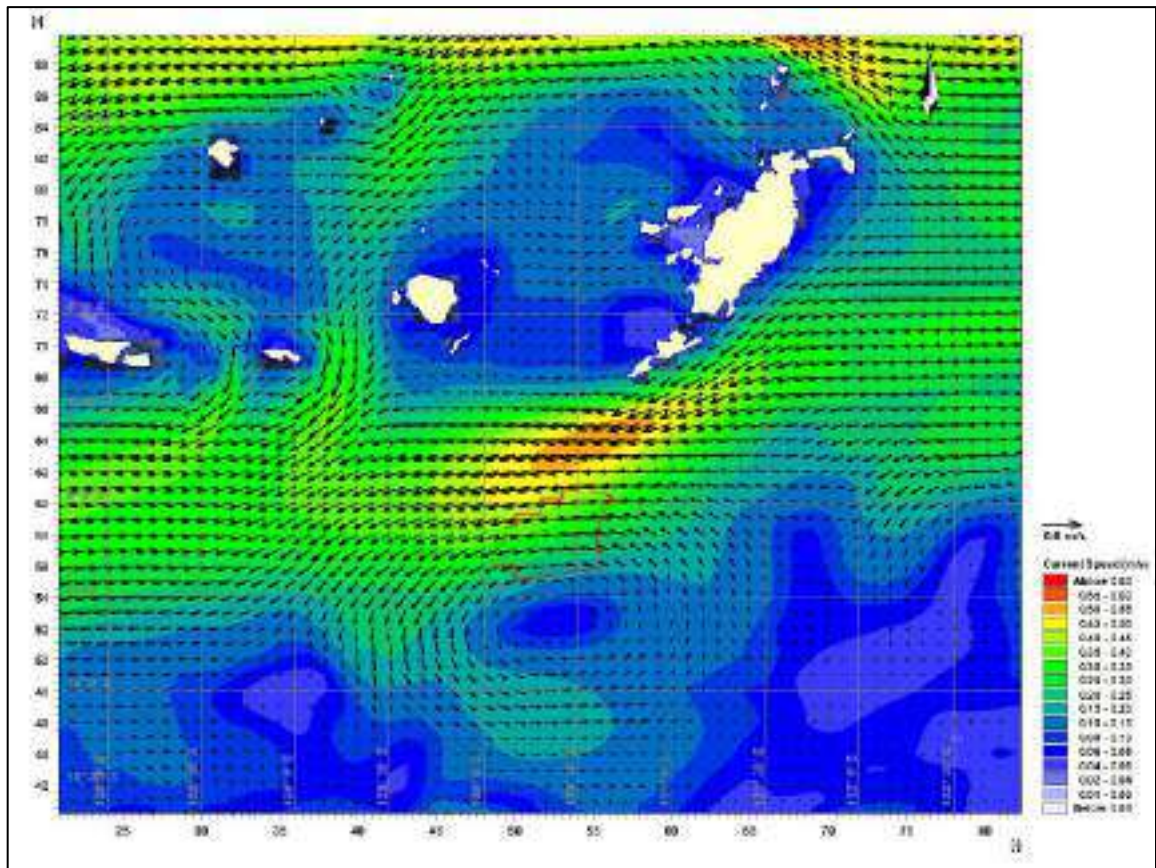
Secara keseluruhan karakter arah dan kecepatan arus di sekitar lokasi studi khususnya di dalam blok Masela cukup bervariasi baik secara musiman maupun lapisan kedalaman. Lokasi blok Masela berada di laut lepas atau berada di laut dalam, di laut dalam selain pola angin di atas permukaan laut, pola arah dan kecepatan arusnya juga dipengaruhi variasi densitas dan beda muka laut, sehingga karakter arusnya cukup bervariasi. Selain itu lokasi kajian juga berada di jalur ARLINDO (arus lintas Indonesia), sehingga karakter arusnya kemungkinan besar juga dipengaruhi oleh ARLINDO.



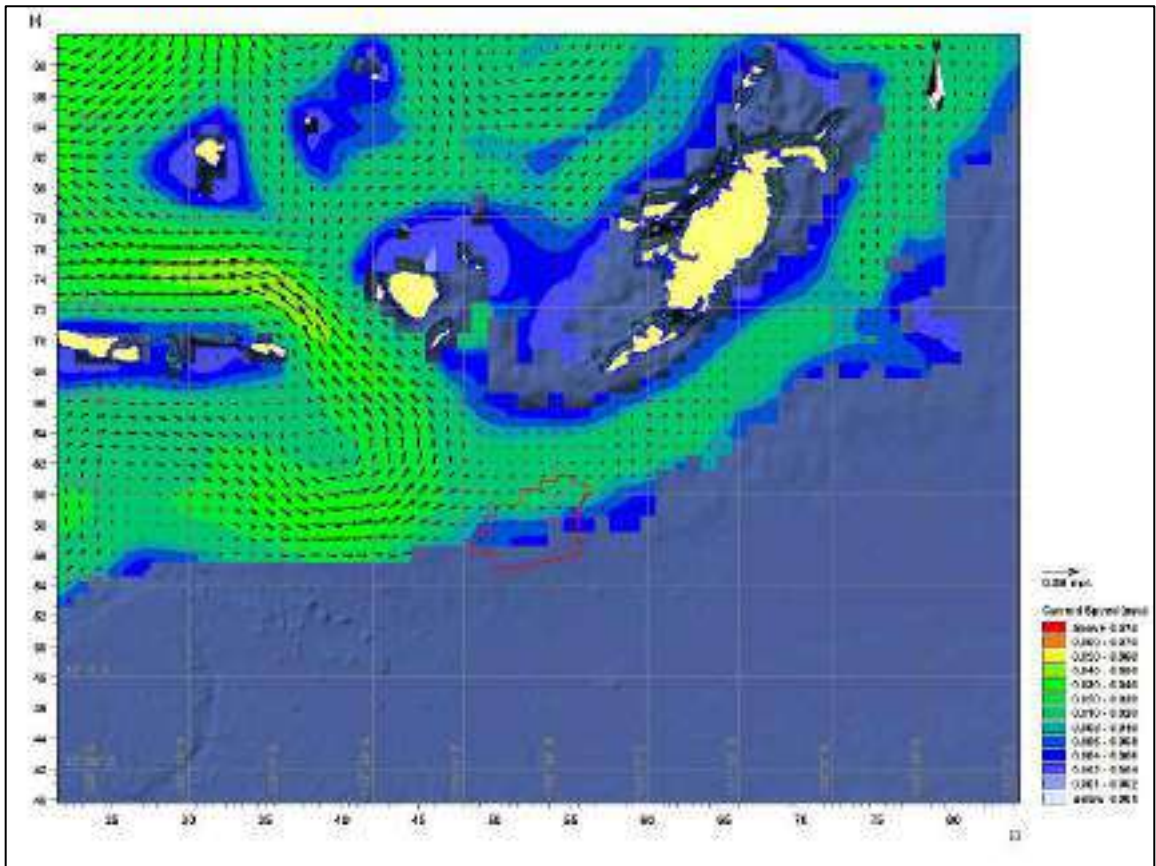
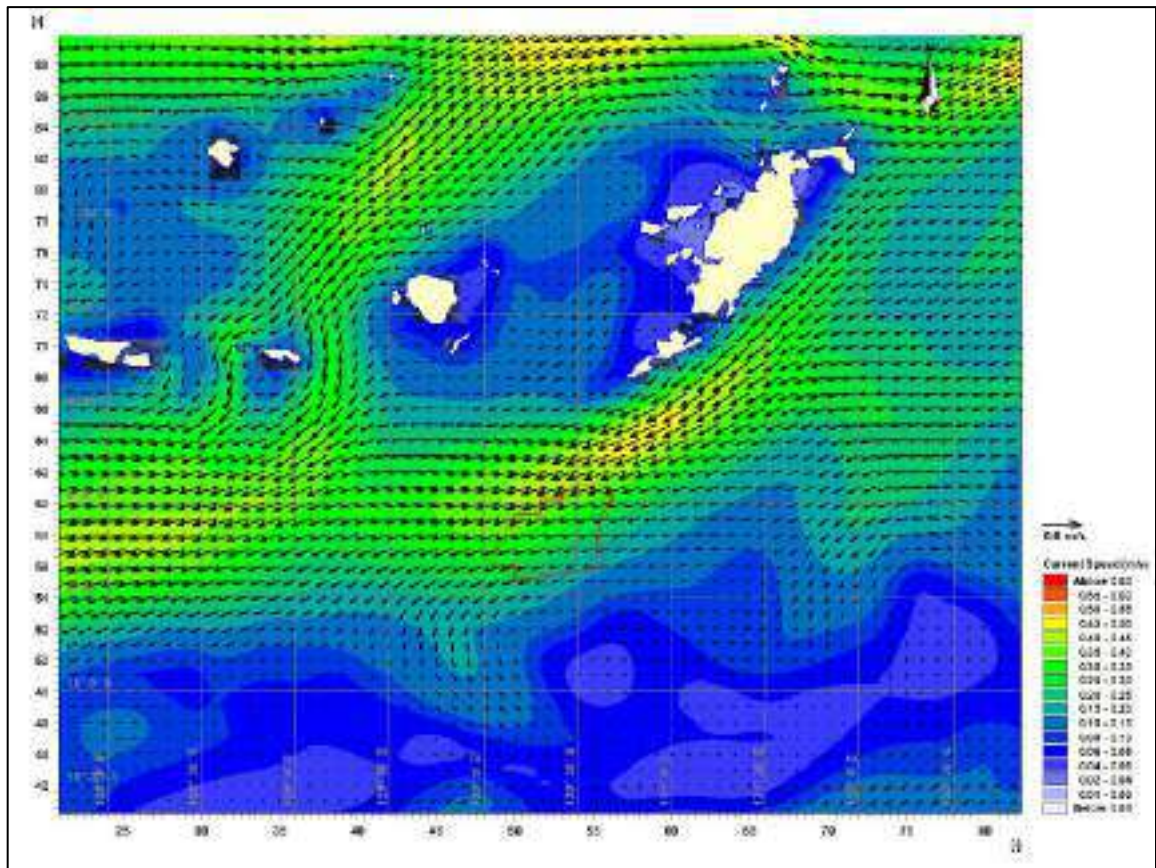
Gambar 13. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan Januari (Musim Barat)



Gambar 14. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan April (Musim Peralihan I)



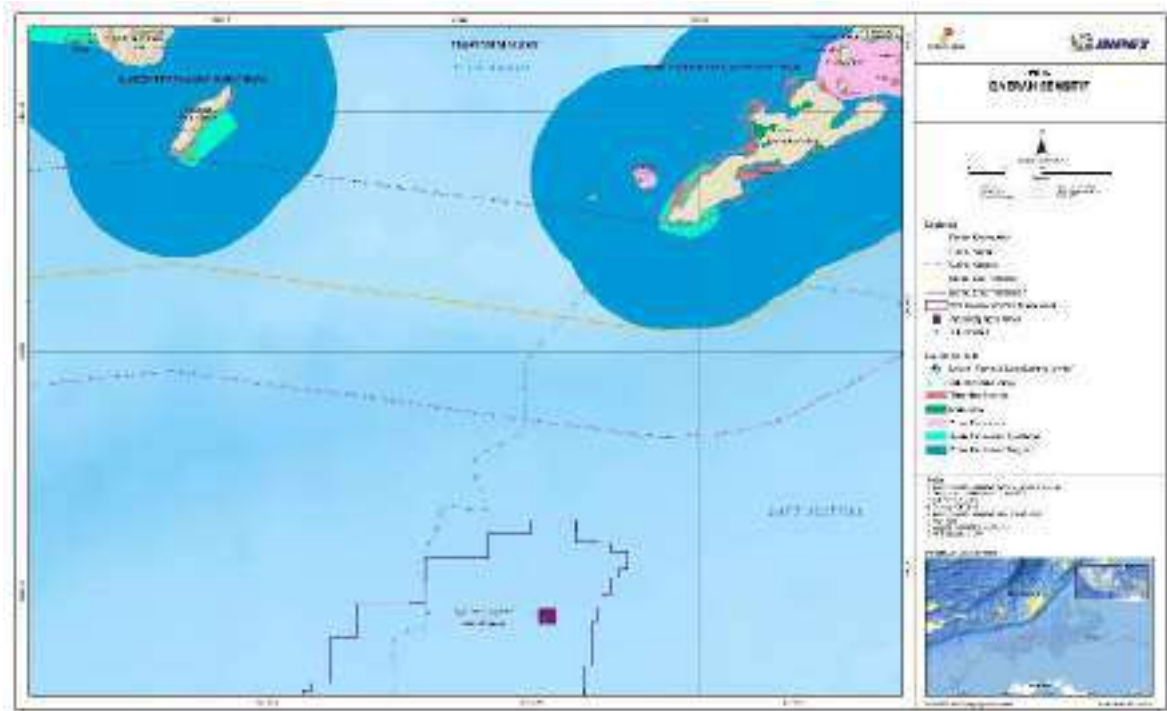
Gambar 15. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan Agustus (Musim Timur)



Gambar 16. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan Oktober (Musim Peralihan II)

4. AREA SENSITIF

Lokasi rencana pembuangan air limbah FPSO berada di laut lepas yang jaraknya tergolong jauh dari daratan. Identifikasi area sensitif sekitar aktivitas FPSO disajikan dalam peta yang diperlihatkan dalam **Gambar 17**, sementara jarak titik buangan terhadap area sensitif tersebut ditampilkan dalam **Tabel 7**



Gambar 17. Area sensitif sekitar aktivitas FPSO

Tabel 7. Jarak area sensitif dengan titik buangan aktivitas FPSO

No	Peruntukan Laut	Jarak Terdekat dari Titik Pembuangan Air Limbah (Km)					Keterangan
		DP-1	DP-2	DP-3	DP-4	DP-5	
1.	Kawasan suaka alam laut	-	-	-	-	-	sampai dengan radius 165 Km tidak dijumpai
2.	Kawasan konservasi laut	-	-	-	-	-	sampai dengan radius 165 Km tidak dijumpai
3.	Taman nasional laut	-	-	-	-	-	sampai dengan radius 165 Km tidak dijumpai
4.	Taman wisata alam	-	-	-	-	-	sampai dengan radius 165 Km tidak dijumpai
5.	Sempadan pantai	87.0	87.0	87.0	87.0	87.0	Pulau Selaru
6.	Kawasan terumbu karang	85.9	85.9	85.9	85.9	85.9	Pulau Selaru
7.	Kawasan mangrove	102.3	102.3	102.3	102.3	102.3	Pulau Selaru
8.	Kawasan padang lamun	-	-	-	-	-	sampai dengan radius 165 Km tidak dijumpai
9.	Kawasan budidaya perikanan	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	Pulau Selaru
10.	Kawasan pembuatan garam rakyat	-	-	-	-	-	sampai dengan radius 165 Km tidak dijumpai
11.	Kawasan pemijahan dan pembiakan (<i>Spawning & Nursery</i>)	-	-	-	-	-	sampai dengan radius 165 Km tidak dijumpai

5. PARAMETER KUNCI DAN SEBARAN AIR LIMBAH

5.1. Parameter Kunci

Limbah cair dari kegiatan FPSO yang dibuang di perairan laut bersumber dari beberapa proses, yakni *produce water*, *brine water*, *sea cooling water*, *sewage/domestic wastewater* dan *clean water from slop tank*. Keseluruhan limbah tersebut setelah melalui proses *treatment* dibuang melalui 5 (lima) titik outlet sekaligus menjadi titik buangan (outfall). Titik koordinat beserta masing-masing debit dari kelima titik tersebut disajikan dalam **Tabel 8**. Parameter limbah yang menjadi parameter kunci dalam kajian ini terdiri dari 8 parameter, yakni minyak dan lemak, TPH, klorin residu, suhu, salinitas, TSS, BTEX dan klorin bebas. Untuk skenario terburuk nilai konsentrasi dari masing-masing parameter yang digunakan sebagai input pemodelan adalah nilai tertinggi (nilai baku mutu). Parameter beserta konsentrasi yang digunakan sebagai input pemodelan disajikan dalam **Tabel 9**

Tabel 8. Koordinat titik penataan sekaligus titik buangan beserta masing-masing debit di FPSO

No	Bujur	Lintang	Kode	Jenis Titik	Sumber Limbah	Debit [m ³ /jam]	Kedalaman Pipa Pe
1	130° 31' 33.8"E	9° 5' 40.8"S	DP-1	Titik Buangan	<i>Produce Water</i>	106	12 m
2	130° 31' 34.3"E	9° 5' 41.0"S	DP-2	Titik Buangan	<i>Brine water</i>	60	12 m
3	130° 31' 34.1"E	9° 5' 40.9"S	DP-3	Titik Buangan	<i>Sea cooling water</i>	47394	12 m
4	130° 31' 37.8"E	9° 5' 42.2"S	DP-4	Titik Buangan	<i>Sewage/Domestic wastewater</i>	2.4	12 m
5	130° 31' 34.0"E	9° 5' 40.9"S	DP-5	Titik Buangan	<i>Clean Water from slop tank</i>	430	12 m

Catatan: limbah dari Clean Water from slop tank di buang secara intermittent → Asumsi dalam satu hari terjadi sekali buangan dengan durasi selama 2 jam

Tabel 9. Parameter dan konsentrasi limbah yang keluar dari masing-masing titik buangan

No	Parameter	Konsentrasi di Titik buangan				
		DP-1	DP-2	DP-3	DP-4	DP-5
1	Minyak dan lemak [mg/l]	50	-	-	-	50
2	TPH (mg/l)	50	-	-	-	-
3	Residu klorin [mg/l]	-	-	-	2	-
4	Temperature [°C]	-	-	40	-	-
5	Salinitas [psu]	-	46	-	-	-
6	TSS [mg/l]	50	-	-	-	-
7	BTEX	20	-	-	-	-
8	Klorin bebas	-	-	0.2	-	-

5.2. Sebaran Air Limbah

Hasil model sebaran limbah tidak disajikan secara keseluruhan selama simulasi model, akan tetapi hanya disajikan kondisi maksimum (*worst case*) dari lama simulasi. Perlu diperhatikan bahwa nilai awal (*initial condition*) parameter yang dimodelkan di dalam badan air penerima di anggap nol, hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai peningkatan konsentrasi limbah setelah masuk ke badan air tanpa bercampur dengan kondisi lingkungan, sehingga konsentrasi limbah hasil model merupakan nilai penambahan yang disebabkan oleh buangan limbah FPSO.

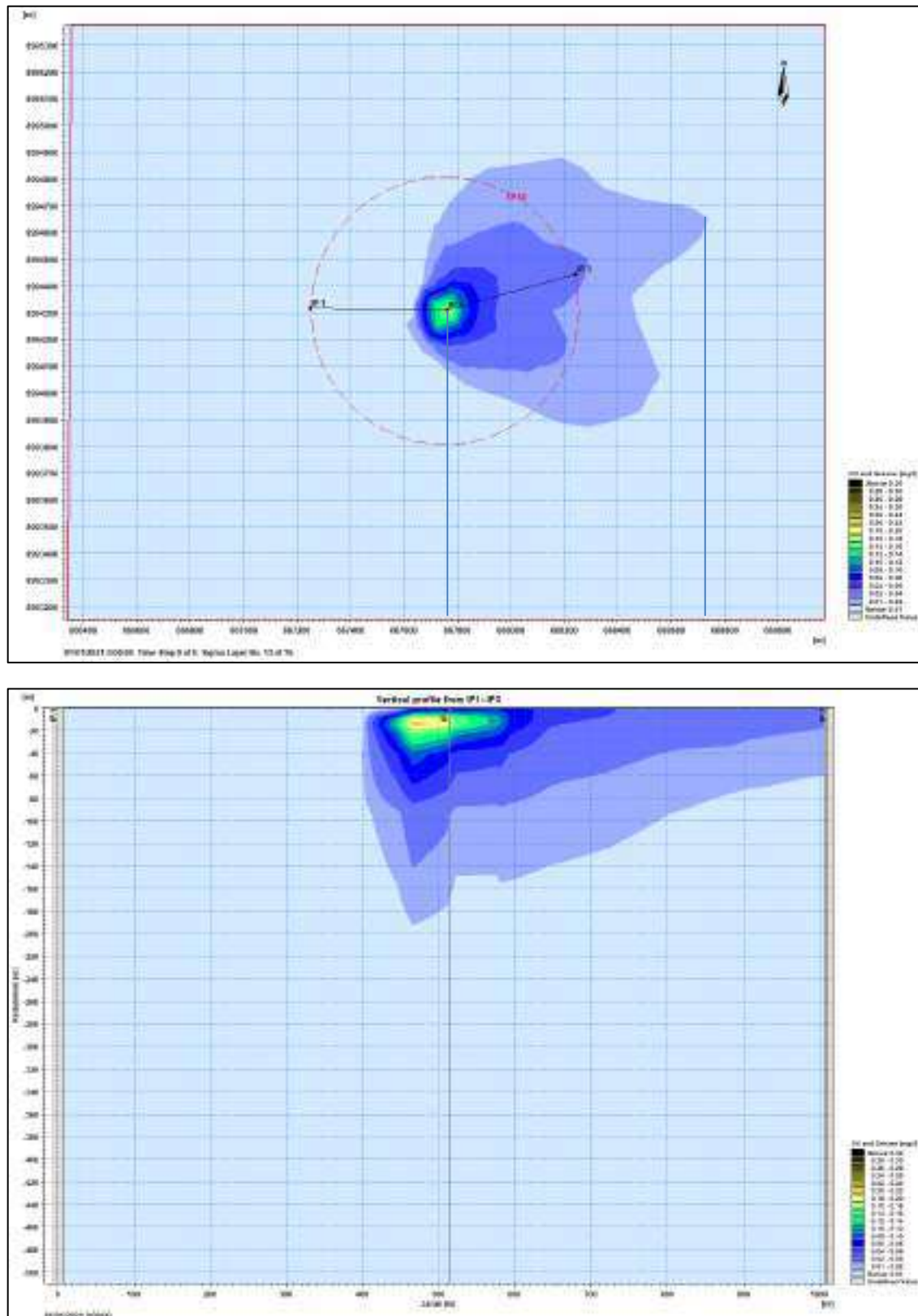
Hasil model pola sebaran dan konsentrasi maksimum minyak dan lemak, TPH, klorin residu, delta suhu, salinitas, TSS, BTEX dan klorin bebas berturut-turut disajikan dalam **Gambar 18** hingga **Gambar 49**. Secara umum berdasarkan keseluruhan gambar tersebut terlihat arah sebaran limbah hanya bergerak mengikuti arus dominan, yakni ketika musim barat dominan ke timur laut hingga timur, sementara pada musim peralihan I, musim timur dan musim peralihan II dominan ke barat hingga barat daya. Arah sebaran tersebut berlaku pada keseluruhan parameter yang disimulasikan. Meskipun arah sebaran limbah jika dilihat berdasarkan musim terlihat sama, akan tetapi peningkatan konsentrasi pada masing-masing parameter dan musim terlihat bervariasi. Umumnya peningkatan konsentrasi limbah lebih tinggi terjadi pada musim barat dan peralihan I, sementara pada musim timur dan peralihan II terlihat lebih rendah.

Peningkatan konsentrasi minyak dan lemak maksimum pada musim barat (**Gambar 18**) paling tinggi dibandingkan dengan ketiga musim lainnya, yakni maksimum mencapai 0,22 mg/l. Pada musim peralihan I (**Gambar 19**) sedikit lebih rendah, yakni tertinggi sekitar 0,14 mg/l, sedangkan pada musim timur (**Gambar 20**) dan peralihan II (**Gambar 21**) terlihat sama, yakni maksimum mencapai 0,04 mg/l. Baku mutu minyak dan lemak berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk biota laut adalah sebesar 1 mg/l, artinya hasil model peningkatan konsentrasi minyak dan lemak maksimum masih lebih rendah dari ketentuan baku mutu. Hasil analisis sampel air laut (rona awal) dari sembilan stasiun sekitar lokasi buangan juga menunjukkan nilai yang tergolong kecil, yakni < 0,2 mg/l (di bawah deteksi limit). Jika dijumlahkan antara konsentrasi minyak dan lemak hasil model dan kondisi rona awal, maka nilainya masih tergolong kecil (di bawah baku mutu). Artinya pembuangan limbah minyak dan lemak ke laut dari aktivitas FPSO tidak menyebabkan peningkatan hingga melebihi baku mutu.

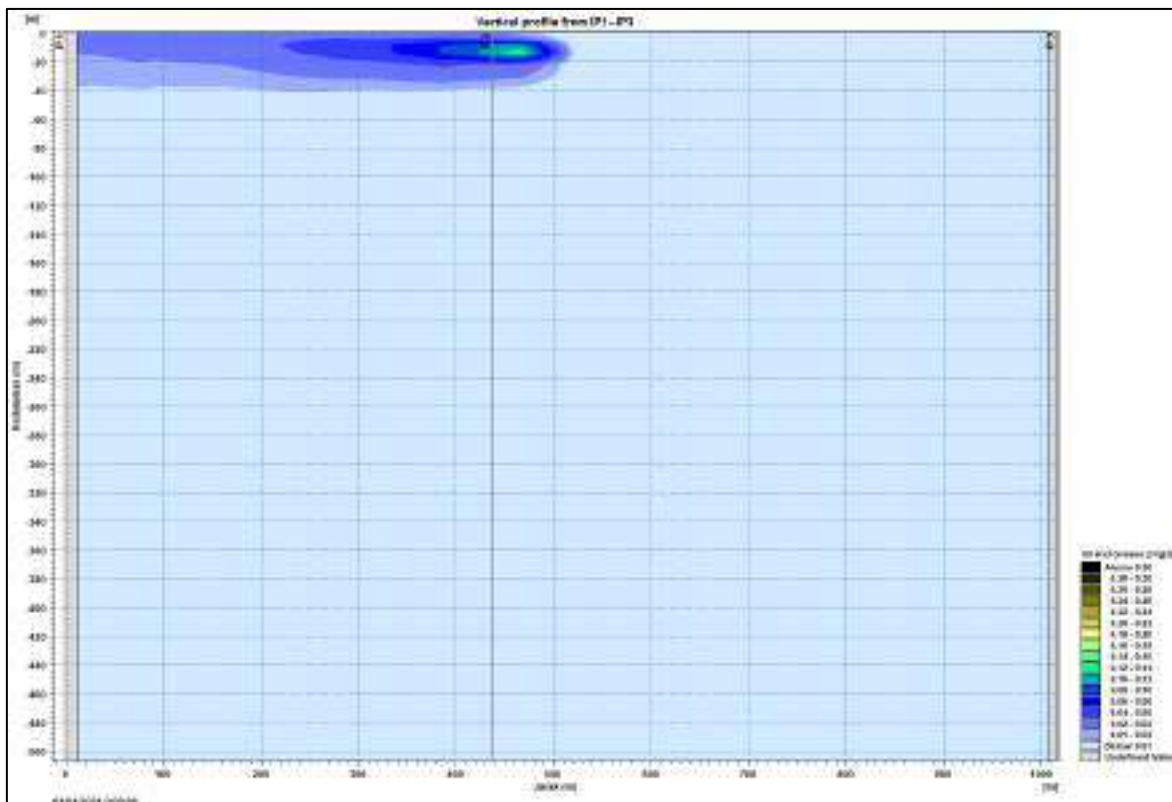
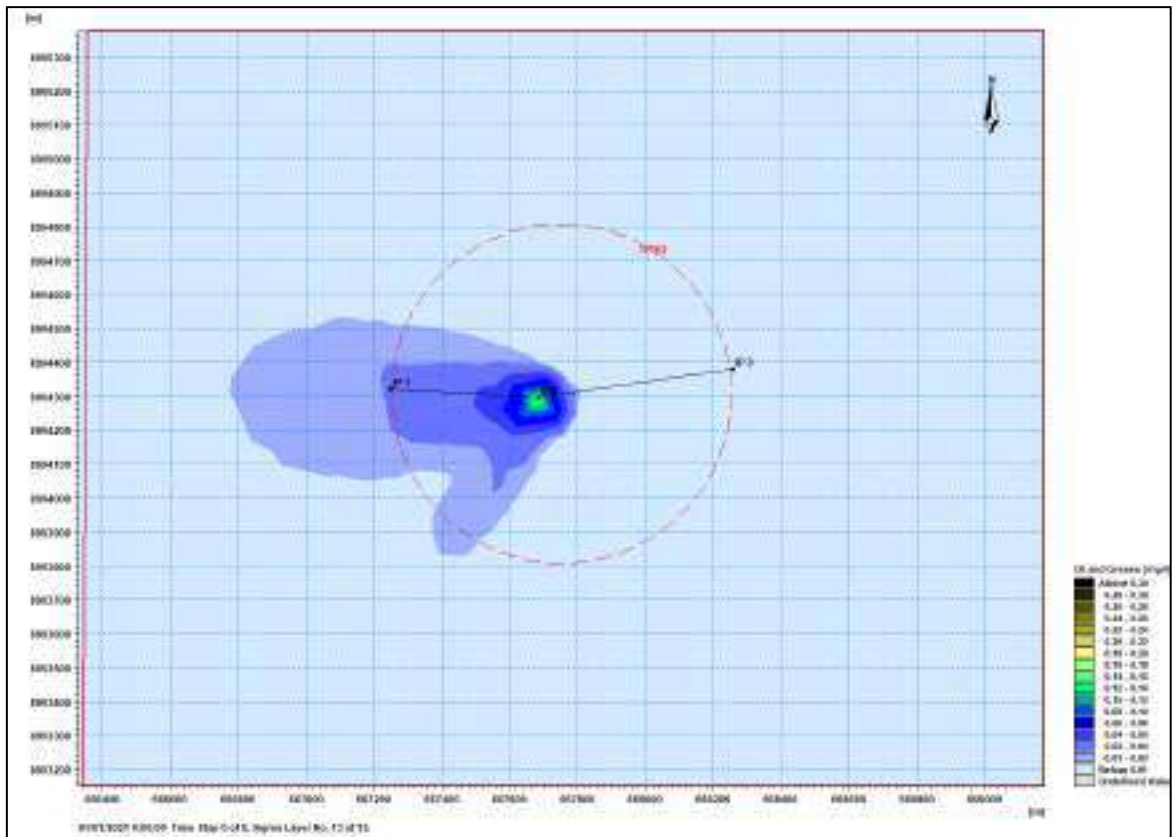
Hasil model peningkatan konsentrasi TPH pada keseluruhan musim tergolong tinggi bila dibandingkan dengan baku mutu, pada musim barat (**Gambar 22**) peningkatan konsentrasi tertinggi mencapai 0,11 mg/l, musim peralihan I (**Gambar 23**) mencapai 0,04 mg/l, sedangkan pada musim timur (**Gambar 24**) dan peralihan II (**Gambar 25**) mencapai 0,03 mg/l. Baku mutu TPH berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII adalah sebesar 0,02 mg/l, sehingga konsentrasi maksimum TPH keseluruhan musim tersebut terlihat lebih dari baku mutu. Jarak sebaran konsentrasi TPH yang melebihi baku mutu tersebut terlihat tidak jauh dari pusat buangan, dimana pada musim barat menyebar hingga radius 130 m, pada musim peralihan I dan timur mencapai 164 m, sedangkan pada musim peralihan II mencapai 100 m.

Peningkatan konsentrasi residu klorin maksimum setelah masuk ke perairan tergolong rendah, dimana konsentrasi tertinggi yang terlihat saat musim barat (**Gambar 26**) hanya mencapai 0,00009 mg/l, sedangkan ketiga musim lainnya (**Gambar 27** hingga **Gambar 29**) hanya mencapai 0,00003 mg/l. Baku mutu air laut berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII tidak mempersyaratkan parameter klorin, baik peruntukan untuk pelabuhan maupun untuk biota air. Menurut Hutomo dan Arinardi (1992) kandungan klorin sebesar 0,25-0,75 mg/l dapat mengakibatkan kematian zooplankton hingga 50%, sementara pada konsentrasi 0,5-5 mg/l akan mengakibatkan kematian sekitar 85-100%.

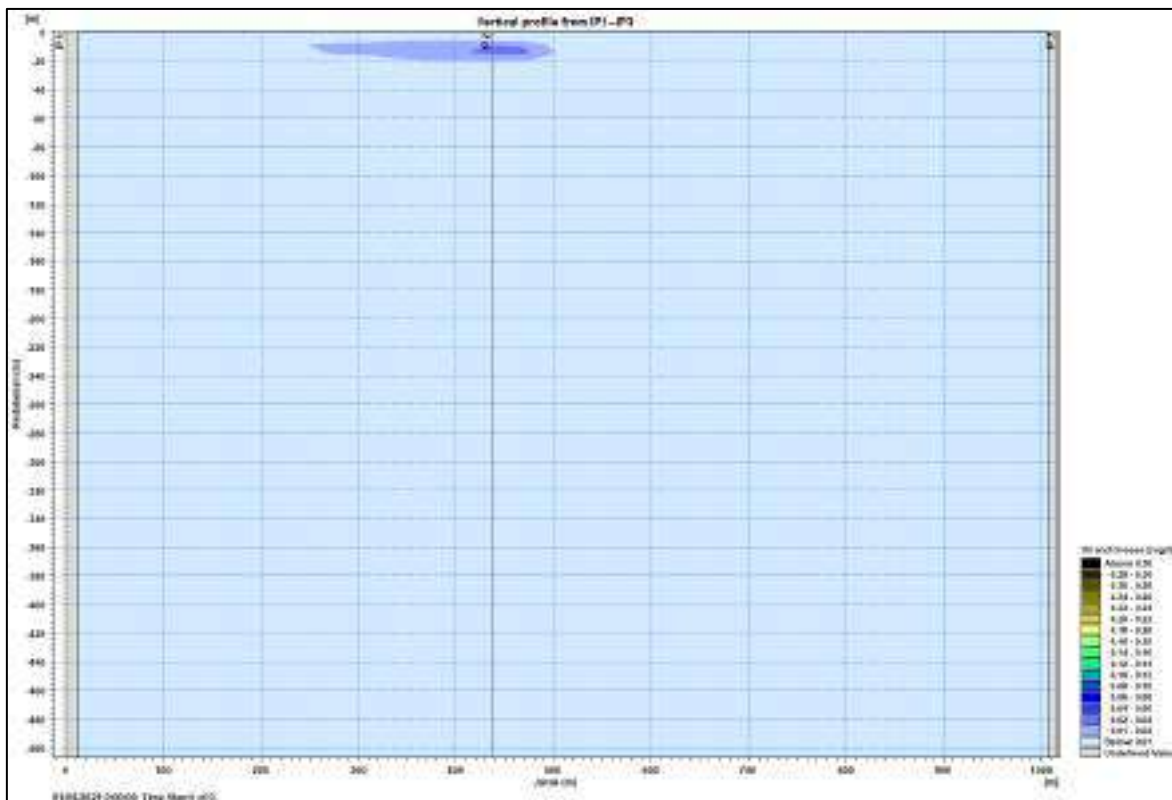
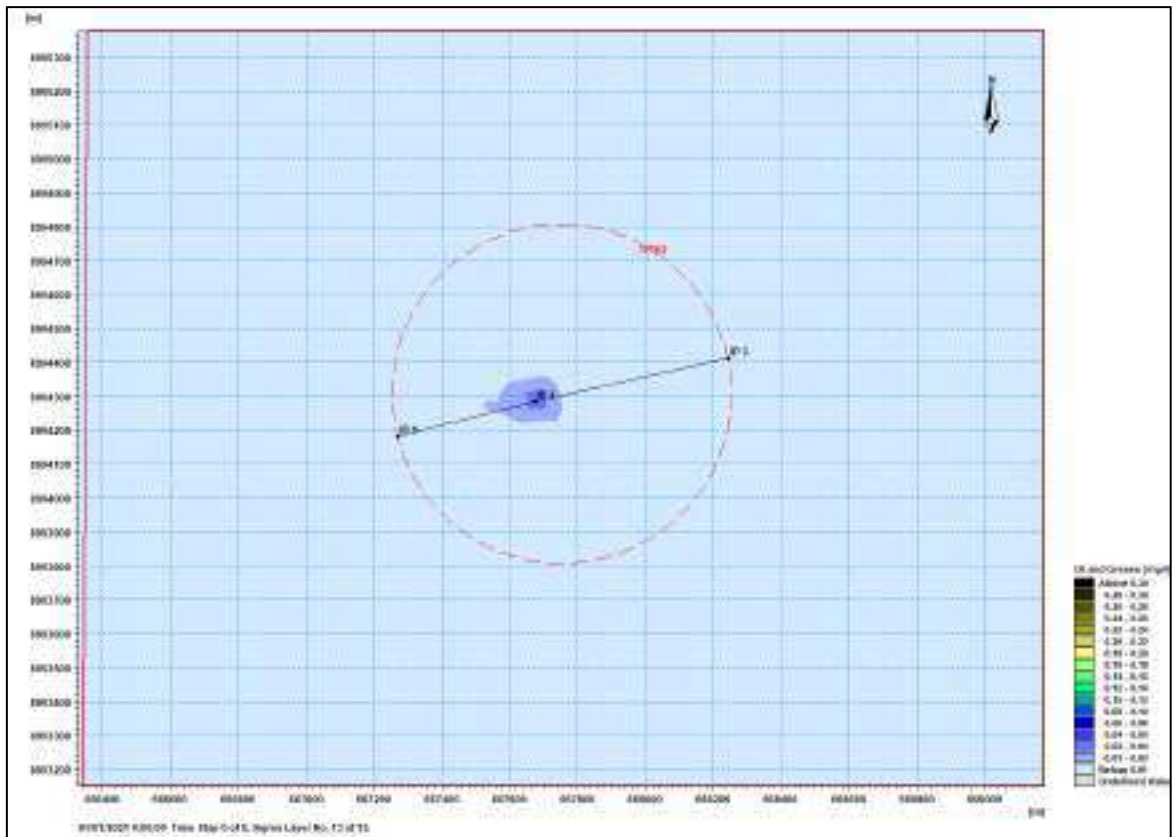
Dengan demikian buangan limbah residu klorin dari kegiatan FPSO tidak berdampak signifikan terhadap lingkungan perairan.



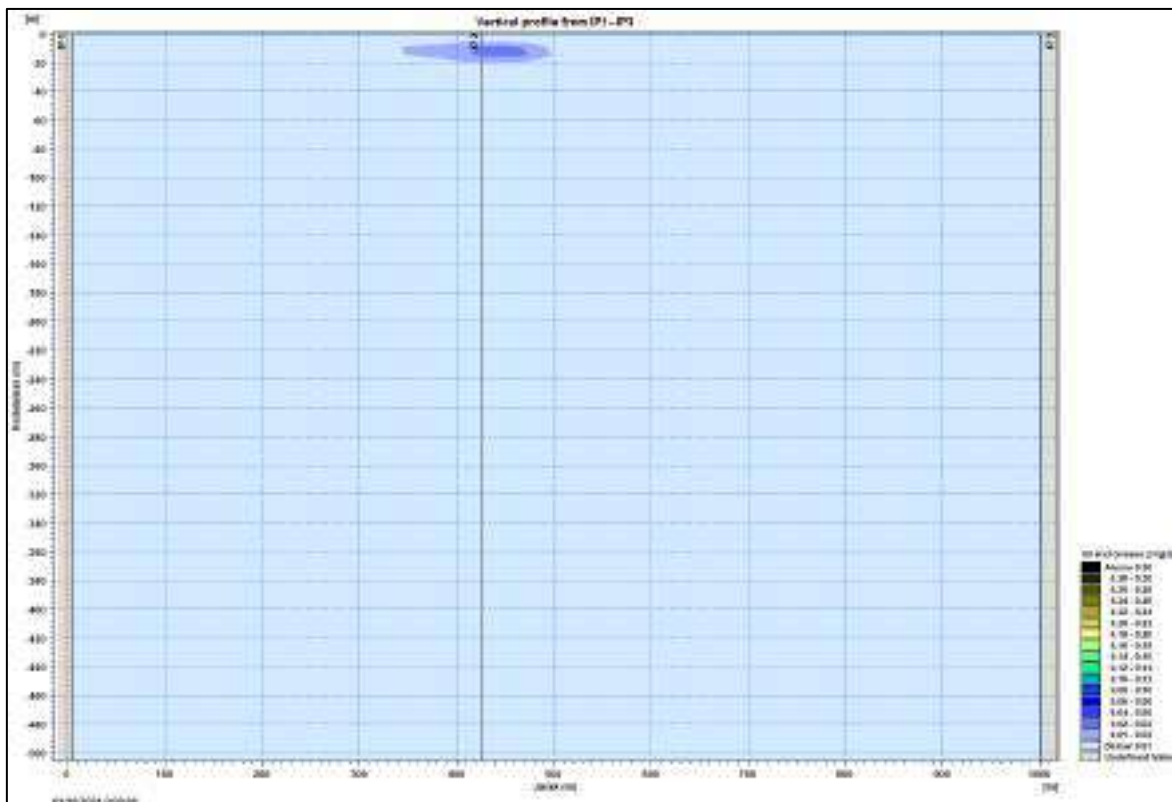
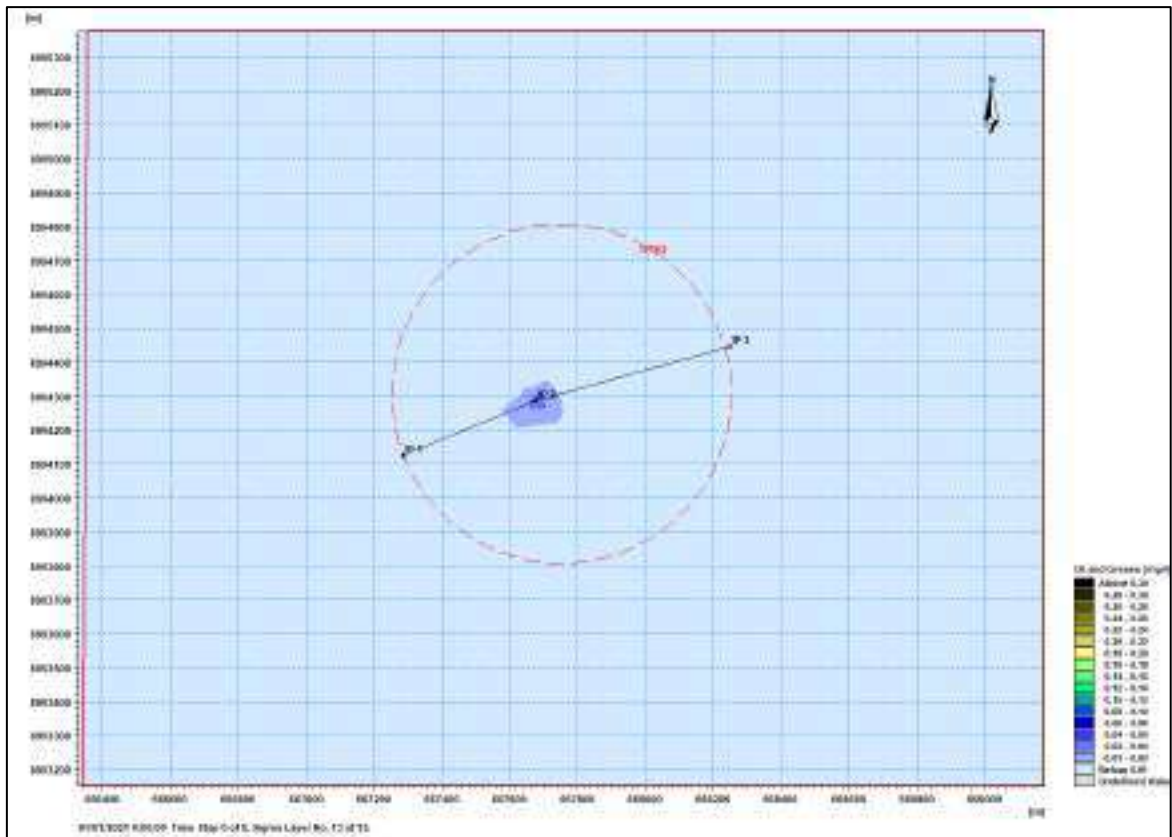
Gambar 18. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) minyak dan lemak maksimum hasil simulasi musim barat



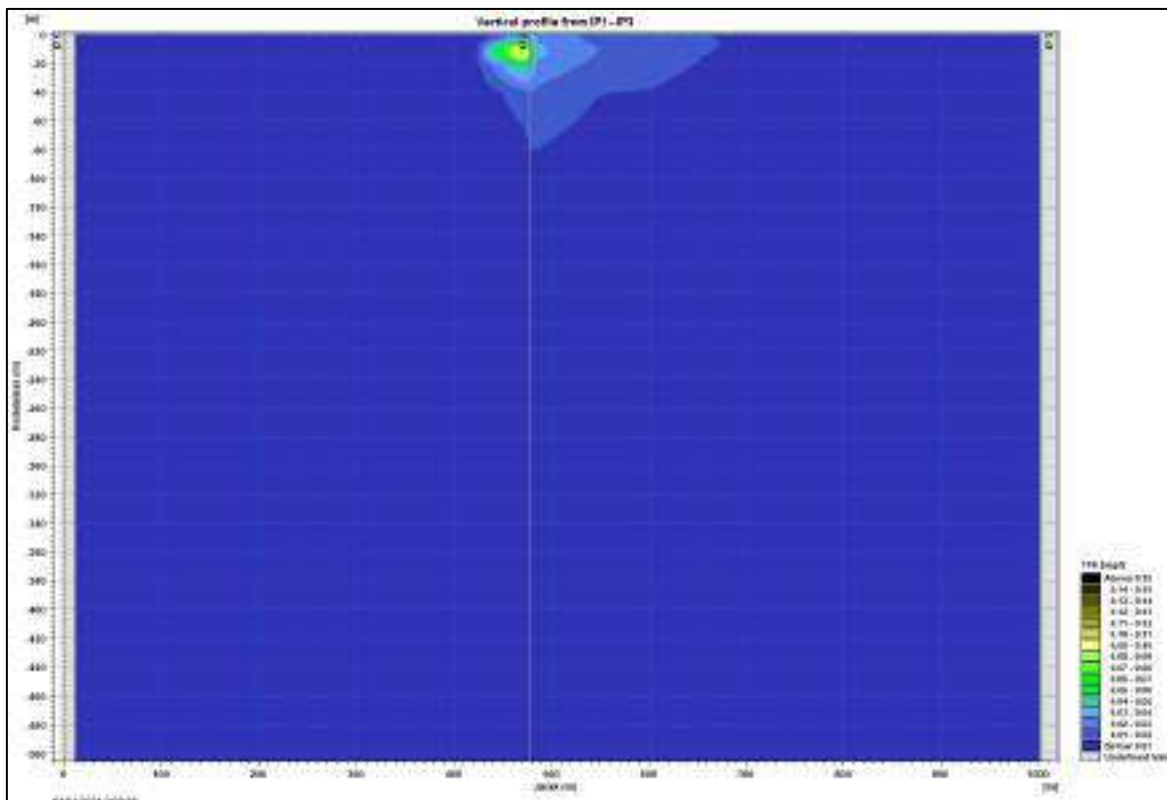
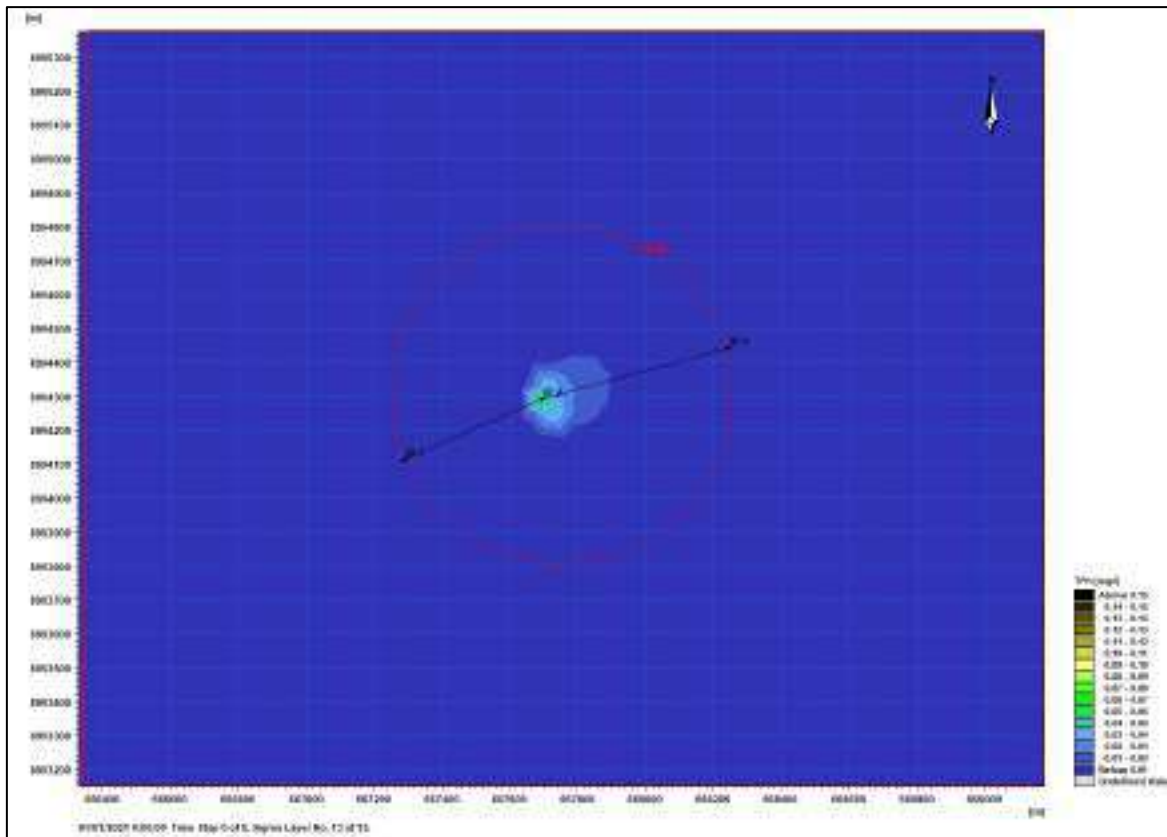
Gambar 19. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) minyak dan lemak maksimum hasil simulasi musim peralihan I



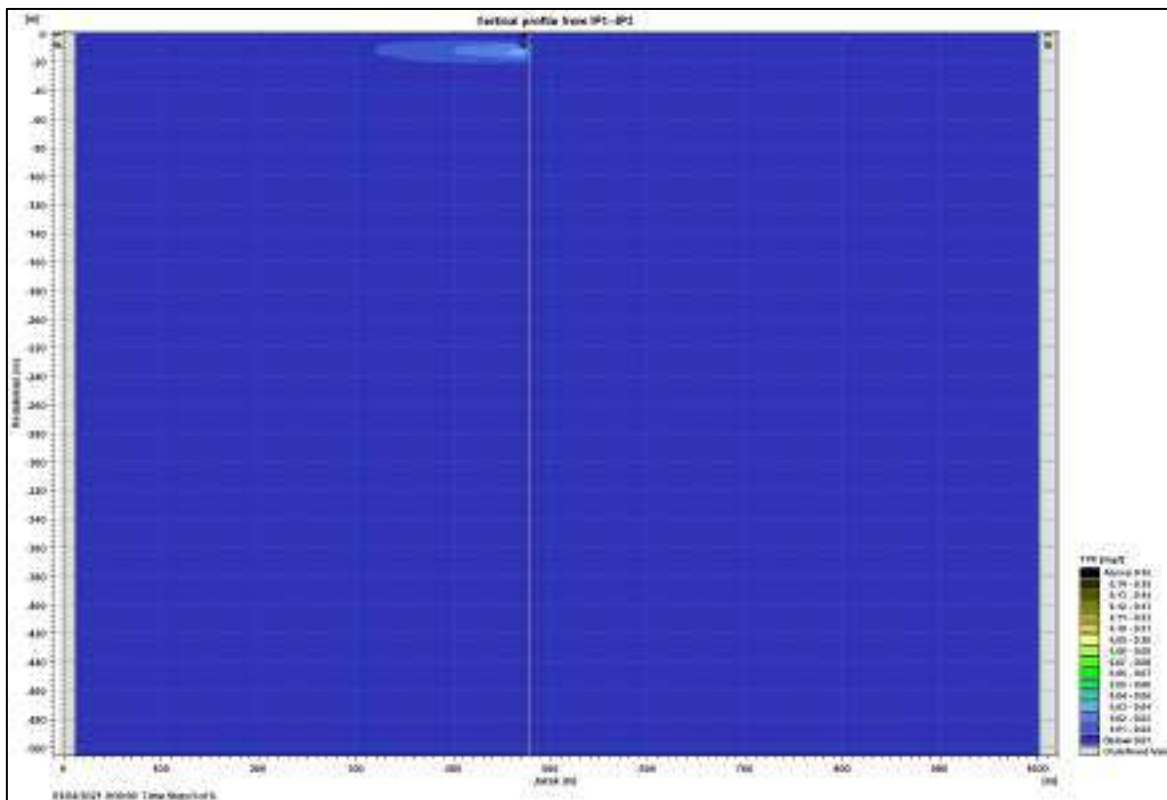
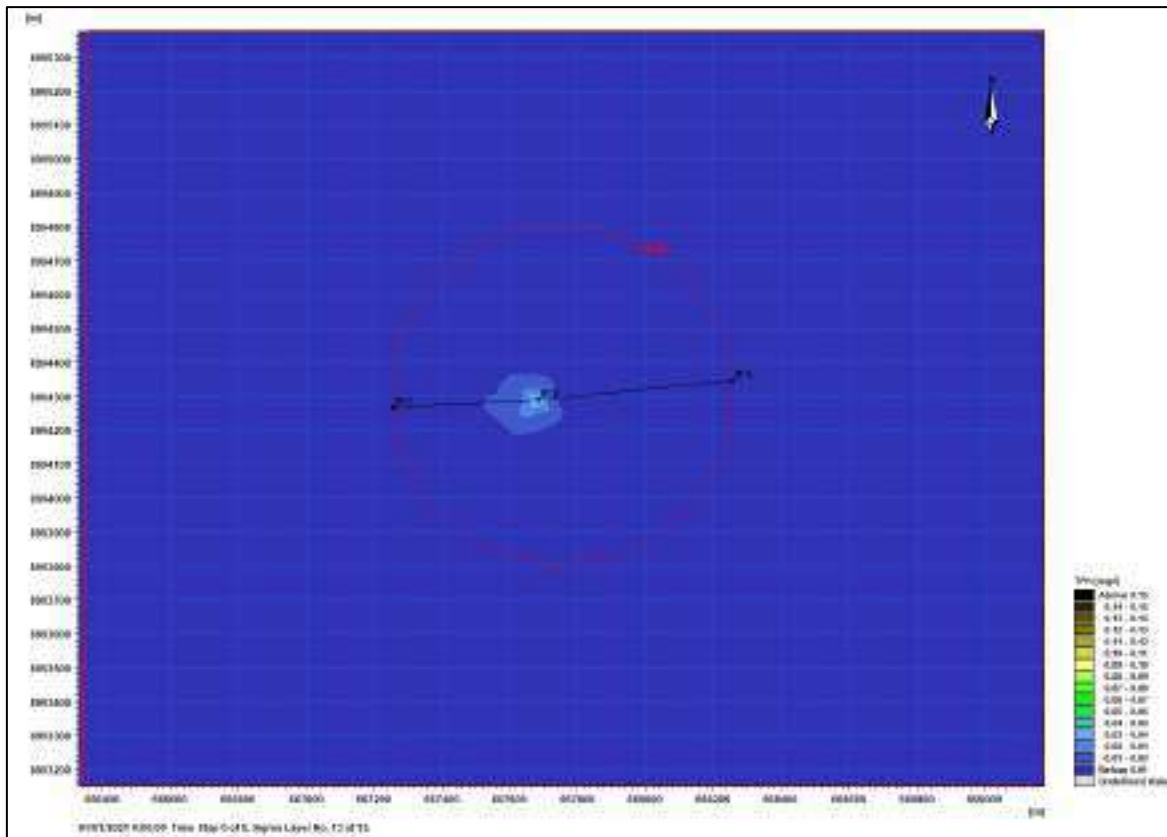
Gambar 20. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) minyak dan lemak maksimum hasil simulasi musim timur



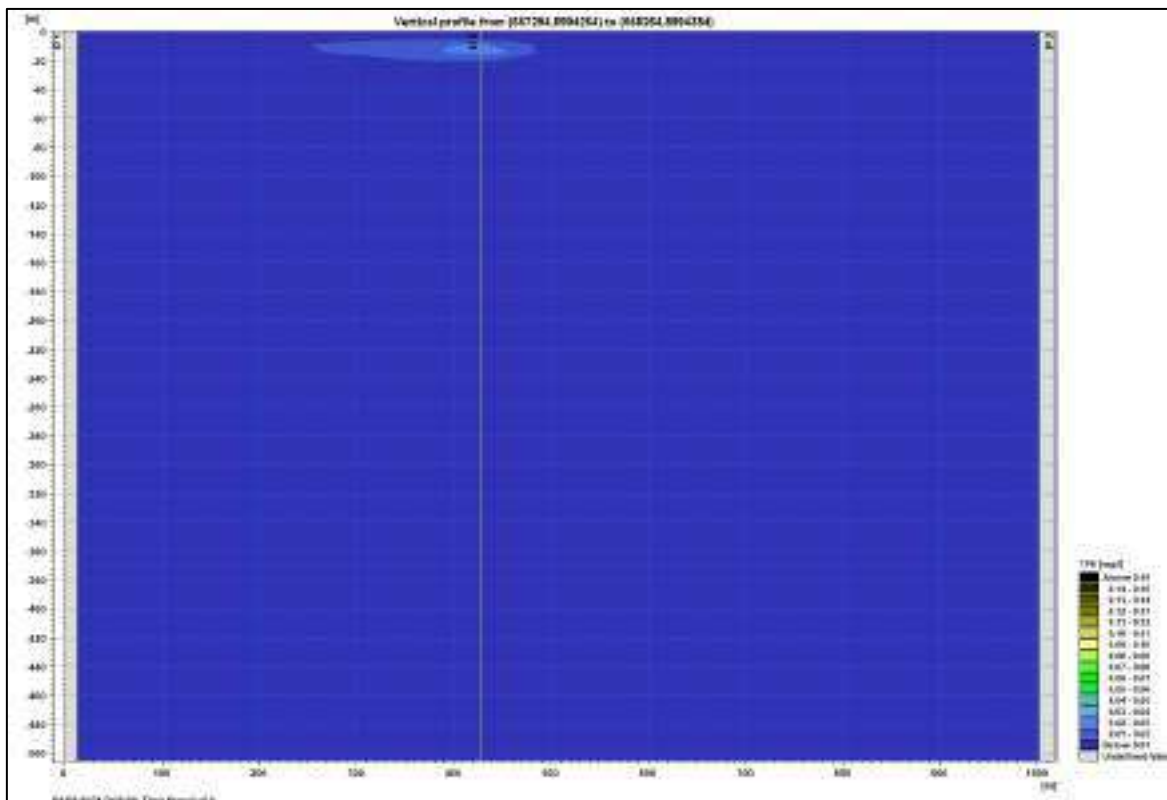
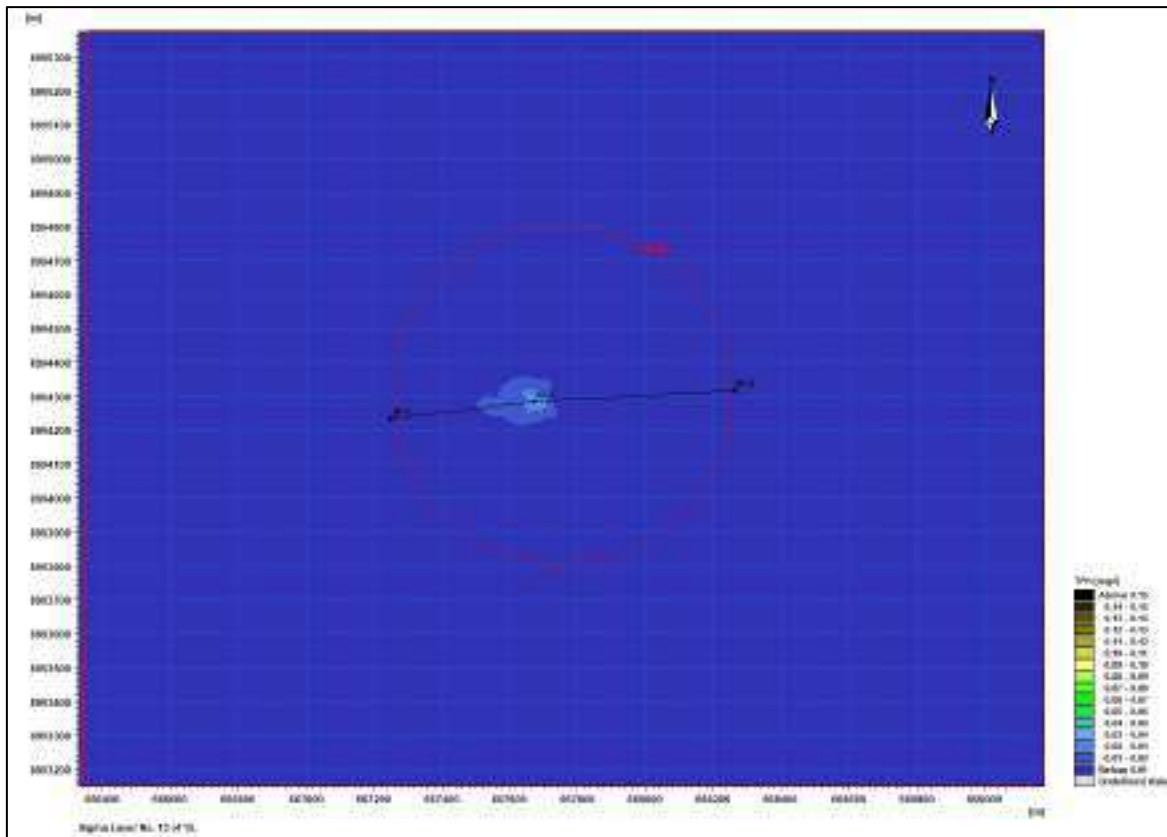
Gambar 21. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) minyak dan lemak maksimum hasil simulasi musim peralihan II



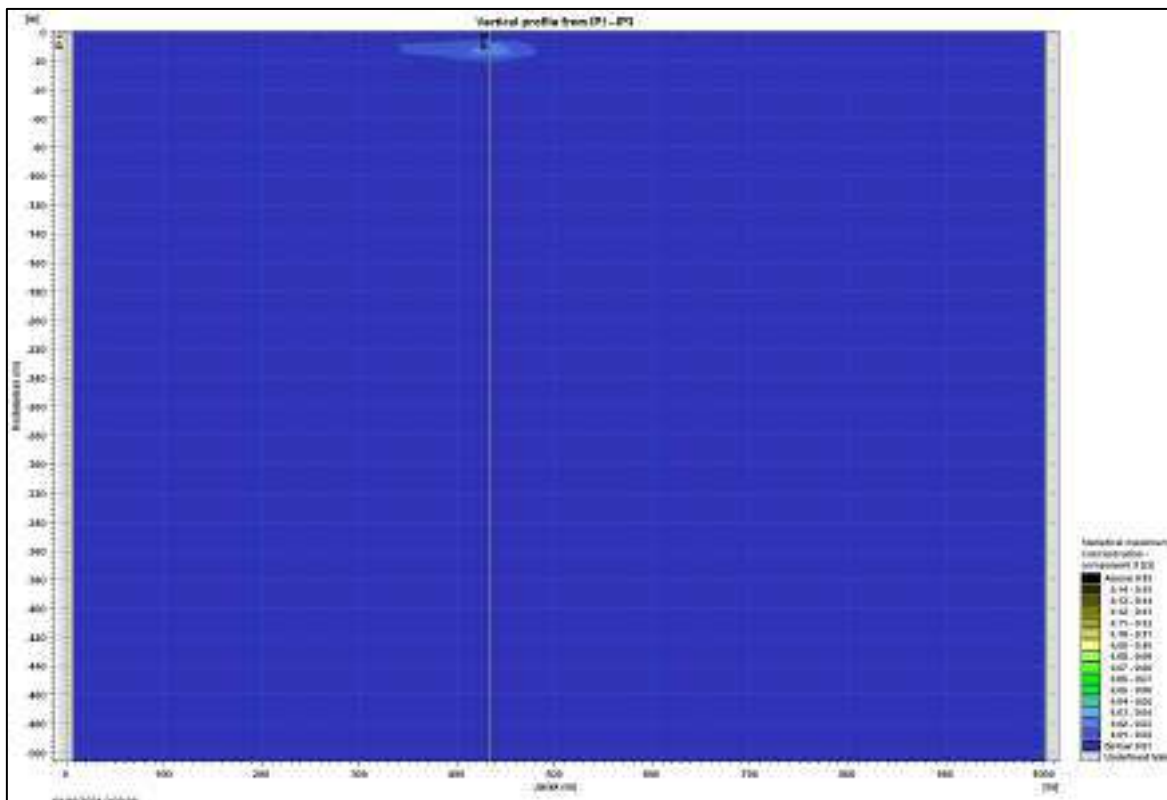
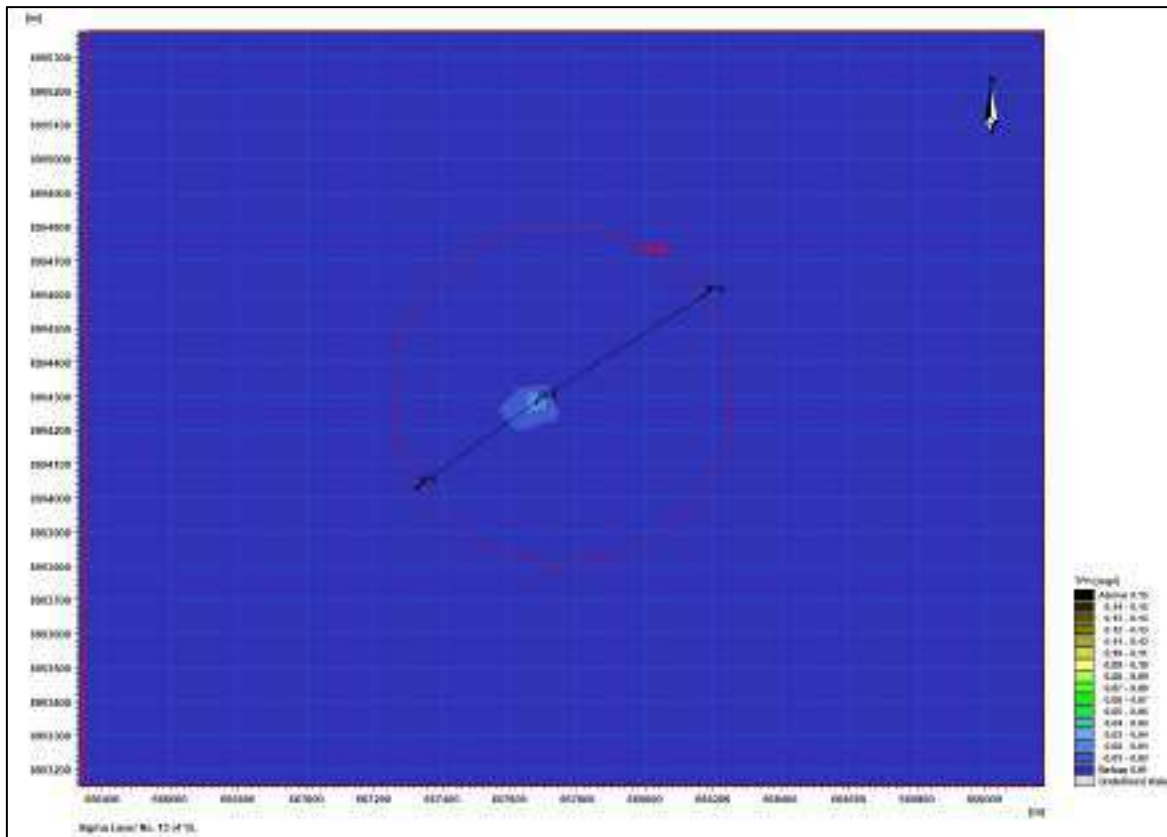
Gambar 22. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) TPH maksimum hasil simulasi musim barat



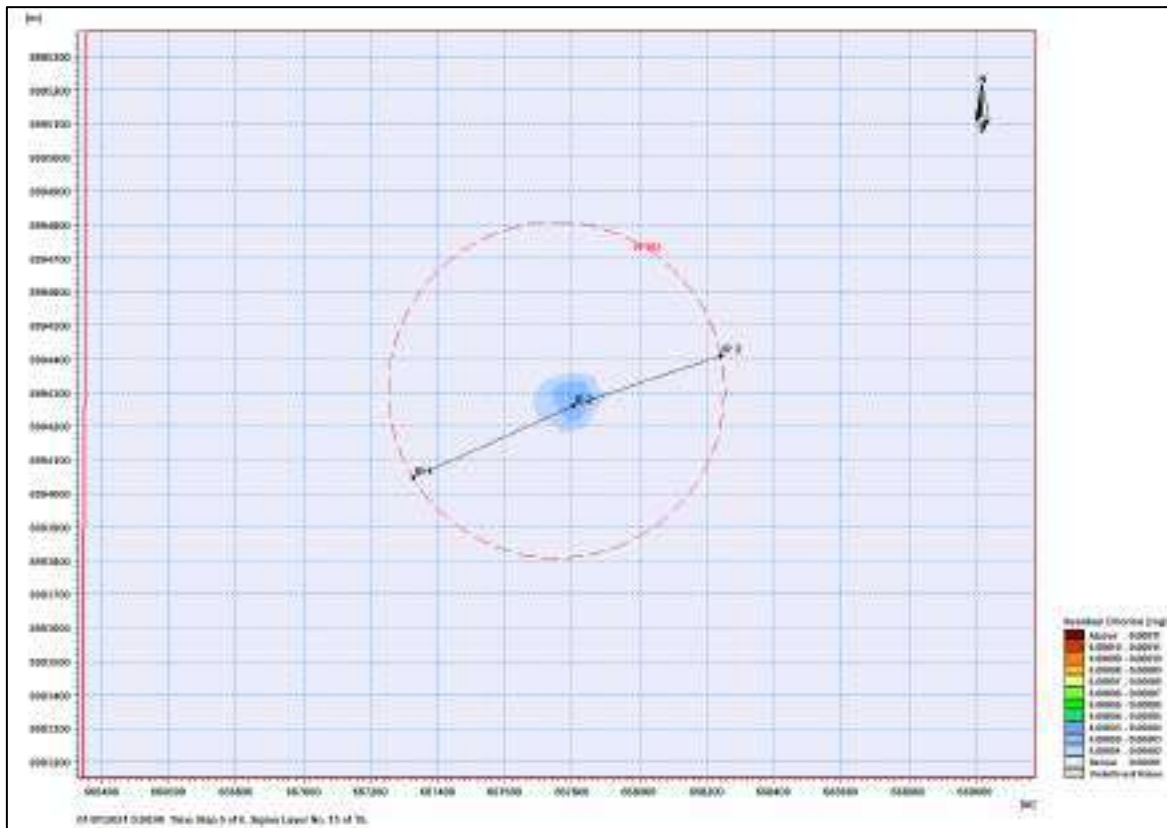
Gambar 23. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) TPH maksimum hasil simulasi musim peralihan I



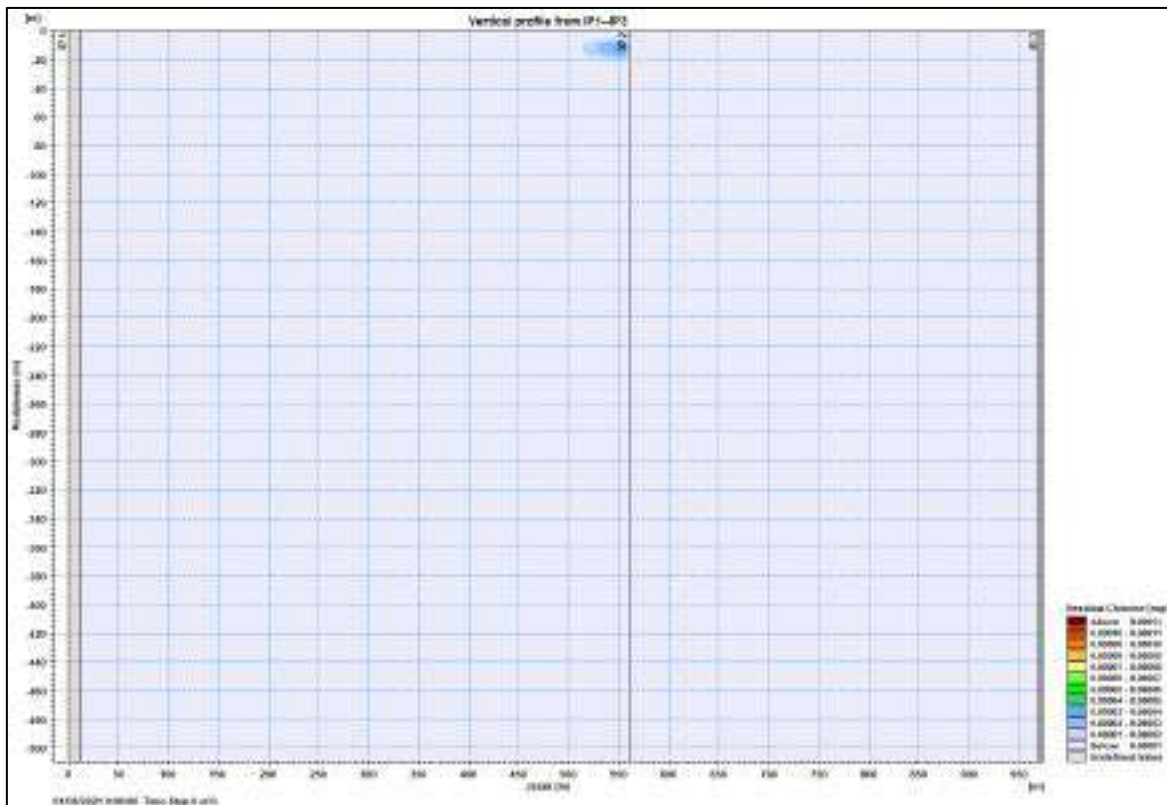
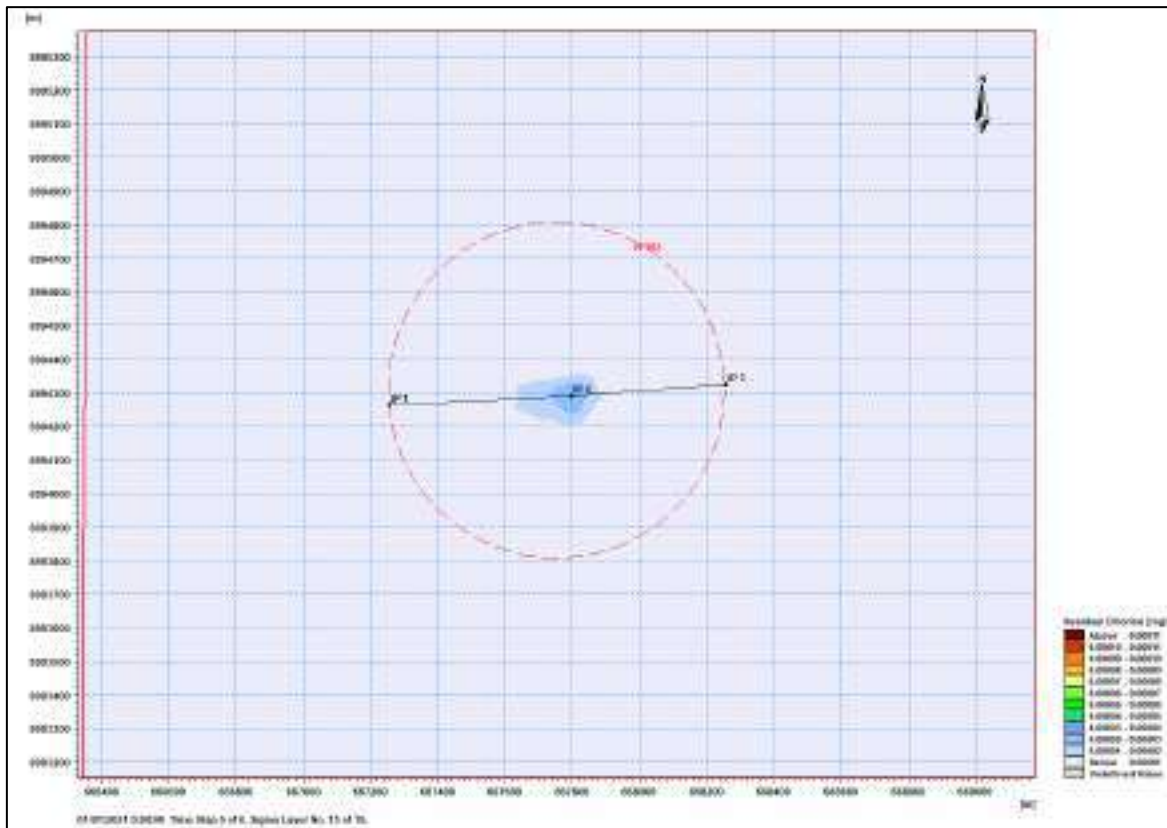
Gambar 24. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) TPH maksimum hasil simulasi musim timur



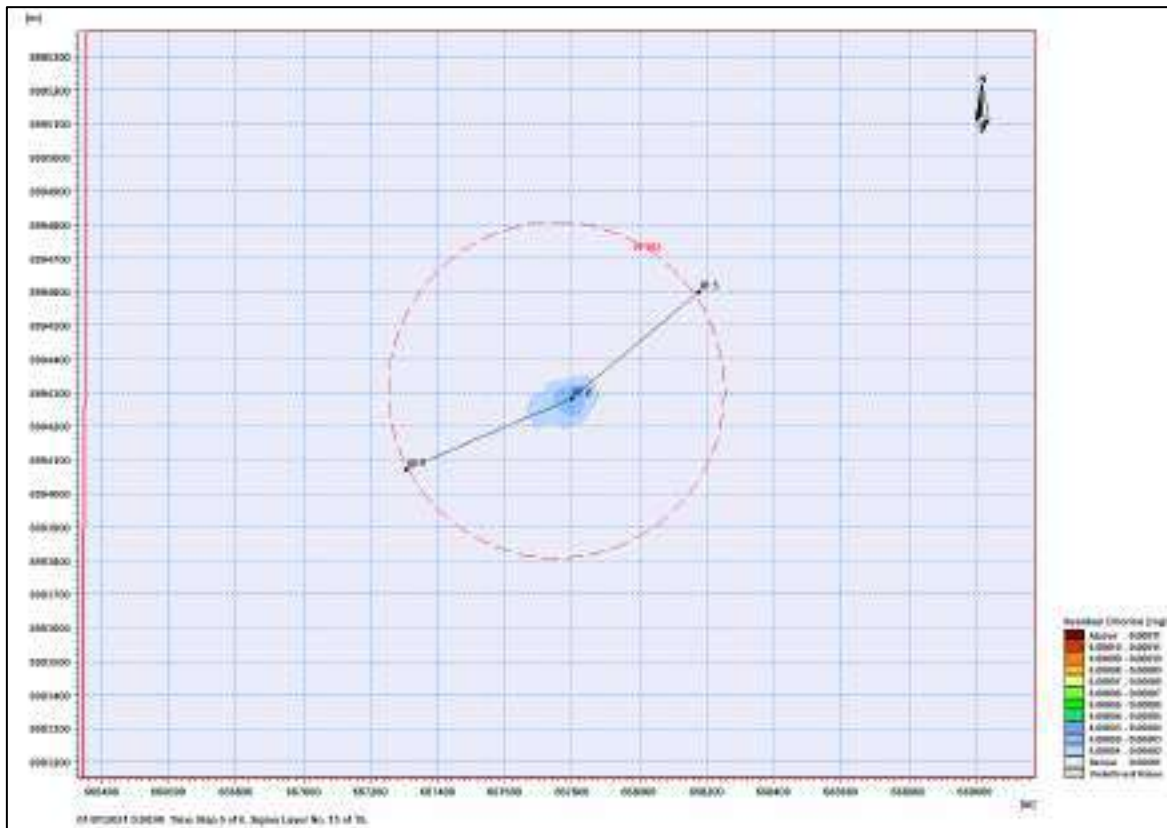
Gambar 25. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) TPH maksimum hasil simulasi musim peralihan II



Gambar 27. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) klorin residu maksimum hasil simulasi musim peralihan I



Gambar 28. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) klorin residu maksimum hasil simulasi musim timur



Gambar 29. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) klorin residu maksimum hasil simulasi musim peralihan II

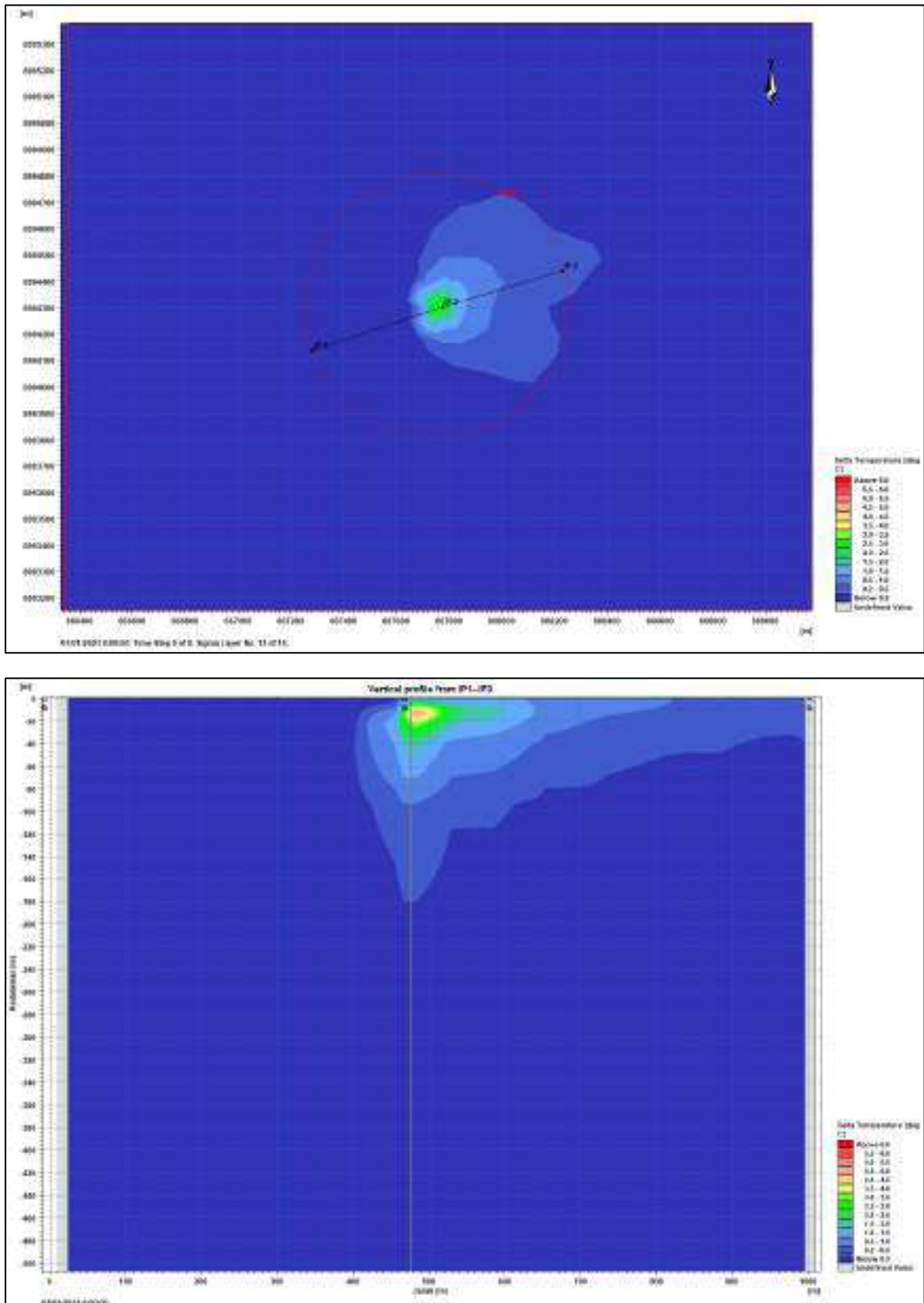
Nilai parameter suhu yang dimodelkan dalam kajian ini adalah nilai selisih antara nilai suhu buangan limbah dan suhu alami atau sering disebut dengan delta suhu. Berdasarkan hasil analisis sampel air laut 9 titik stasiun sekitar lokasi buangan, rata-rata suhu alami badan air penerima diperoleh 30,4 °C (pembulatan 30°C), sedangkan limbah buangan bersuhu lebih tinggi, yakni 40 °C. Delta suhu yang digunakan sebagai input model adalah $40^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C} = 10^{\circ}\text{C}$, dengan kata lain delta suhu yang digunakan untuk input model nilainya lebih tinggi dari suhu alami. Hasil model sebaran delta suhu maksimum pada keseluruhan musim terlihat tinggi hanya di sekitar titik buangan. Delta suhu maksimum terlihat pada musim barat (**Gambar 30**) mencapai 6°C, sementara pada musim peralihan I (**Gambar 31**), musim timur (**Gambar 32**) dan musim peralihan II (**Gambar 33**) hanya mencapai 2,5°C. Delta suhu tersebut tergolong masih tinggi bila mengacu pada baku mutu PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII. Hal ini dikarenakan baku mutu perubahan suhu yang diperbolehkan adalah sebesar 2°C dari suhu alami, sedangkan perubahannya (delta suhu) mencapai 6°C dan 2,5°. Radius sebaran delta suhu yang melebihi baku mutu ($\geq 2^{\circ}\text{C}$) tidak terlihat menyebar jauh dari titik buangan, yakni pada musim barat mencapai 120 m, sedangkan pada musim peralihan I, musim timur dan peralihan II berturut-turut mencapai 103 m, 100 m dan 103 m

Peningkatan konsentrasi salinitas akibat buangan limbah *brine water* tergolong rendah, dimana peningkatan konsentrasi tertinggi hasil model musim barat (**Gambar 34**) dan peralihan I (**Gambar 35**) masing-masing hanya mencapai 0,03 psu dan 0,018 psu, sedangkan hasil model musim timur (**Gambar 36**) dan peralihan II (**Gambar 37**) hanya mencapai 0,004 psu. Mengacu pada baku mutu PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII bahwa salinitas diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <5% dari salinitas rata-rata musiman. Berdasarkan data CTD 4 titik sekitar lokasi FPSO rata-rata salinitas permukaan (lapisan tercampur) sebesar 34,4 psu, perubahan 5% dari salinitas rata-rata adalah $5\% \times 34,4 \text{ psu} = 1,72 \text{ psu}$. Dengan demikian peningkatan salinitas akibat buangan limbah *brine water* masih tergolong rendah atau di bawah 5% dari salinitas rata-rata perairan badan air penerima.

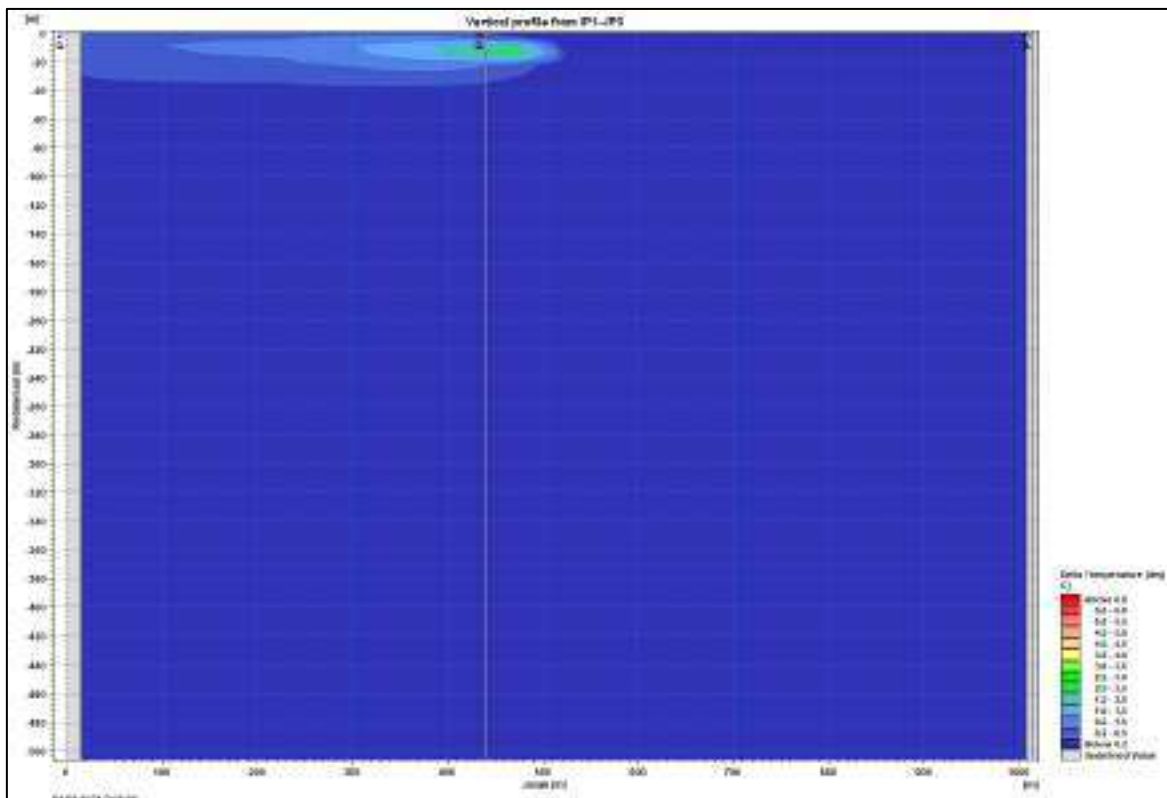
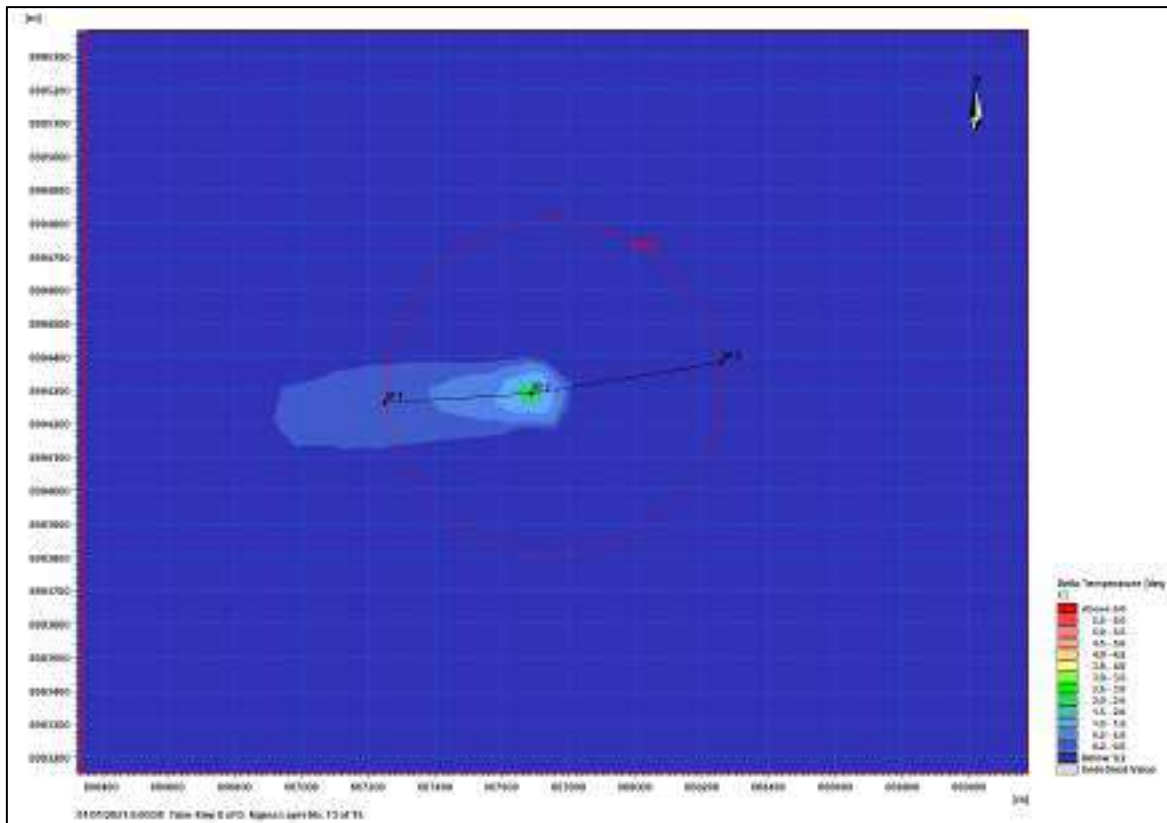
Peningkatan konsentrasi TSS maksimum hasil model keseluruhan musim (**Gambar 38** hingga **Gambar 41** **Gambar 42**) ketika masuk ke perairan tergolong rendah, yakni tertinggi hanya mencapai 1 mg/l. Konsentrasi TSS hasil model tersebut tergolong rendah bila dibandingkan dengan baku mutu PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk biota laut sebesar 20 mg/l. Konsentrasi TSS hasil analisis sampel air laut 9 titik sekitar FPSO tidak lebih dari 2 mg/l (di bawah deteksi limit), jika dijumlahkan konsentrasi TSS hasil model dan TSS di badan air, maka hasilnya masih jauh lebih rendah dari baku mutu. Hal ini berarti buangan limbah TSS dari air terproduksi FPSO tidak berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi TSS di badan air penerima.

Hasil model peningkatan konsentrasi parameter BTEX (**Gambar 42** hingga **Gambar 45**) dan klorin bebas (**Gambar 46** hingga **Gambar 49**) yang terlihat juga tergolong kecil. Konsentrasi BTEX dan klorin bebas tertinggi terlihat pada musim barat, yakni masing-masing mencapai 0,05 mg/l dan 0,1 mg/l. Baku mutu air laut berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII tidak mempersyaratkan parameter BTEX dan klorin bebas. Menurut Hutomo dan Arinardi (1992) kandungan klorin sebesar 0,25-0,75 mg/l dapat mengakibatkan

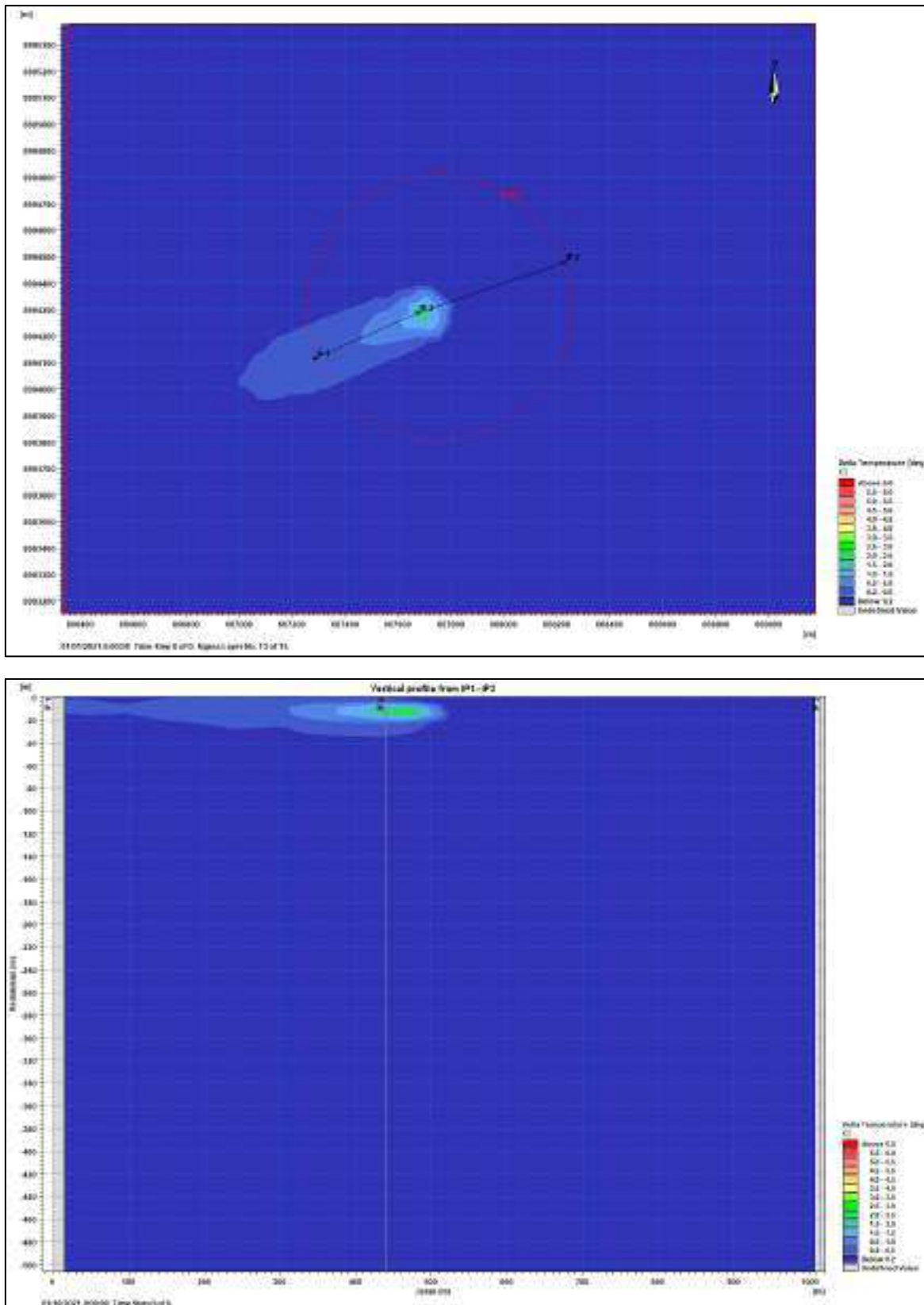
kematian zooplankton hingga 50%. Dengan demikian buangan limbah klorin bebas dari INPEX Masela, Ltd tidak berdampak signifikan terhadap lingkungan perairan.



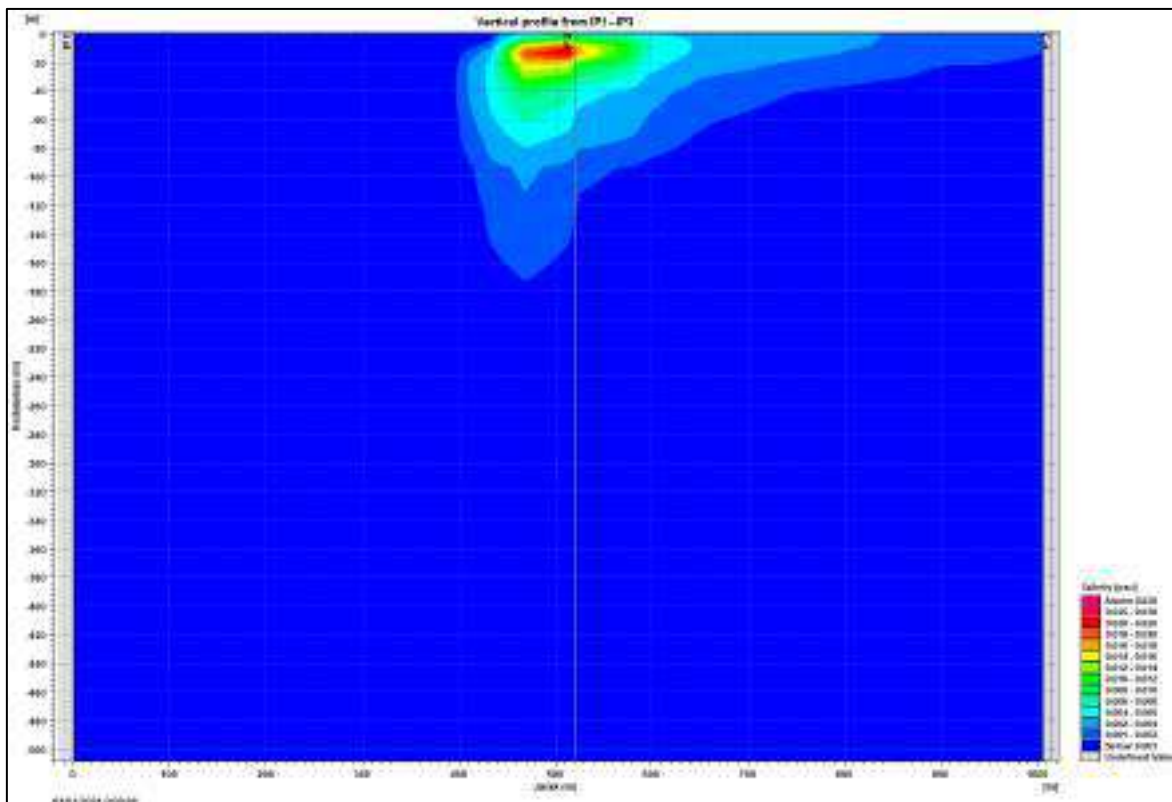
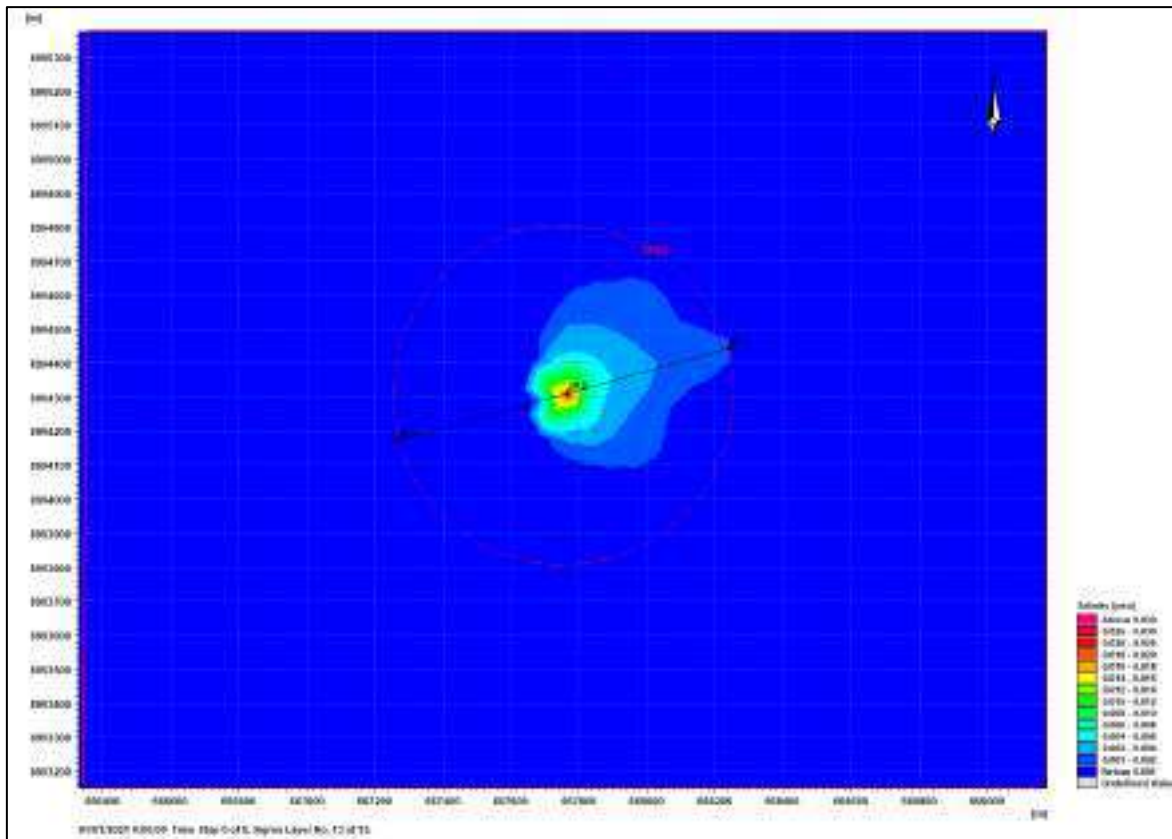
Gambar 30. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) delta suhu maksimum hasil simulasi musim barat



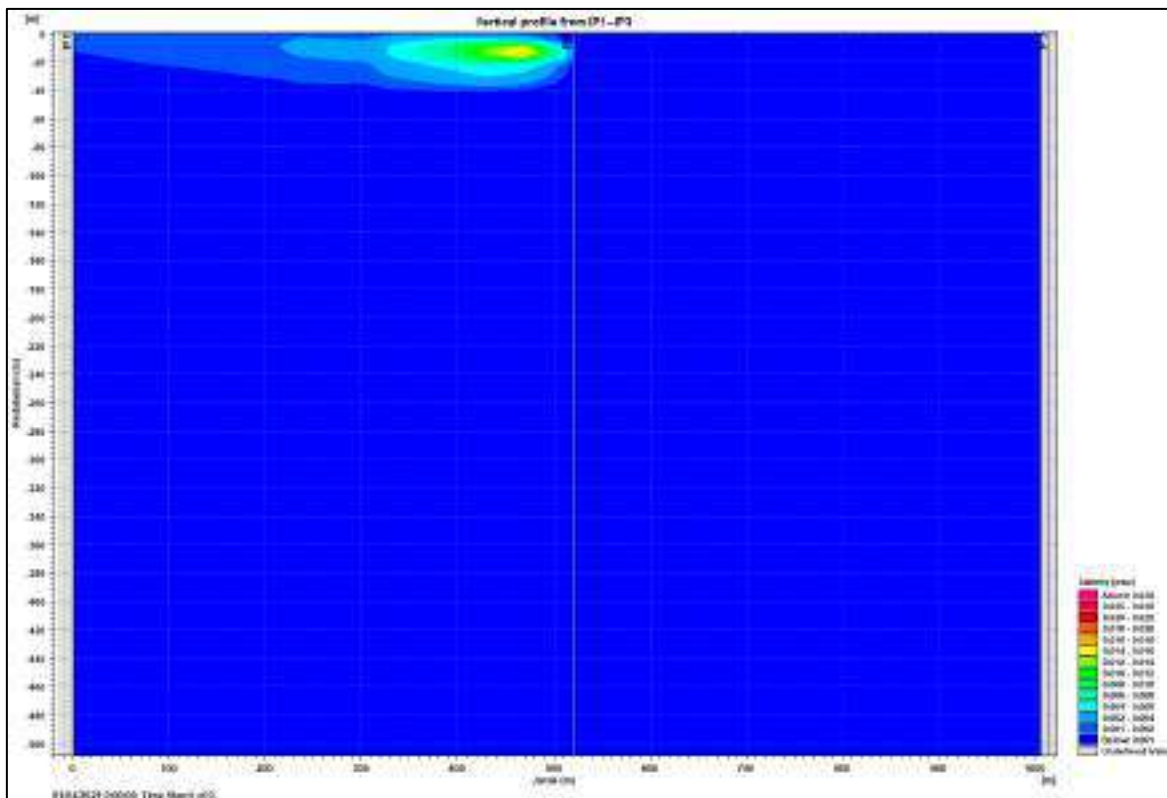
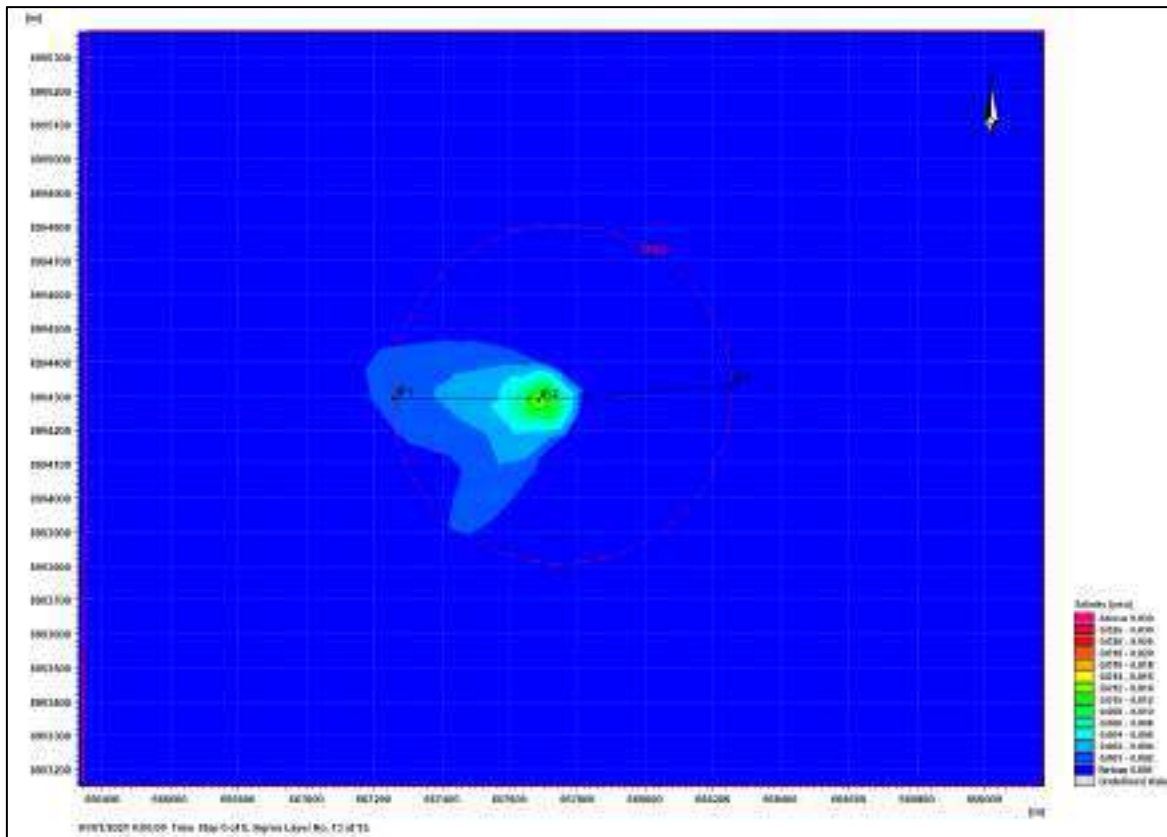
Gambar 32. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) delta suhu maksimum hasil simulasi musim timur



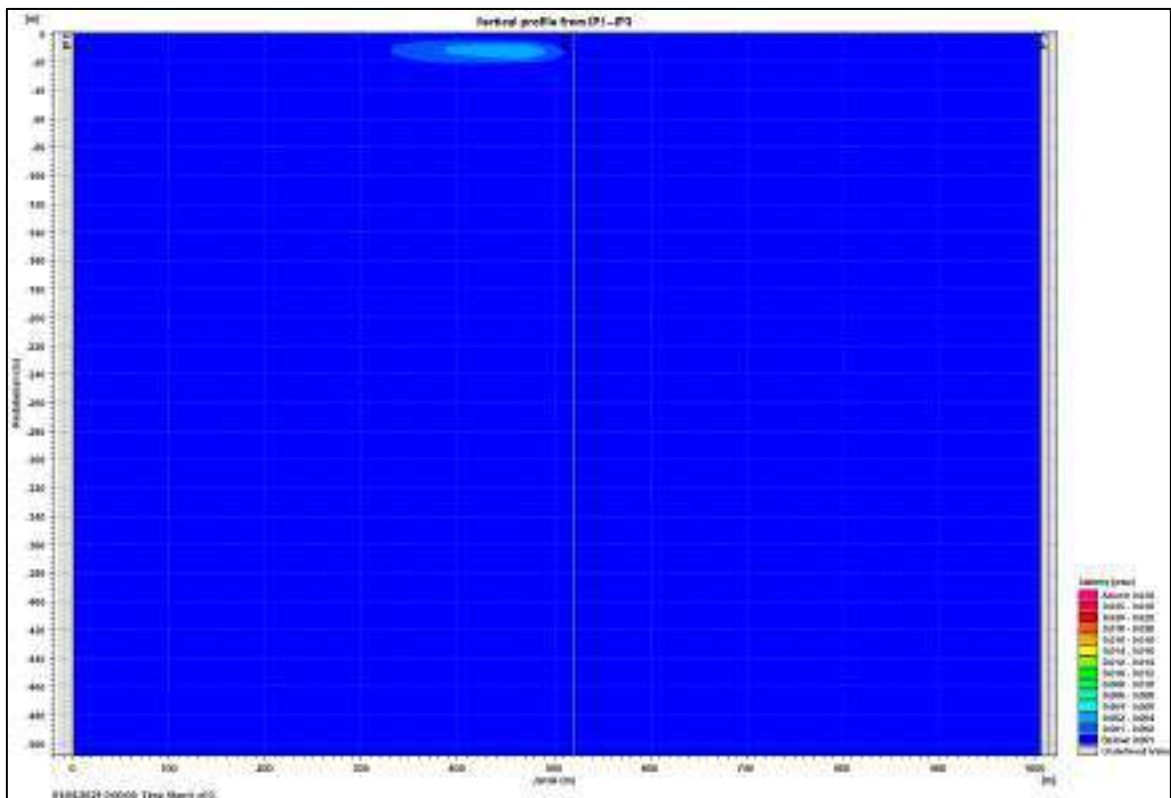
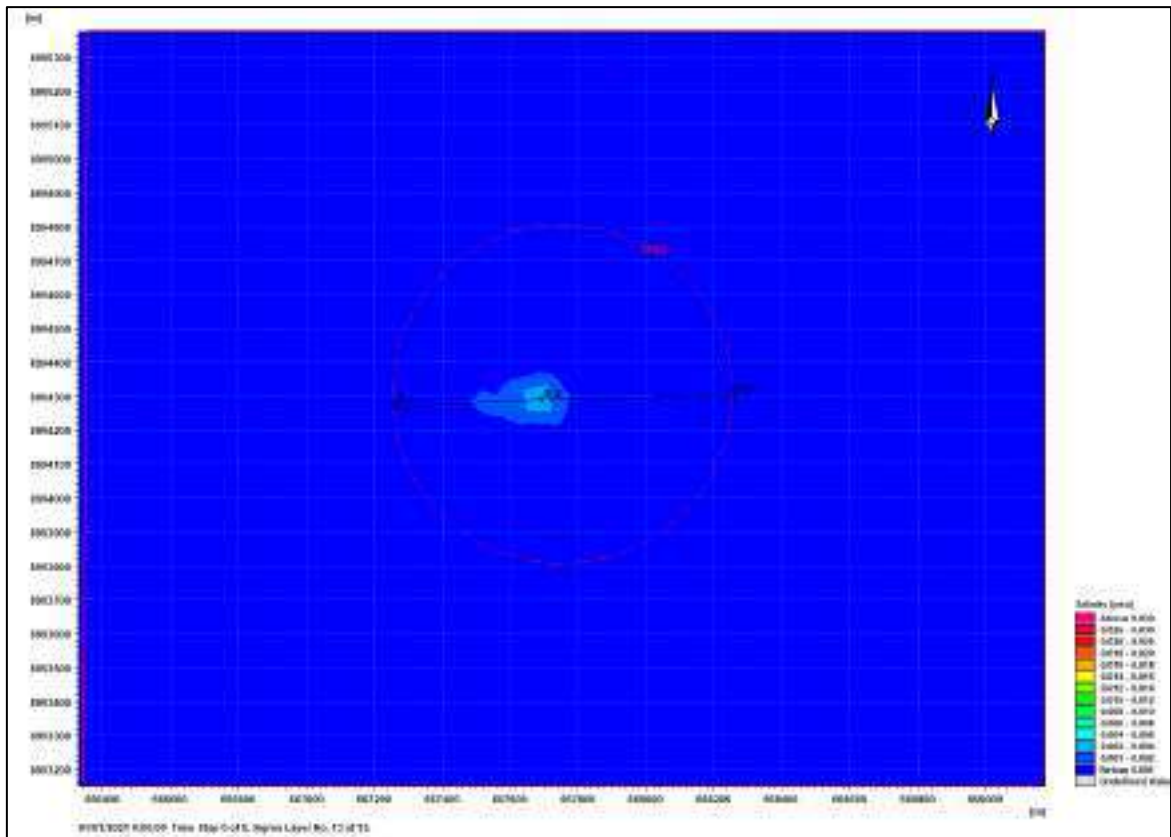
Gambar 33. Sebaran hiorosntal (atas) dan melintang (bawah) delta suhu maksimum hasil simulasi musim peralihan II



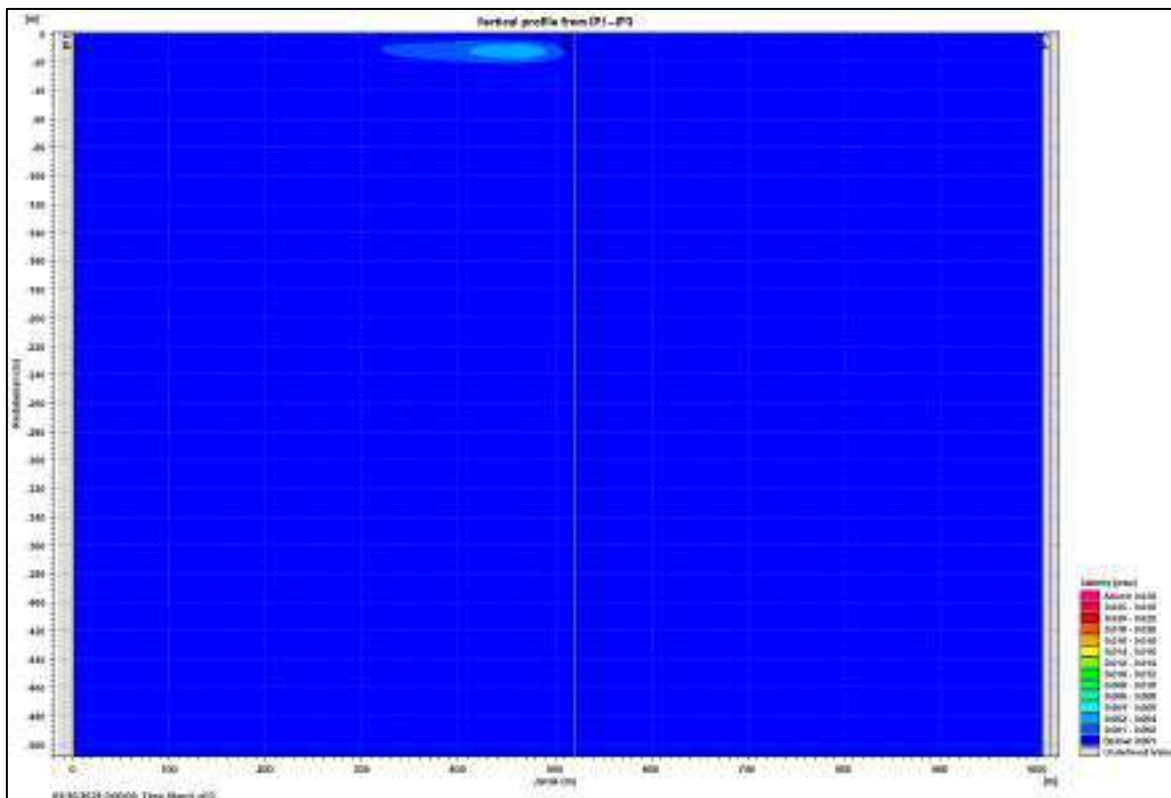
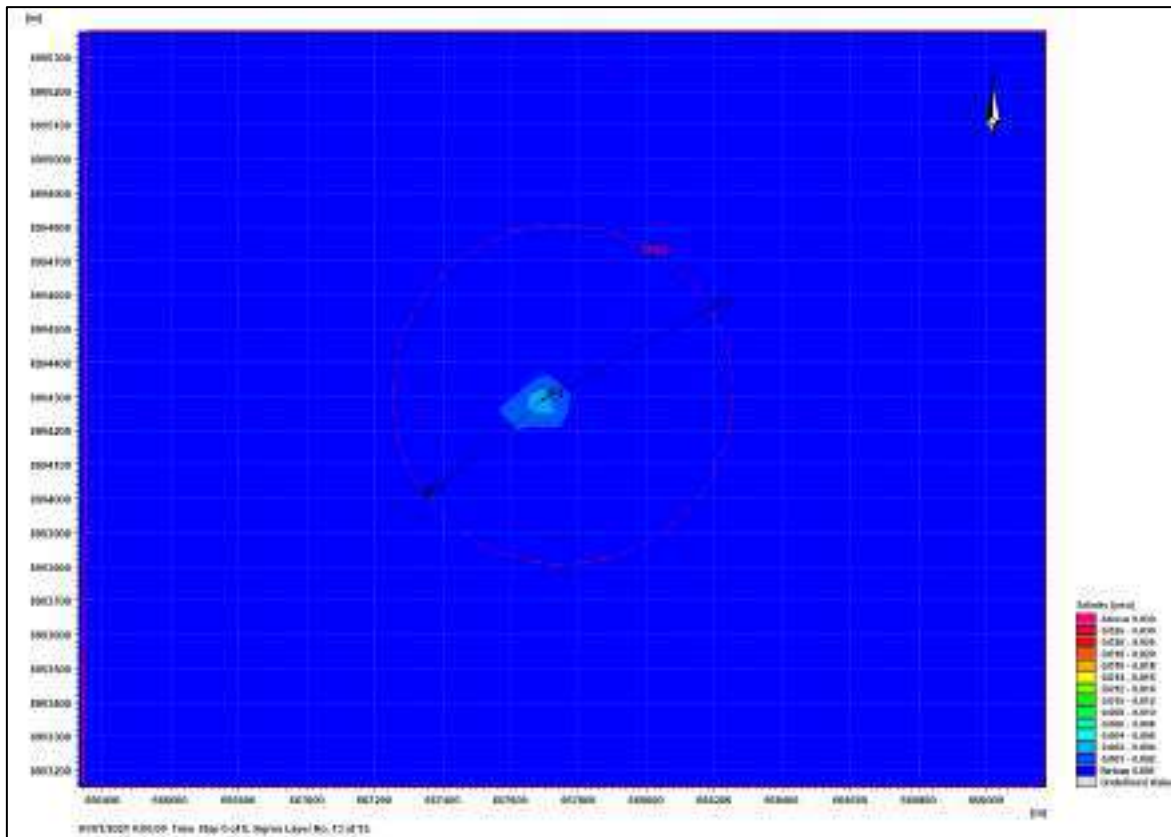
Gambar 34. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) salinitas maksimum hasil simulasi musim barat



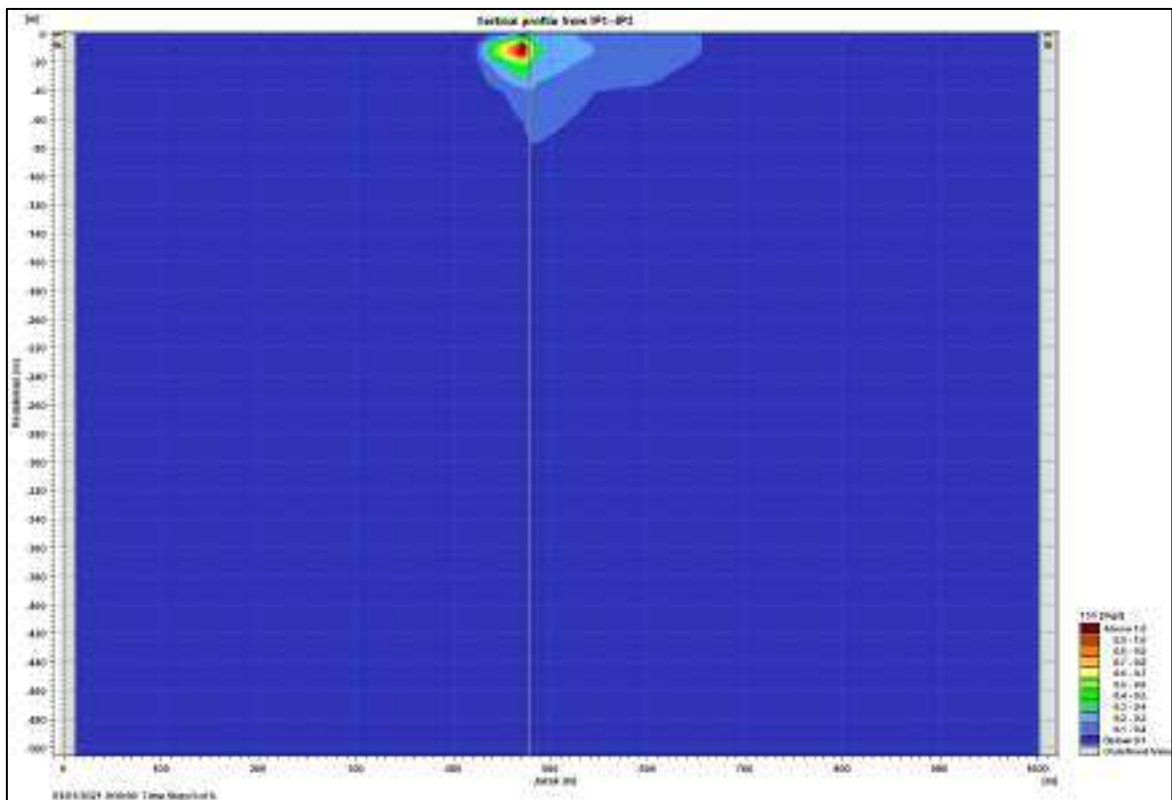
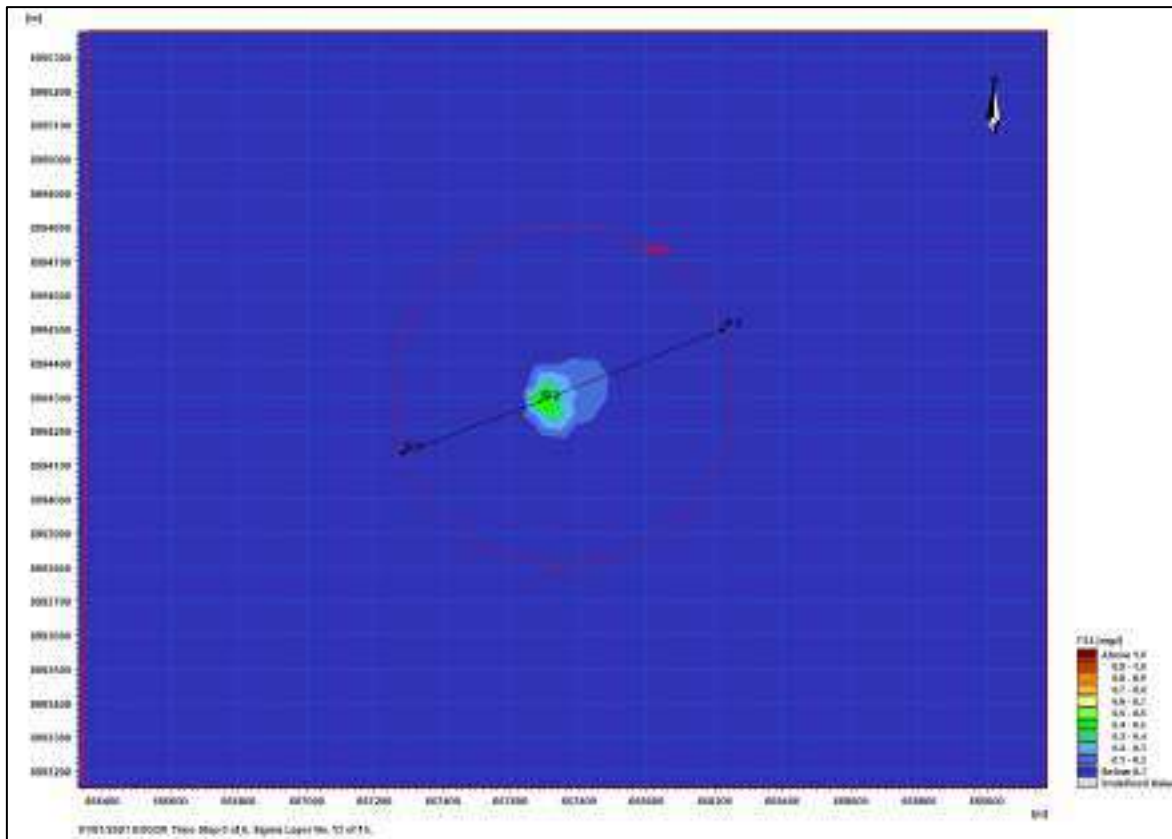
Gambar 35. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) salinitas maksimum hasil simulasi musim peralihan I



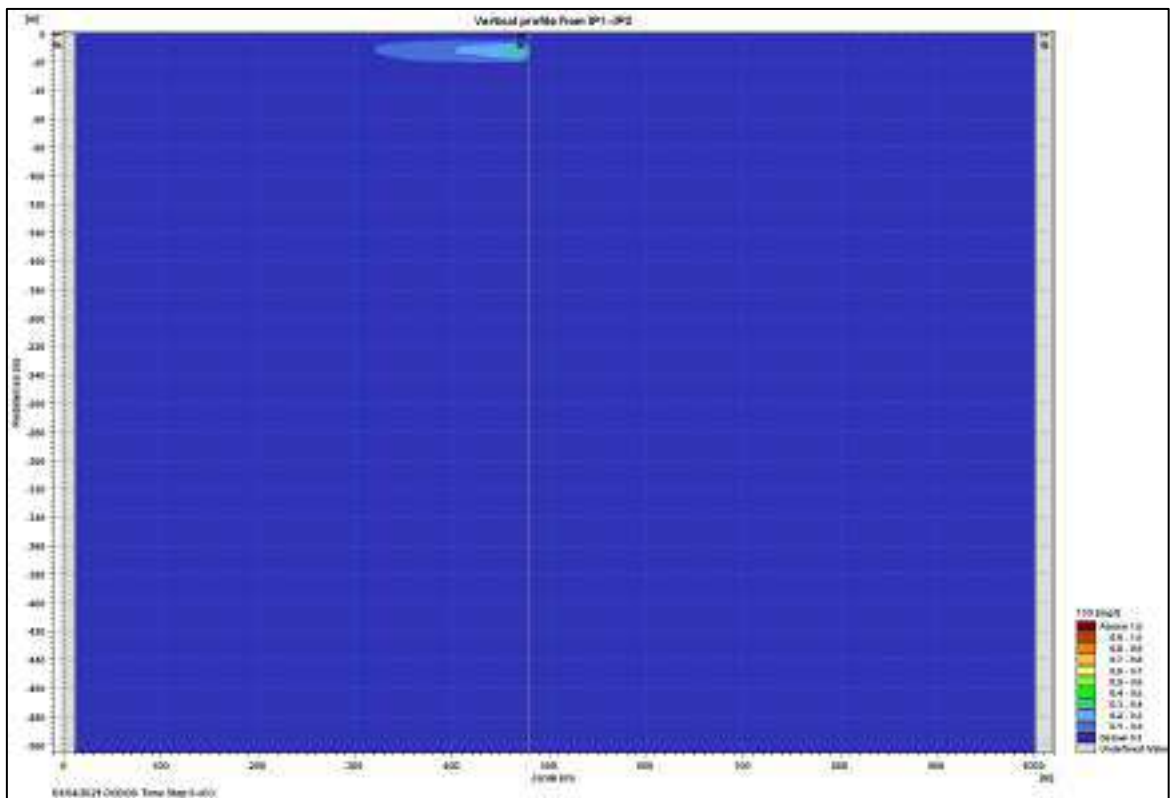
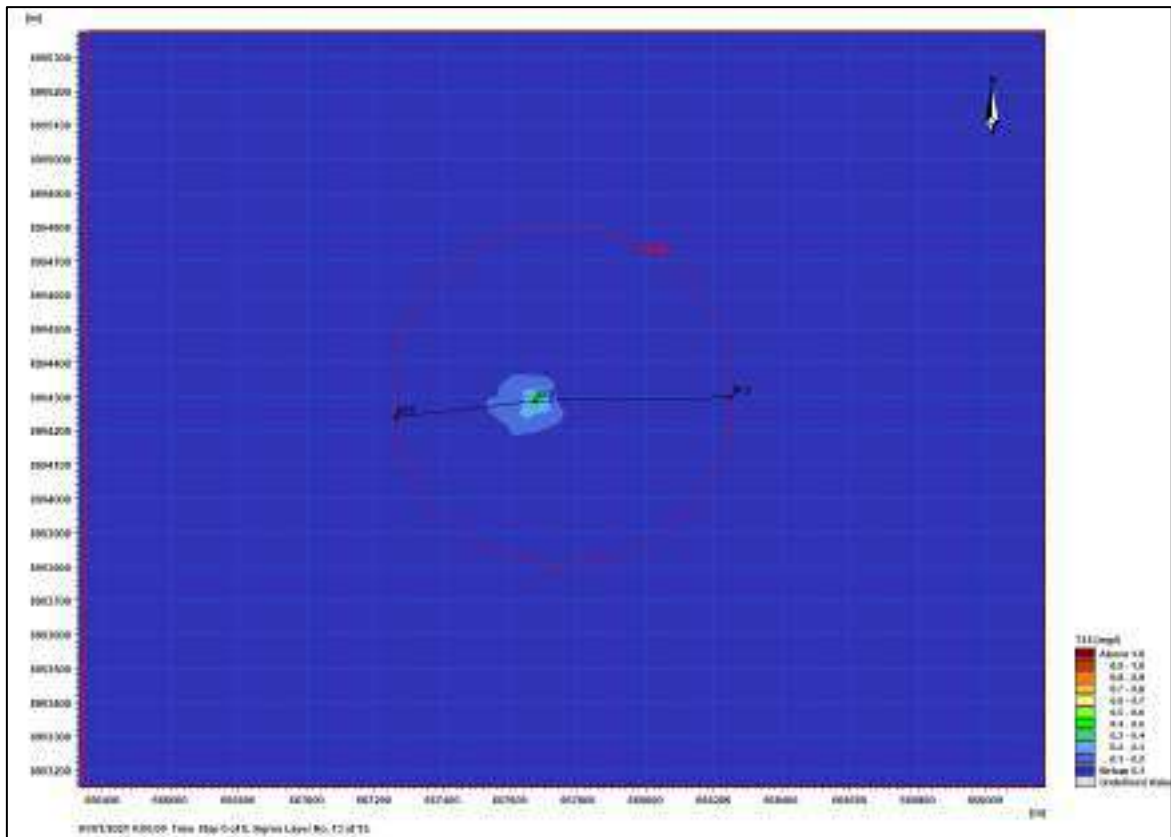
Gambar 36. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) salinitas maksimum hasil simulasi musim timur



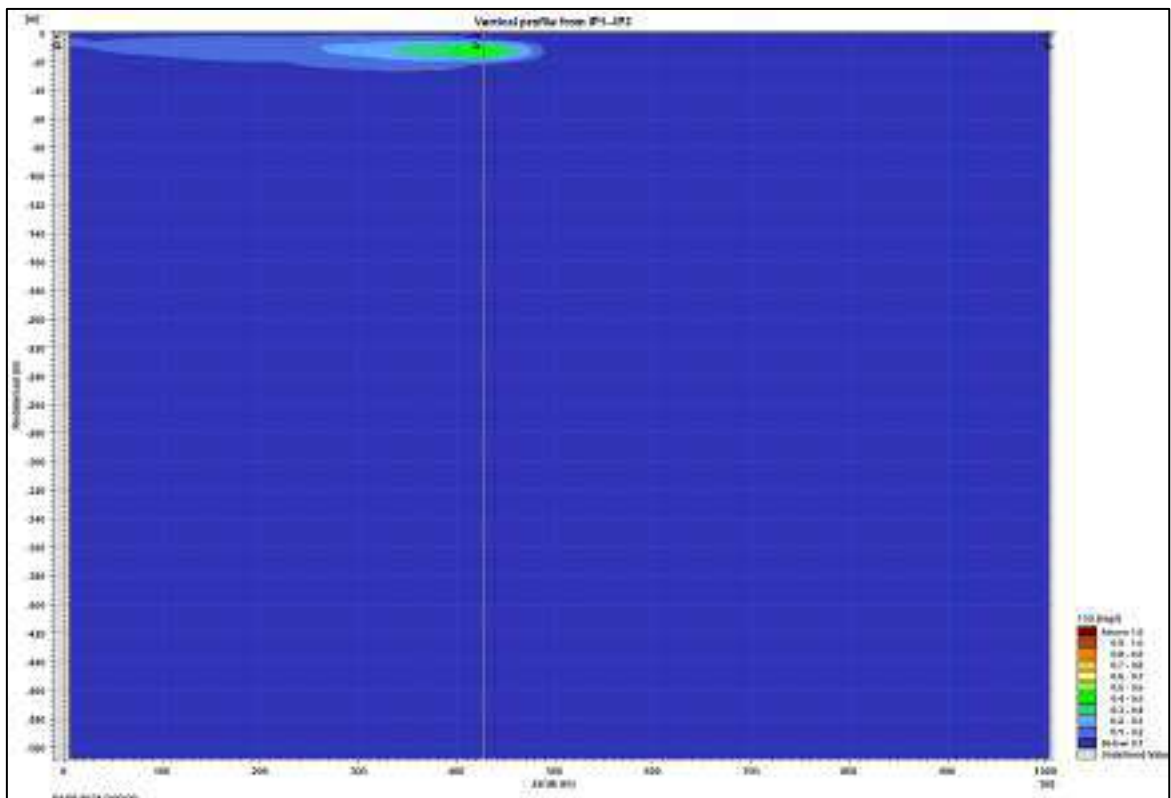
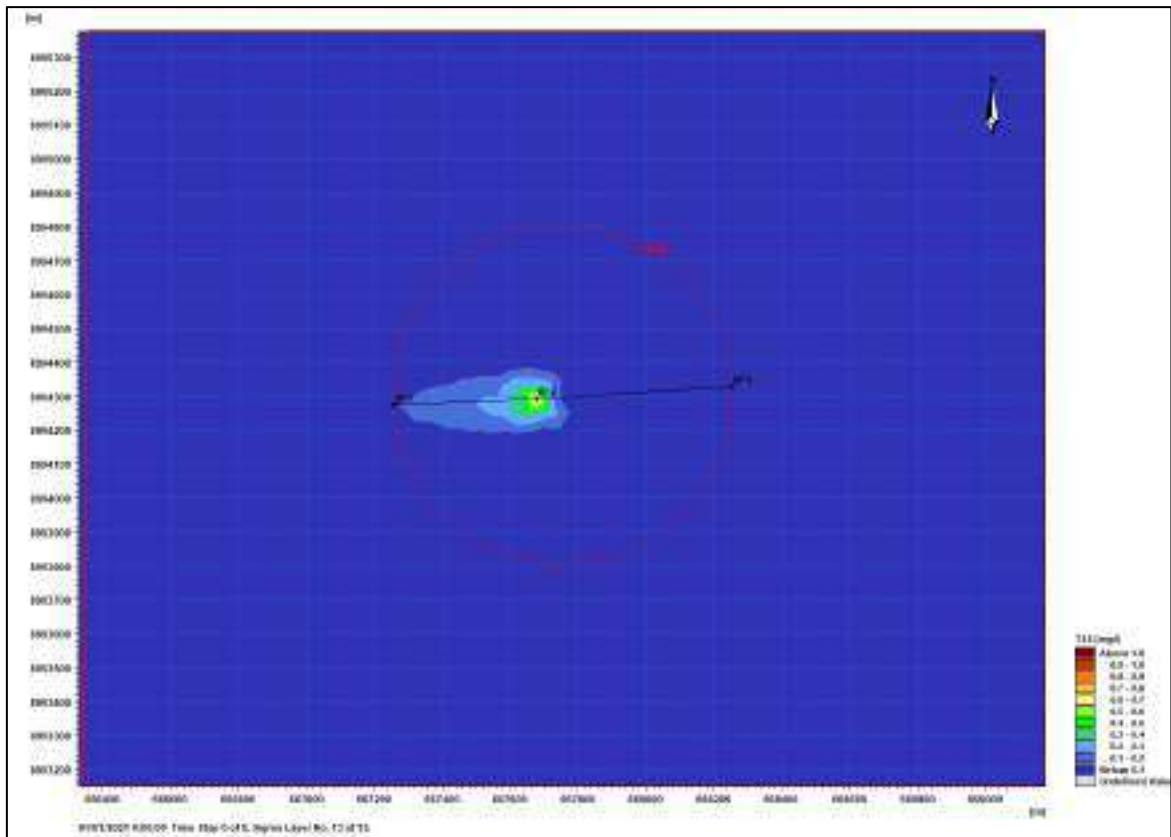
Gambar 37. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) salinitas maksimum hasil simulasi musim peralihan II



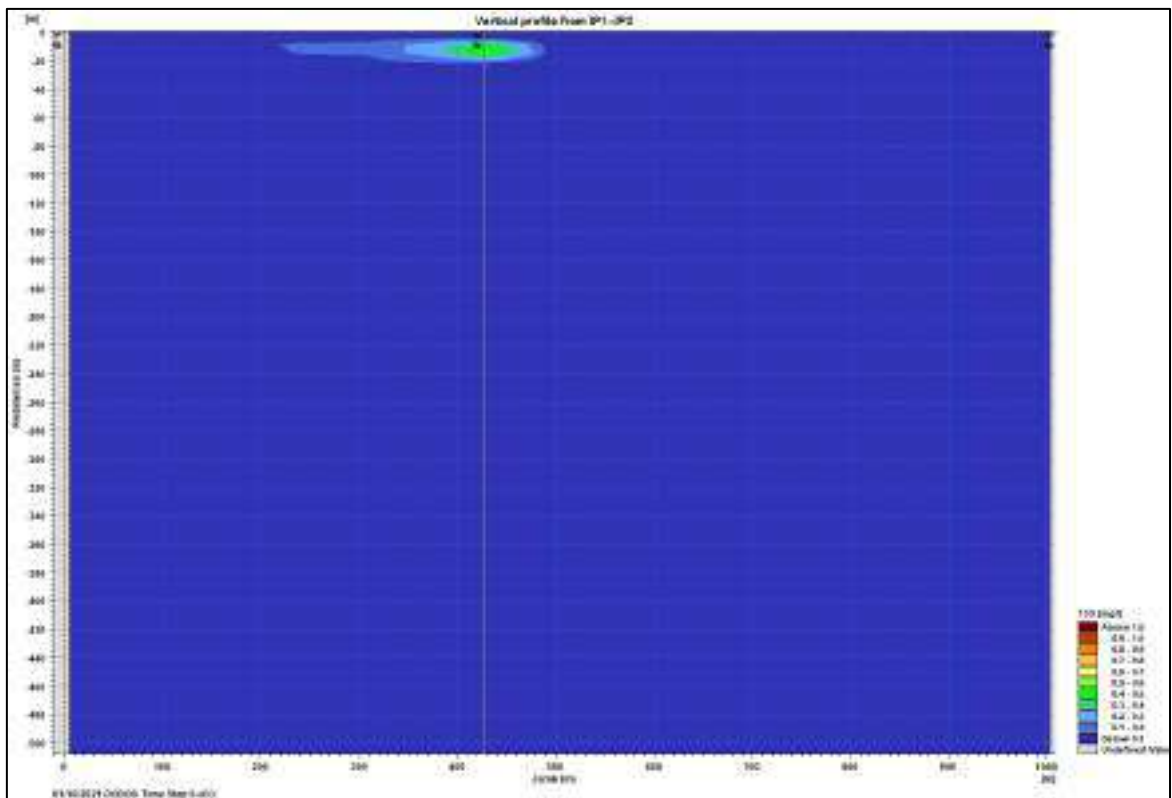
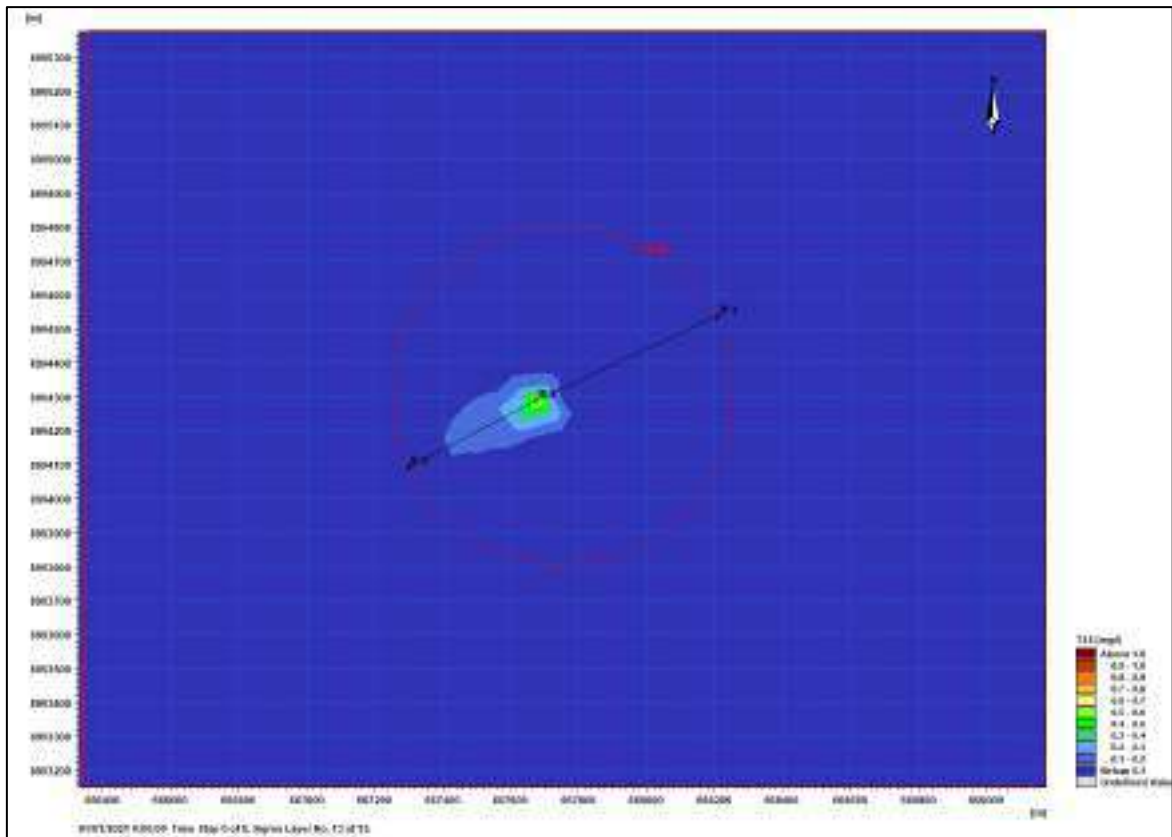
Gambar 38. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) TSS maksimum hasil simulasi musim barat



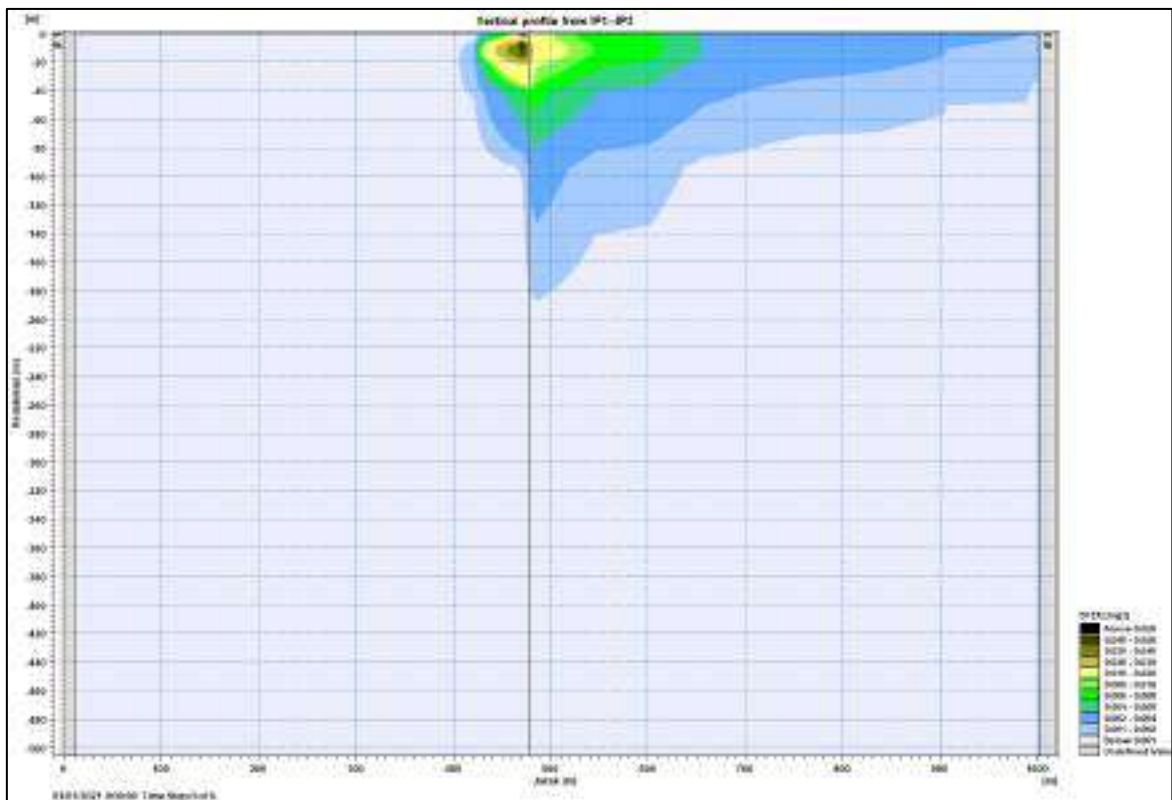
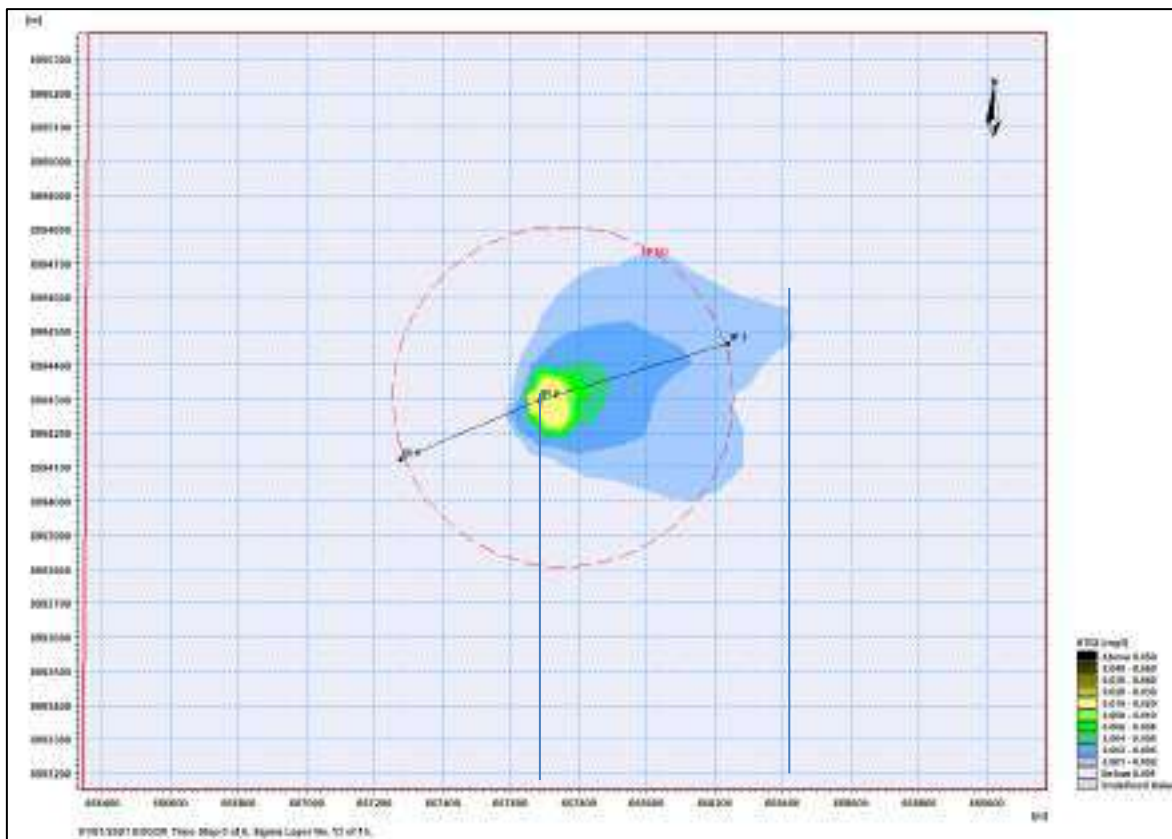
Gambar 39. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) TSS maksimum hasil simulasi musim peralihan I



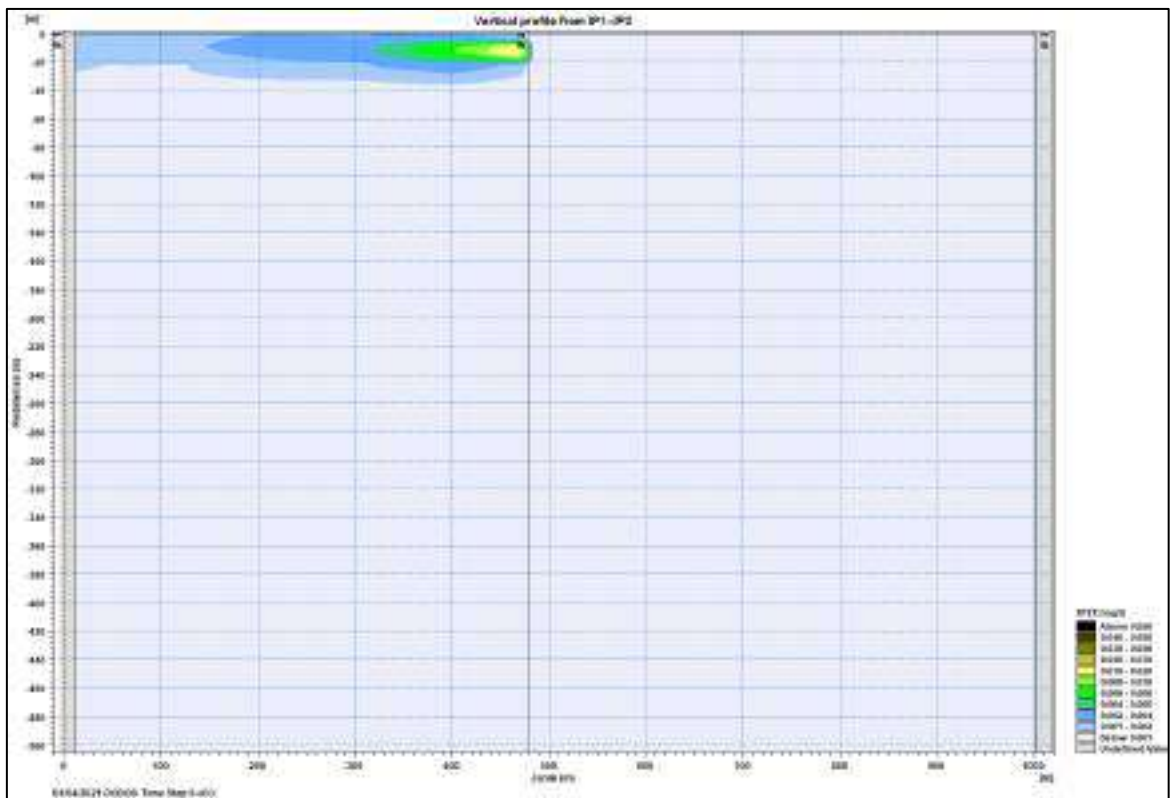
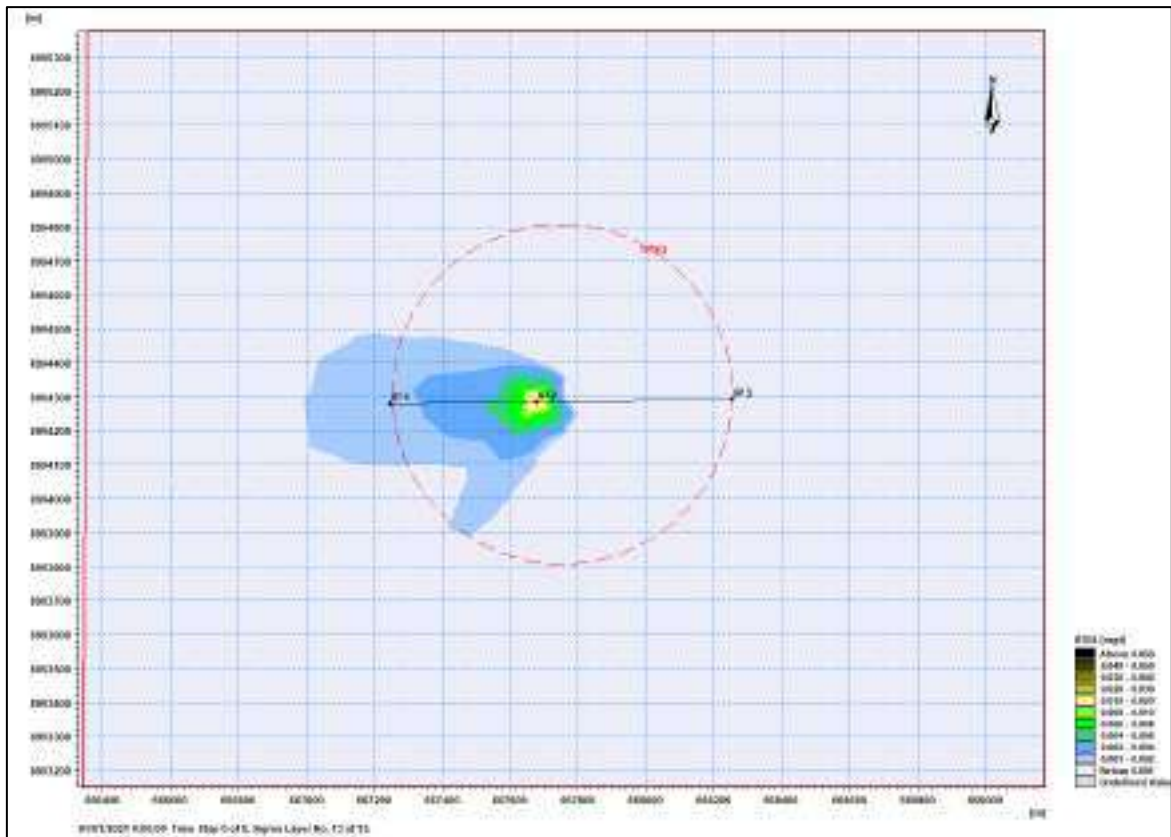
Gambar 40. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) TSS maksimum hasil simulasi musim timur



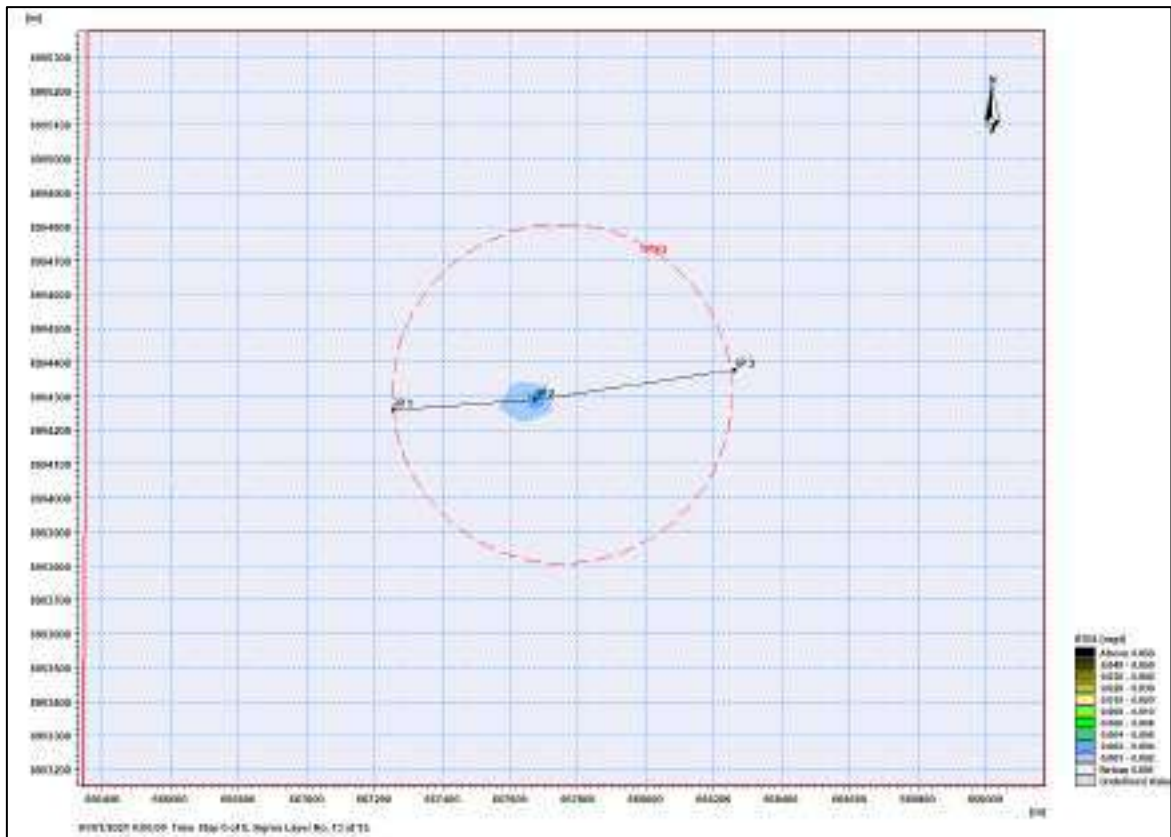
Gambar 41. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) TSS maksimum hasil simulasi musim peralihan II



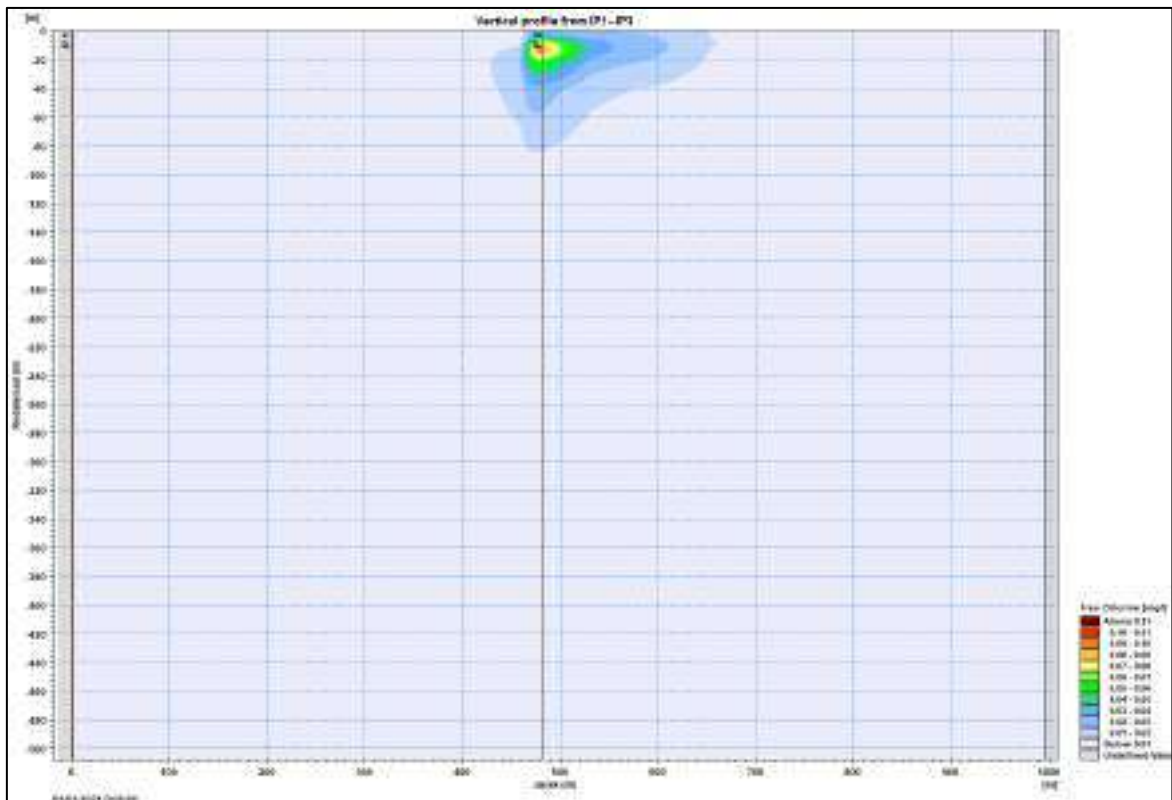
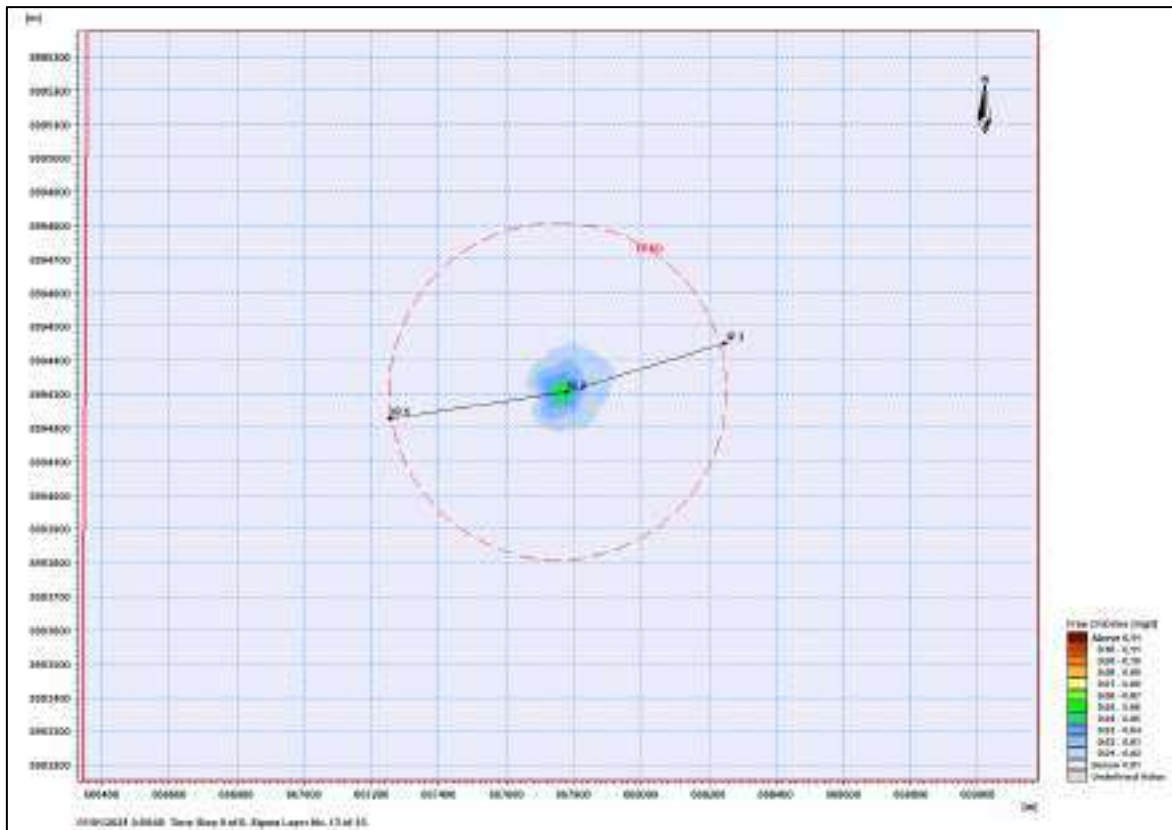
Gambar 42. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) BTEX maksimum hasil simulasi musim barat



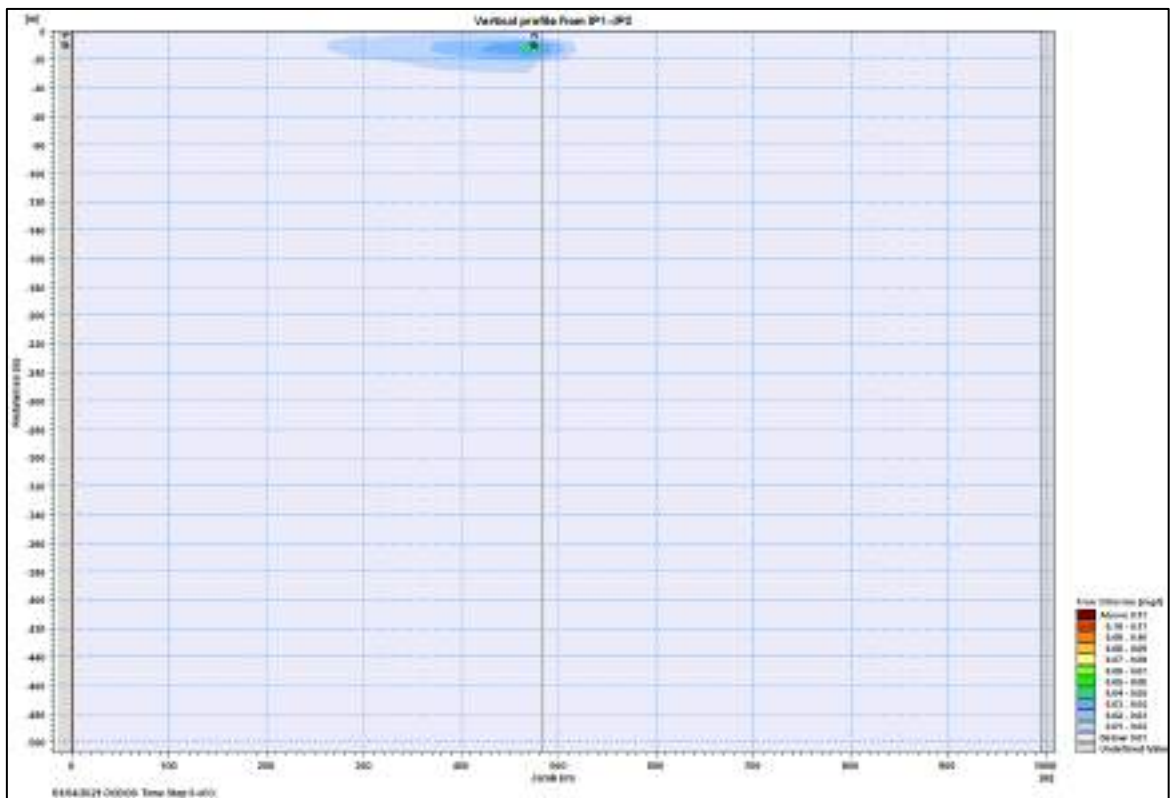
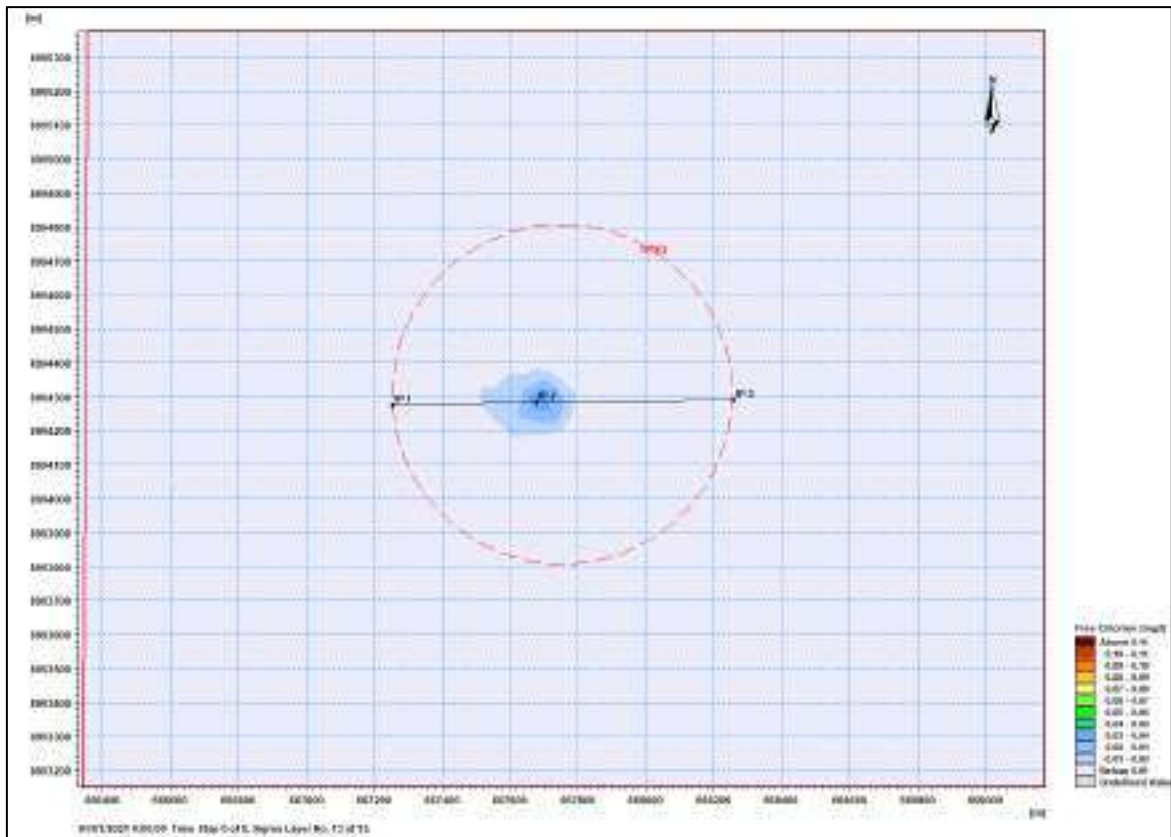
Gambar 43. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) BTEX maksimum hasil simulasi musim peralihan I



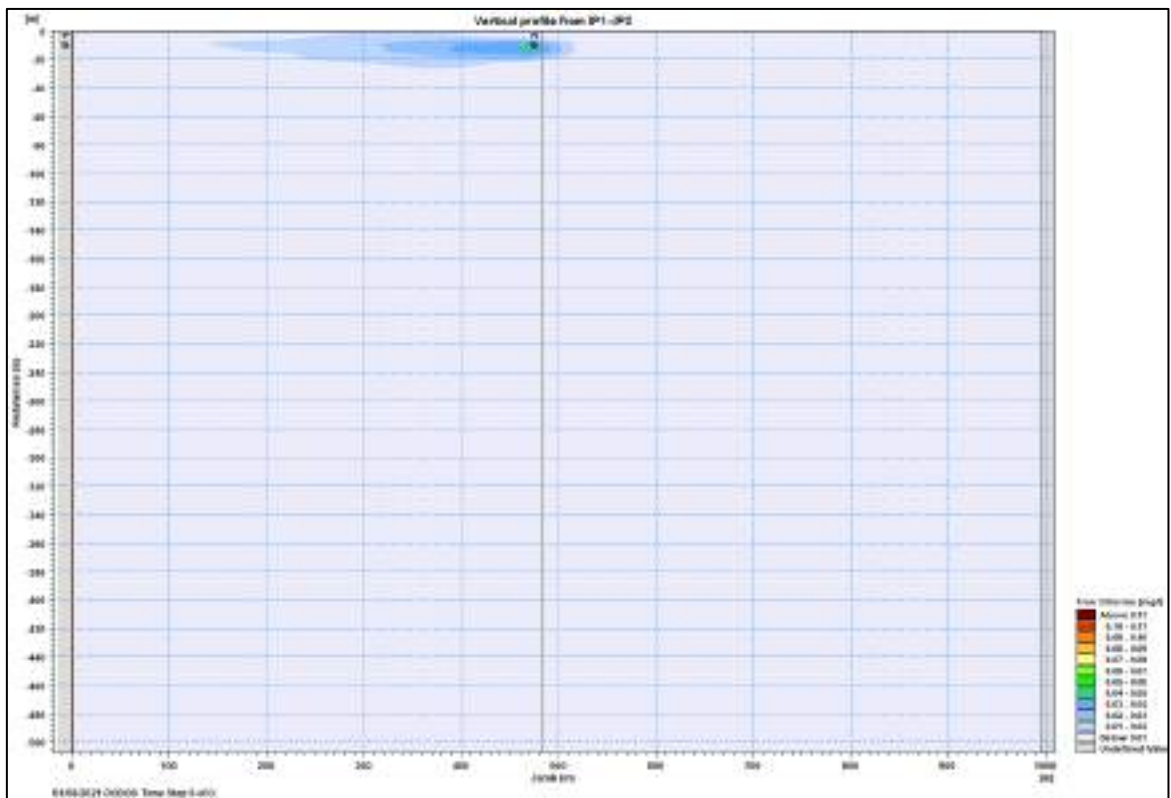
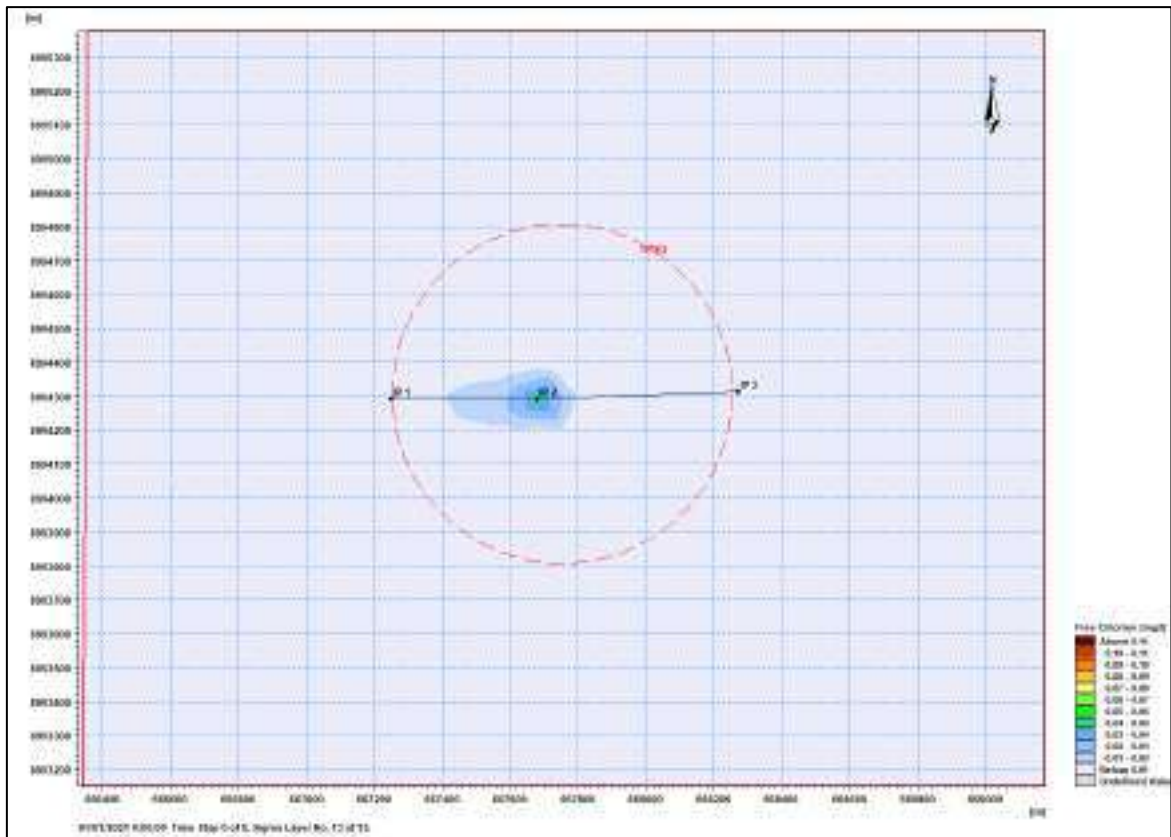
Gambar 44. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) BTEX maksimum hasil simulasi musim timur



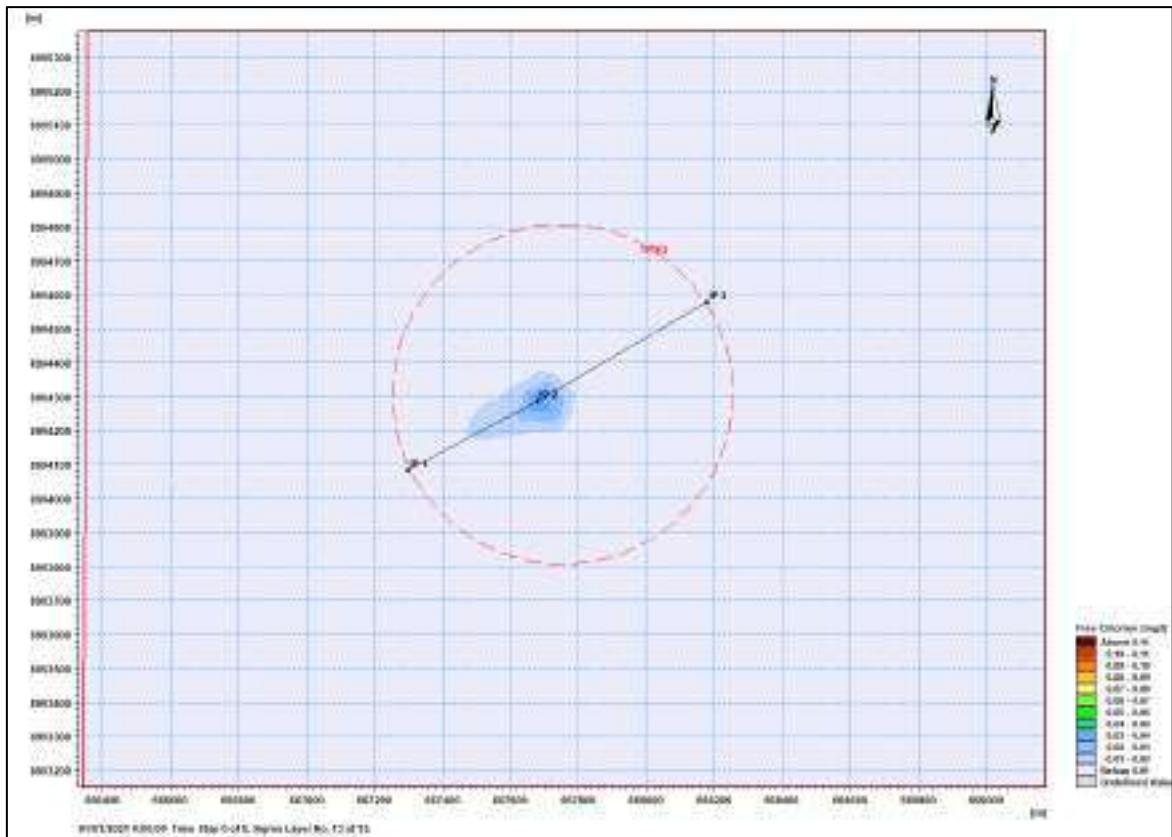
Gambar 46. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) klorin bebas maksimum hasil simulasi musim barat



Gambar 47. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) klorin bebas maksimum hasil simulasi musim peralihan I



Gambar 48. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) klorin bebas maksimum hasil simulasi musim timur

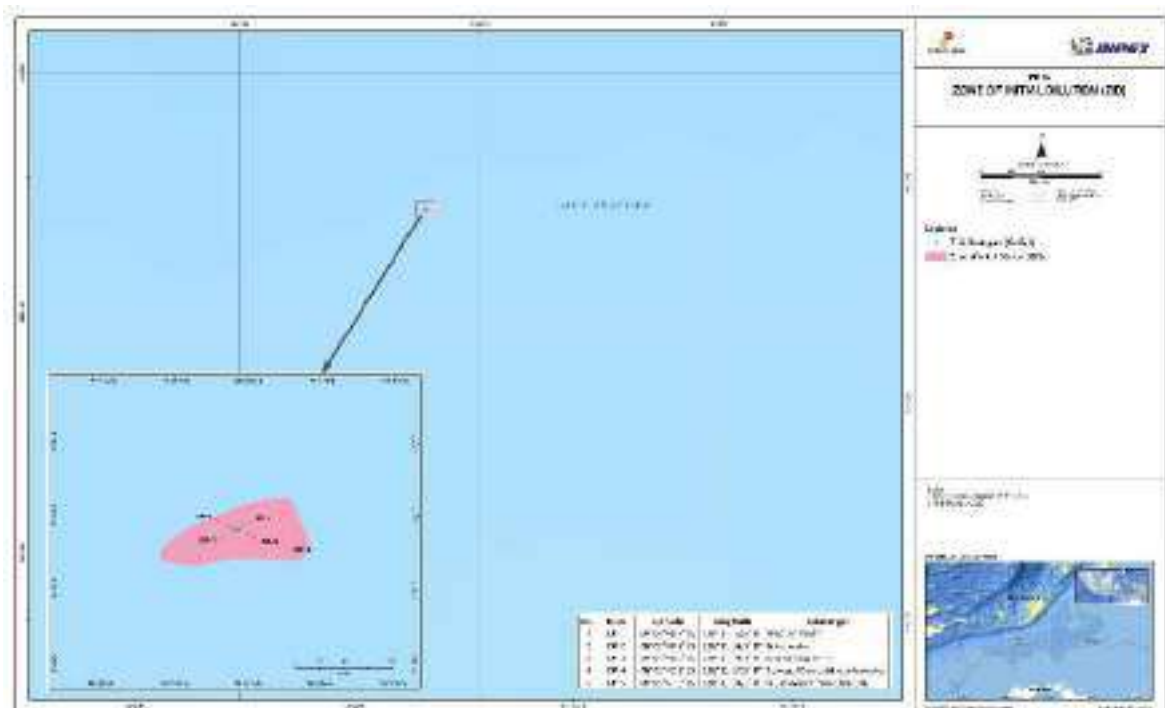


Gambar 49. Sebaran hirosontal (atas) dan melintang (bawah) klorin bebas maksimum hasil simulasi musim peralihan II

6. ZID DAN USULAN TITIK PANTAU

Zone of Initial Dilution (ZID) adalah suatu zona di mana organisme, termasuk benthos, dapat terpapar oleh pencemar dengan konsentrasi yang melebihi baku mutu air laut secara terus menerus. Pendekatan penentuan ZID dalam studi ini adalah berdasarkan hasil model sebaran limbah. Parameter yang dipilih sebagai acuan untuk penentuan ZID adalah parameter hasil model sebaran limbah yang ketika masuk ke perairan konsentrasinya masih melampaui baku mutu. Keseluruhan parameter limbah yang melebihi baku mutu tersebut selanjutnya dilakukan tumpang susun (*overlay*) guna menentukan (deliniasi) luasan dari ZID. Tumpang susun (*overlay*) hasil model dilakukan terhadap semua skenario model, yakni musim barat, peralihan I, musim timur dan musim peralihan II, dengan kata lain hasil penentuan ZID sudah mewakili keseluruhan musim. Baku mutu yang digunakan sebagai acuan ZID adalah baku mutu badan air penerima, yakni PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk biota laut.

Berdasarkan hasil model secara keseluruhan, parameter yang konsentrasinya masih melebihi baku mutu ketika masuk ke badan penerima adalah TPH dan delta suhu, sehingga kedua parameter tersebut digunakan untuk mendeliniasi ZID. Batas sebaran delta suhu yang digunakan ambang batas adalah sebesar 2°C , sedangkan untuk TPH sebesar 0,02 mg/l. Hasil deliniasi ZID berdasarkan hasil model sebaran delta suhu dan TPH tersaji dalam **Gambar 50**. Luasan ZID berdasarkan gambar tersebut adalah 0.029 km^2 (2.9 Ha). Ditinjau dari titik outfall *produce water* (DP-1) ke arah barat daya mencapai 162 m, sedangkan ke arah timur laut mencapai 133 m



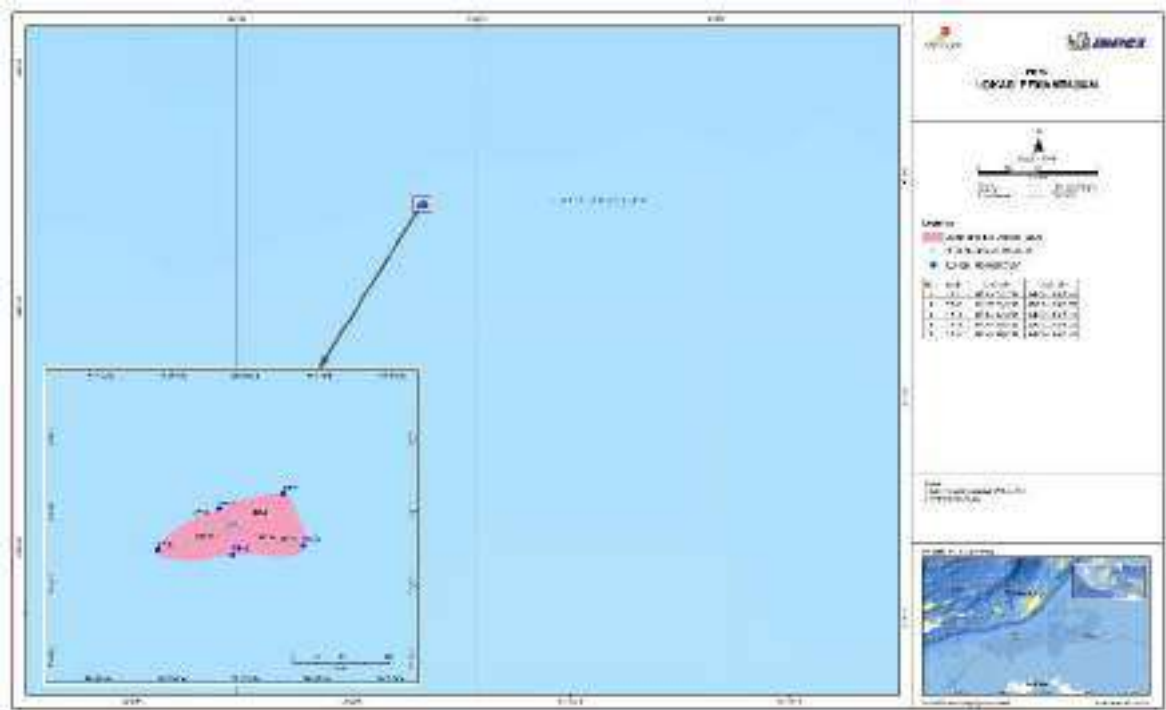
Gambar 50. Area *Zone of Initial Dilution* (ZID) berdasarkan deliniasi model parameter delta suhu dan TPH

Berdasarkan hasil ZID yang diperoleh, selanjutnya ditentukan usulan titik pantau kualitas air laut. Titik pantau yang diusulkan dalam kajian ini terdiri dari 5 titik, koordinat

masing-masing titik ditunjukkan dalam **Tabel 10**, sedangkan peta usulan titik pantau tersebut disajikan dalam **Gambar 51**.

Tabel 10. Koordinat usulan titik pemantauan kualitas air laut

No.	Kode	Lintang	Bujur	Jarak dari titik Outfall (m)				
				DP-1	DP-2	DP-3	DP-4	DP-5
1	TP-1	09° 05' 42,7" LS	130° 31' 28,8" BT	162	166	170	275	174
2	TP-2	09° 05' 43,0" LS	130° 31' 34,0" BT	67	65	63	118	62
3	TP-3	09° 05' 42,4" LS	130° 31' 38,8" BT	161	156	151	31	146
4	TP-4	09° 05' 38,8" LS	130° 31' 37,4" BT	127	123	120	107	117
5	TP-5	09° 05' 39,9" LS	130° 31' 33,0" BT	38	42	47	163	51



Gambar 51. Peta usulan titik pantau kualitas air laut

7. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis kondisi fisik oseanografi dan hasil model sebaran limbah maka dapat disarikan beberapa hal sebagai berikut:

- Kedalaman di lokasi pembuangan limbah cukup ideal untuk area buangan limbah, dimana kedalaman perairan berkisar 500-600 m
- Tipe pasang surut campuran condong harian ganda (*mixed mainly semidiurnal tides*) dengan tunggang pasut (tidal range) sebesar 3,21 m
- Tinggi gelombang signifikan dominan antara 0.5-1 m (40.38%) dan 1-1.5 m (29.5%), sedangkan arah datang gelombang dominan berasal timur dan tenggara (sekitar 60%)
- Arah arus permukaan pada saat musim barat dominan ke timur laut dengan kecepatan 0.06-0.15 m/det, sedangkan pada musim peralihan I, timur dan peralihan II dominan ke barat hingga barat daya dengan kecepatan masing-masing antara 0.15-0.20 m/det, 0.15-0.4 m/det dan 0.2-0.4 m/det
- Pola sebaran air limbah setelah masuk ke badan air penerima bergerak mengikuti arah arus dominan, yakni ke arah timur hingga timur laut saat musim barat dan ke barat daya hingga barat daya saat musim peralihan I, timur dan peralihan II
- Berdasarkan hasil model secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa konsentrasi parameter delta suhu dan TPH setelah masuk dan tercampur oleh air laut tergolong masih tinggi, sehingga kedua parameter ini digunakan sebagai acuan dalam penentuan ZID
- Hasil model parameter minyak dan lemak, residu klorin, salinitas, TSS, BTEX dan klorin bebas tidak ada yang melebihi baku mutu atau tidak di persyaratkan dalam baku mutu badan air penerima. Baku mutu badan air peneriam yang digunakan adalah PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk biota laut.
- Polutan atau limbah hasil model yang digunakan untuk penentuan ZID adalah hasil model delta suhu dan TPH, dimana luasan ZID diperoleh 0.029 km² (2.9 Ha). Ditinjau dari titik outfall *produce water* (DP-1) ke arah barat daya mencapai 162 m, sedangkan ke arah timur laut mencapai 133 m
- Berdasarkan hasil ZID yang telah dibuat selanjutnya ditentukan 5 (lima) usulan titik pantau yang mewakili keseluruhan musim, koordinat titik pantau ditampilkan dalam tabel berikut:

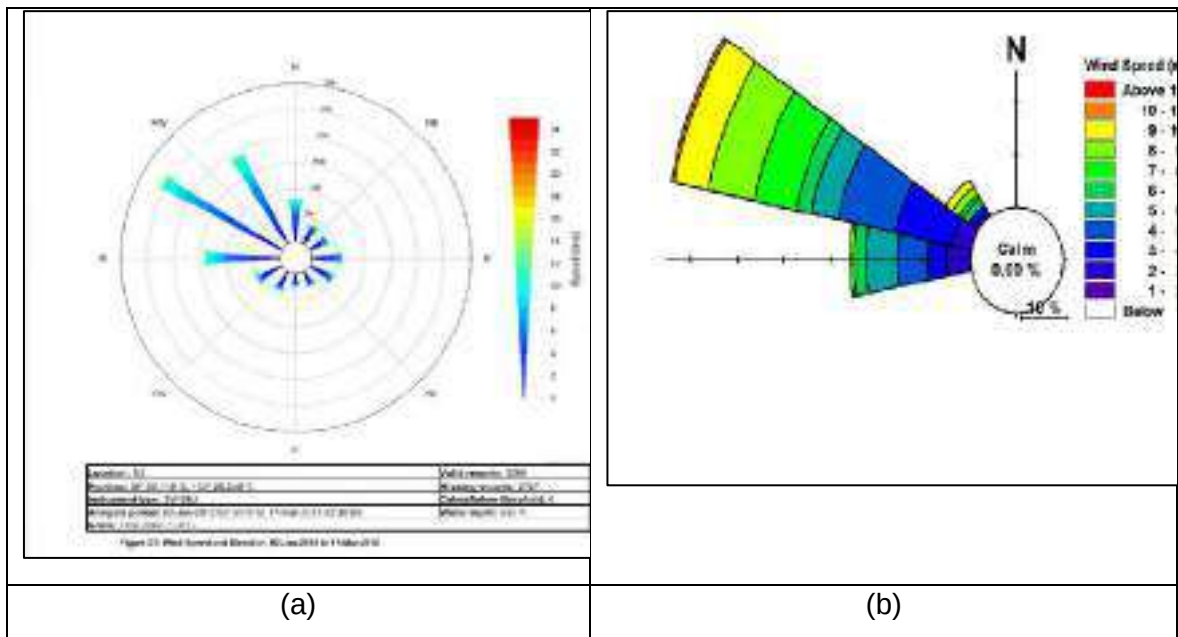
No.	Kode	Lintang	Bujur	Jarak dari titik Outfall (m)				
				DP-1	DP-2	DP-3	DP-4	DP-5
1	TP-1	09° 05' 42,7" LS	130° 31' 28,8" BT	162	166	170	275	174
2	TP-2	09° 05' 43,0" LS	130° 31' 34,0" BT	67	65	63	118	62
3	TP-3	09° 05' 42,4" LS	130° 31' 38,8" BT	161	156	151	31	146
4	TP-4	09° 05' 38,8" LS	130° 31' 37,4" BT	127	123	120	107	117
5	TP-5	09° 05' 39,9" LS	130° 31' 33,0" BT	38	42	47	163	51

8. DAFTAR PUSTAKA

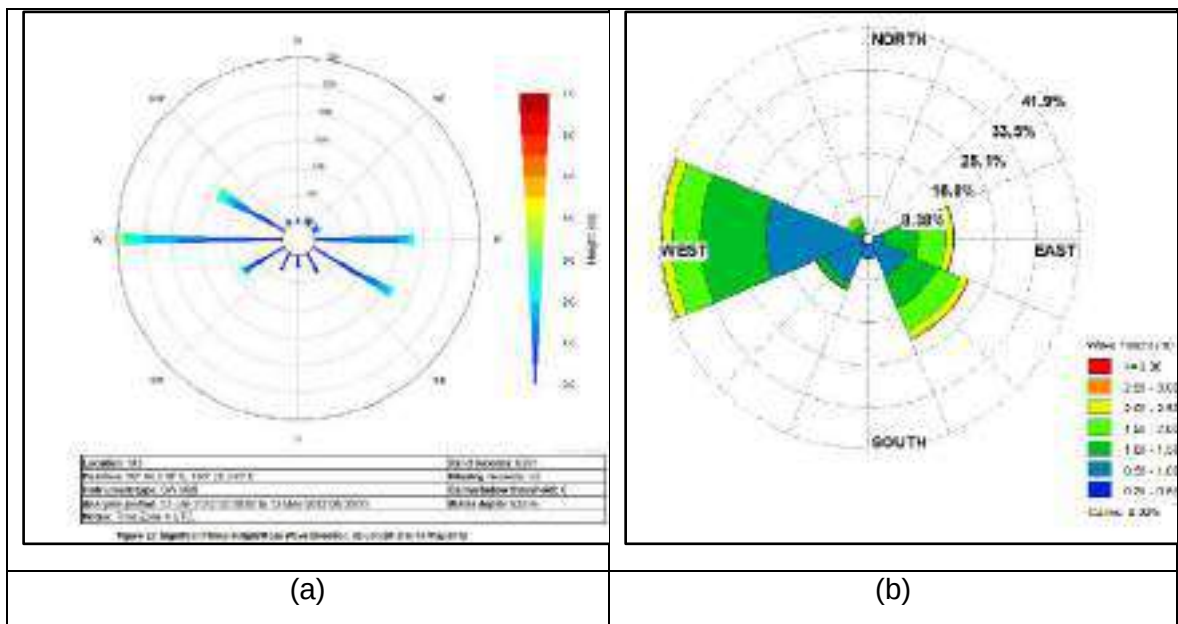
- Danish Hydraulic Institute (DHI) 2012, MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM Hydrodynamic and Transport Module. Scientific Documentation. DHI Software.
- Danish Hydraulic Institute (DHI). 2012, MIKE 21 FLOW MODEL FM, User Guide, DHI Software.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Cetakan Kelima. Yogyakarta : Kanisius
- Hutomo M, Arinardi OH.1992. Dampak Pembangkit Tenaga Listrik (Terutama limbah termal) terhadap Ekosistem Akuatik.Oseana, 17 (4): 135-158
- INPEX Masela, LTD. 2012. METOCEAN DATA GATHERING AND ANALYSIS, PHASE 1. Jakarta : INPEX Masela, LTD. 2012

LAMPIRAN

Lampiran A. Perbandingan data Met-Ocean dan ECMWF



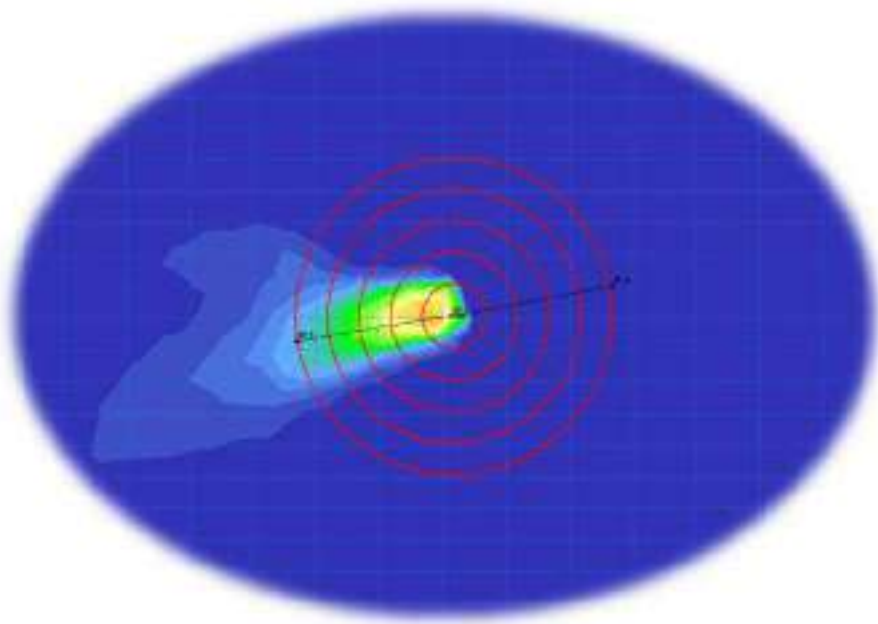
Gambar 1. Windrose berdasarkan pengukuran (kajian met-ocean) bulan Januari-Maret 2012 (kanan) dan Windrose ECMWF bulan Januari-Maret 2010-2020 yang digunakan input pemodelan



Gambar 2. Waverose berdasarkan pengukuran (kajian met-ocean) bulan Januari-Mei 2012 (kanan) dan Waverose ECMWF bulan Januari-Mei 2010-2020 yang digunakan dalam kajian

Studi Pemodelan Sebaran TSS dan TPH Rencana Kegiatan Pembuangan Limbah Pemboran (Lumpur dan Serbuk Bor) Sumur Pengembangan Lapangan Gas Abadi oleh INPEX Masela, LTD di Wilayah Kerja Masela, Laut Arafuru

INPEX Masela, LTD.



LAMPIRAN C	78
LAMPIRAN D.....	95
LAMPIRAN E	112
LAMPIRAN F	125
LAMPIRAN G.....	138
LAMPIRAN H.....	151
LAMPIRAN I	164
LAMPIRAN J.....	173

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR LAMPIRAN	v
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Studi	2
1.3. Manfaat.....	2
1.4. Ruang Lingkup Sudi.....	2
2. METODOLOGI.....	3
2.1. Pengumpulan Data.....	3
2.2. Metode Pemodelan	4
2.2.1. Modul Hidrodinamika (HD).....	4
2.2.2. Modul Mud Transport (MT)	7
2.2.3. Modul Transport (T)	9
2.3. Setup dan Desain Model	10
2.3.1. Domain dan Diskritisasi Model	10
2.3.2. Initial dan Open Boundary	10
2.3.3. Skenario Simulasi Model.....	13
3. KONDISI FISIK OSEANOGRAFI LOKASI STUDI	15
3.1. Kedalaman Perairan.....	15
3.2. Pasang Surut.....	15
3.3. Gelombang	17
3.4. Suhu dan Salinitas	20
4. HASIL PEMODELAN	23
4.1. Hidrodinamika	23
4.1.1. Verifikasi Model Hidrodinamika.....	23
4.1.2. Pola Arus	24
4.2. Sebaran TSS Akibat Pembuangan Lumpur Bor (<i>Used Mud</i>) dan Serbuk Bor (<i>Cutting</i>)	29
4.3. Perubahan Ketebalan Dasar	35
4.4. Sebaran TPH akibat proses dumping serbuk bor jenis lumpur SBM.....	35
4.5. Usulan Titik Pemantauan	37
5. KESIMPULAN	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN A	44
LAMPIRAN B	61

DAFTAR TABEL

1. Spesifikasi data beserta sumbernya yang digunakan dalam kajian pemodelan	3
2. Skenario pembuangan serbuk bor dan lumpur Bor berdasarkan <i>casing</i> pipa pengeboran pada sumur keseluruhan sumur	14
3. Konstanta pasut hasil analisis metode <i>least square</i> berdasarkan data pasut 1-31 Juli 2021	17
4. Elevasi-elevasi penting pasang surut pada tipe pasut harian tunggal (<i>mixed semidiurnal tides</i>)	17
5. Deskripsi statistik tinggi dan periode gelombang selama tahun 2011-2020	18
6. Persentase tinggi dan arah gelombang selama tahun 2011-2020	19
7. Variasi suhu pada lapisan tercampur, lapisan piknoklin dan lapisan dalam	22
8. Konsentrasi TSS maksimum akibat buangan lumpur bor dan serbuk bor berdasarkan jarak dari pusat buangan di sumur DC-1	30
9. Konsentrasi TSS maksimum akibat buangan lumpur bor dan serbuk bor berdasarkan jarak dari pusat buangan di DC-2	32
10. Konsentrasi TSS maksimum akibat buangan lumpur bor dan serbuk bor berdasarkan jarak dari pusat buangan di DC-3	33
11. Konsentrasi TSS maksimum akibat buangan lumpur bor dan serbuk bor berdasarkan jarak dari pusat buangan di DC-4	34
12. Perubahan ketebalan dasar maksimum/sedimen terdeposisi akibat dumping lumpur dan serbuk bor	35
13. Konsentrasi TPH maksimum akibat proses dumping serbuk bor jenis lumpur SBM	37
14. Koordinat usulan titik pantau berdasarkan musim dan masing-masing sumur	37

DAFTAR GAMBAR

1. Lokasi sumur pengeboran.....	1
2. Sistematisasi proses dinamika sedimen di kolom air (Sedimen tersuspensi) dan di dasar perairan.....	8
3. Diskritisasi model dalam bentuk elemen.....	10
4. Rata-rata angin bulanan 2011-2020. (atas) bulan Januari dan (bawah) bulan April	12
5. Rata-rata angin bulanan 2011-2020. (atas) bulan Agustus dan (bawah) bulan Oktober	13
6. Karakteristik kedalaman sekitar lokasi studi	15
7. Grafik fluktuasi pasang surut hasil pengukuran tanggal 1-31 Juli 2021	16
8. Tinggi dan periode gelombang signifikan harian selama tahun 2011-2020	18
9. Mawar gelombang (kiri) dan distribusi frekuensi tinggi gelombang (kanan) selama tahun 2011-2020	20
10. Stasiun lokasi pengukuran suhu dan salinitas dengan CTD.....	20
11. Profil menegak (atas kiri), lapisan termoklin (atas kanan) dan sebaran melintang (bawah) temperatur di sekitar lokasi kajian.....	21
12. Profil menegak (atas kiri), lapisan haloklin (atas kanan) dan sebaran melintang (bawah) salinitas di sekitar lokasi kajian	22
13. Verifikasi pasang surut. (a) Stasiun pasut Saumlaki. (b) Stasiun Pasut FPSO	23
14. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan Januari (Musim Barat)	25
15. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan April (Musim Peralihan I)	26
16. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan Agustus (Musim Timur)	27
17. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan Oktober (Musim Peralihan II).....	28
18. Usulan titik pantau sumur lokasi Drilling Center 1 (DC-1)	38
19. Usulan titik pantau sumur lokasi Drilling Center 2 (DC-2)	39
20. Usulan titik pantau sumur lokasi Drilling Center 3 (DC-3)	40
21. Usulan titik pantau sumur lokasi Drilling Center 4 (DC-4)	41

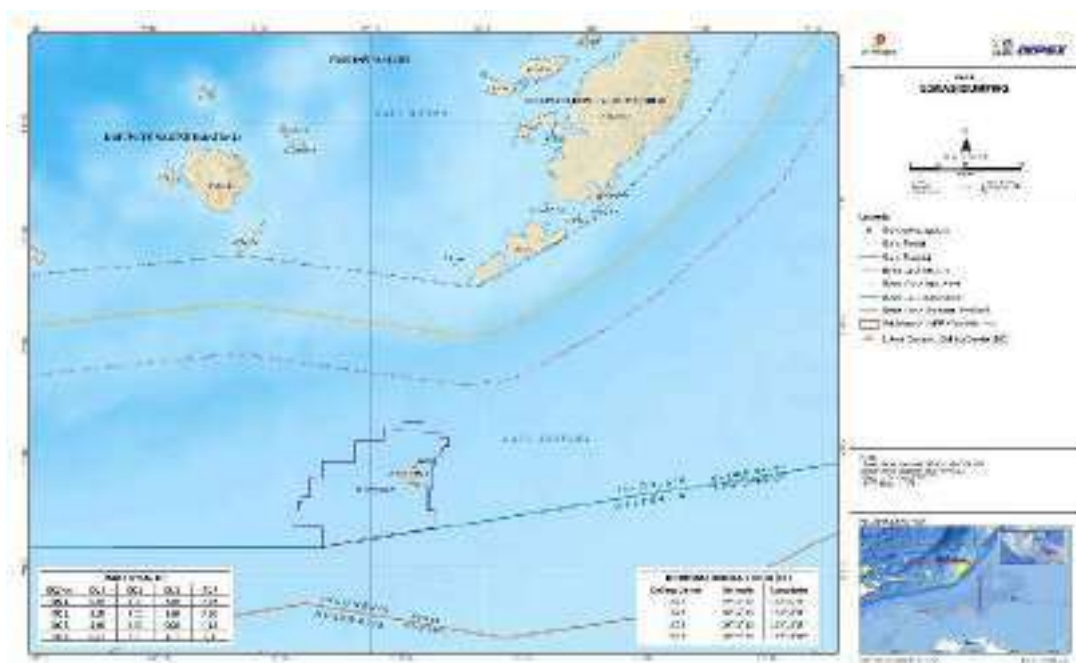
DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran A Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping gabungan lumpur bor dan serbuk bor (section-1 dan section-2) serta hanya akibat dumping lumpur bor (section-3 sampai section-5) di sumur DC-1	44
2. Lampiran B Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping gabungan lumpur bor dan serbuk bor (section-1 dan section-2) serta hanya akibat dumping lumpur bor (section-3 sampai section-5) di sumur DC-2	61
3. Lampiran C Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping gabungan lumpur bor dan serbuk bor (section-1 dan section-2) serta hanya akibat dumping lumpur bor (section-3 sampai section-5) di sumur DC-3.....	78
4. Lampiran D Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping gabungan lumpur bor dan serbuk bor (section-1 dan section-2) serta hanya akibat dumping lumpur bor (section-3 sampai section-5) di sumur DC-4.....	95
5. Lampiran E Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping serbuk bor (<i>cutting</i>) di sumur DC-1	112
6. Lampiran F Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping serbuk bor (<i>cutting</i>) di sumur DC-2	125
7. Lampiran G Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping serbuk bor (<i>cutting</i>) di sumur DC-3	138
8. Lampiran H Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping serbuk bor (<i>cutting</i>) di sumur DC-4	151
9. Lampiran I Sebaran ketebalan dasar maksimum/sedimen terdeposisi akibat dumping lumpur dan serbuk bor.....	164
10. Lampiran J Sebaran dan konsentrasi TPH maksimum akibat dumping Serbuk bor Lumpur SBM di sumur DC-1 hingga DC-4	173

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

INPEX Masela, LTD telah mendapatkan Kontrak Kerjasama (*Production Sharing Contract, PSC*) di Wilayah Kerja Blok Masela dari Pemerintah Indonesia. Dalam upaya memperoleh produksinya, Inpex Masela, Ltd berencana untuk melakukan pengeboran 24 sumur pengembangan di wilayah kerja Masela. Secara geografis, lokasi sumur pengeboran berada di perairan Laut Arafuru, Provinsi Maluku. Gambaran lokasi tersebut disajikan dalam **Gambar 1**



Gambar 1. Lokasi sumur pengeboran

Kegiatan pemboran Sumur Pengembangan Lapangan Gas Abadi akan menggunakan 2 jenis lumpur borm yaitu lumpur bor berbahan dasar air (Water Based Mud/WB) dan lumpur bor berbahan sintetis (Syntethic Based Mud/SBM). Kegiatan pemboran tersebut akan menghasilkan sejumlah limbah, yakni lumpur bor (*used mud*) dan serbuk bor (*drilling cuttings*). Setelah memenuhi peraturan perundangan dan ketentuan yang berlaku, kedua jenis lumpur WBW dan SBM akan dibuang (*dumping*) langsung di perairan titik lokasi pengeboran. Dikarenakan karakter lumpur Bor dan serbuk bor tersebut seperti sedimen fraksi halus hingga kasar, maka pembuangan kedua jenis material tersebut berpotensi meningkatkan kekeruhan atau peningkatan konsentrasi TSS. Selain menyebabkan kekeruhan, limbah serbuk bor jenis SBM juga mengandung TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) sekitar 5% w/w (satuan berat dalam kajian ini kg), sehingga berpotensi mengganggu lingkungan perairan. Berdasarkan peraturan yang ada, aktivitas dan lokasi pembuangan harus mendapatkan persetujuan dari Kementerian Lingkungan Hidup

dan Kehutanan RI (KLHK). Sesuai dengan Permen LHK No. 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah B3, maka salah satu syarat untuk memperoleh persetujuan teknis tersebut adalah melakukan kajian sebaran limbah akibat dumping dari lumpur bor dan serbuk bor.

1.2. Tujuan Studi

Tujuan dari studi ini adalah :

- Menduga peningkatan konsentrasi dan pola sebaran TSS (*Total suspended Solid*) akibat buangan lumpur bor (*used mud*) dan serbuk bor (*drilling cutting*)
- Memperkirakan sebaran dan peningkatan konsentrasi TPH akibat dumping serbuk bor (*drilling cutting*) jenis SBM
- Mengetahui area terdampak pada badan air dengan konsentrasi TSS yang melebihi baku mutu sesuai PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII

1.3. Manfaat

Dari pembuangan lumpur bor dan serbuk bor diharapkan dapat menentukan :

- Diketuainya pola sebaran dan peningkatan konsentrasi TSS dan TPH maksimum pada saat musim barat, peralihan I, musim timur dan peralihan II
- Diketuainya area yang terkena dampak dengan konsentrasi TSS dan TPH yang melebihi baku mutu air laut PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII

1.4. Ruang Lingkup Studi

Berberapa lingkup studi dalam kegiatan ini adalah sebagai berikut:

- Melakukan pengumpulan dan pengolahan data pendukung seperti kedalaman perairan (batimetri), pasang surut, gelombang, arus, suhu dan salinitas, serta limbah pengeboran
- Mensimulasikan sebaran limbah lumpur dan serbuk bor yang dibuang di dekat dasar dan kolom perairan (10 m di bawah msl) dengan menggunakan model DHI MIKE 3 FM
- Menilai kemungkinan konsentrasi maksimum padatan tersuspensi total (TSS) yang disebabkan oleh pelepasan serbuk bor dan lumpur bor di lokasi pembuangan.

2. METODOLOGI

2.1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam kajian ini terdiri dari data meteorologi (angin), oseanografi (batimetri, pasang surut, gelombang, arus, suhu dan salinitas), data limbah pengeboran dan data kualitas air laut. Data yang digunakan merupakan data primer maupun sekunder yang diperoleh berbagai sumber, seperti PUSHIDROSAL, ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), Badan Informasi Geospasial (BIG) dan INPEX Masela, Ltd. Spesifikasi data beserta masing-masing sumber tersaji dalam **Tabel 1**

Tabel 1. Spesifikasi data beserta sumbernya yang digunakan dalam kajian pemodelan

No	Data	Spesifikasi	Sumber
1	Batimetri	Batimetri Nasional dengan resolusi 6 s x 6 s	- Badan Informasi Geospasial (BIG)
		Hasil pengukuran	- INPEX Masela, LTD
2	Angin	Data angin interval per 6 jam tahun 2011-2020	- ECMWF
3	Pasang Surut	Pasang surut untuk verifikasi model hasil pengukuran	- INPEX Masela, LTD
		Elevasi pasut untuk syarat batas atau batas terbuka input model	Prediksi berdasarkan model FES2004
4	Gelombang	Gelombang harian 10 tahun terakhir (2011-2020)	ECMWF
5	Suhu dan salinitas	Suhu dan salinitas berdasarkan stratifikasi kedalaman hasil pengukuran CTD	INPEX Masela, LTD
6	Arus	Arus harian tahun 2020 untuk syarat batas model	Copernicus marine data
		Arus pengukuran untuk verifikasi model	INPEX Masela, LTD
7	Limbah Pemboran	Lumpur bor (<i>used mud</i>) dan Serbuk bor (<i>cutting</i>) meliputi volume, debit, densitas	INPEX Masela, LTD
8	Kualitas air laut	Kualitas air laut berdasarkan analisis sampel dengan parameter mengacu pada PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII	INPEX Masela, LTD

2.2. Metode Pemodelan

Model yang digunakan dalam studi ini adalah model numerik dalam bentuk *software user interface* dengan nama DHI MIKE yang dikembangkan oleh *Danish Hydraulic Institute* (DHI) *Water and Environment*, Denmark. Di dalam model DHI MIKE terdiri dari beberapa paket model, akan tetapi dalam studi ini paket model yang digunakan adalah DHI MIKE 3 Flow Model FM. Paket ini merupakan paket model yang digunakan untuk pemodelan 3 dimensi dengan pendekatan berdasarkan *cell-centred finite volume method* (metode volume hingga). Di dalam paket model ini terdiri dari beberapa modul untuk menyelesaikan beberapa permasalahan yang terjadi di lingkungan perairan, akan tetapi dalam studi ini hanya menggunakan modul Hidrodinamika (HD), Modul *Mud Transport* (MT) dan modul Transport (T). 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.

2.2.1. Modul Hidrodinamika (HD)

Dasar persamaan yang digunakan dalam pemodelan hidrodinamika ini adalah kontinuitas dan persamaan momentum dengan menggunakan solusi 3 dimensi tak mampat (*incompressible*) Reynolds persamaan Navier-Stokes, dengan asumsi Boussinesq dan tekanan hidrostatik. Persamaan kontinuitas dituliskan sebagai berikut

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (1)$$

Selanjutnya persamaan momentum arah x dan arah y berturut-turut dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = f_v - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + \\ F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(V_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = f_v - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \\ F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(V_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \end{aligned} \quad (3)$$

dimana,

t	: waktu.
x, y & z	: koordinat kartesian.
η	: tinggi muka laut.
d	: kedalaman perairan.
h	: ($\eta + h$)

u, v & w	: komponen kecepatan arus arah zonal, meridional dan vertikal.
f	: komponen koriolis ($2\Omega \sin \phi$) dimana Ω adalah kecepatan rotasi bumi dan ϕ adalah posisi lintang
g	: percepatan gaya gravitasi bumi.
ρ	: densitas air sungai.
S_{xx}, S_{xy}, S_{yx} & S_{yy}	: radiasi tensor tekanan massa air pada komponen xx, xy, yx dan yy.
vt	: turbulensi vertikal.
P_a	: tekanan udara
ρ_0	: referensi densitas air.
S	: debit dari sumber.
U_s & V_s	: kecepatan debit aliran

- Tegangan horisontal digambarkan sebagai gradien tekanan yang disederhanakan sebagai

$$F_u + \frac{\partial}{\partial x} \left(2A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad (4)$$

$$F_v + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad (5)$$

Dimana, A adalah eddy viscosity horisontal

- Syarat batas (*boundary condition*) permukaan dan dasar komponen u,v dan w dituliskan sebagai berikut

- Saat $Z = \eta$, menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} - w = 0, \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_t} (\tau_{sx}, \tau_{sy}) \quad (6)$$

- Saat $Z = -d$, menggunakan persamaan berikut

$$u \frac{\partial d}{\partial x} + v \frac{\partial d}{\partial y} + w = 0, \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_t} (\tau_{bx}, \tau_{by}) \quad (7)$$

Dimana, (τ_{sx}, τ_{sy}) dan (τ_{bx}, τ_{by}) masing-masing merupakan gaya gesek angin dan dasar perairan arah x dan arah y.

- Total kedalaman (h) dapat diperoleh dari kinematika kondisi batas (*boundary condition*) dipermukaan setelah medan kecepatan diketahui dari persamaan momentum dan kontinuitas, namun demikian persamaan cenderung lebih kuat apabila mengintegrasikan persamaan kontinuitas lokal sebagai berikut

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{v}}{\partial y} = hS + \hat{P} - \hat{E} \quad (8)$$

Dimana, $\hat{P}$ dan $\hat{E}$ masing-masing adalah evaporasi dan curah hujan, sedangkan $\bar{u}$ dan $\bar{v}$ kecepatan arus yang dirata-ratakan terhadap kedalaman.

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz, \quad h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad (9)$$

- Fluida diasumsikan sebagai aliran tak mampat (*incompressible*), akan tetapi densitas (ρ) tidak tergantung dengan tekanan, melainkan pada suhu (T) dan salinitas (s) dengan persamaan sebagai berikut (UNESCO dalam DHI, 2012)

$$\rho = \rho(T, S) \quad (10)$$

- Perpindahan (*Transport*) suhu dan salinitas dijabarkan sebagai persamaan difusi sebagai berikut

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S \quad (11)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} + \frac{\partial vS}{\partial y} + \frac{\partial wS}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial S}{\partial z} \right) + \hat{H} + S_s S \quad (12)$$

Dimana D_v merupakan koefisien turbulensi vertikal (*eddy*); $\hat{H}$ adalah koefisien pertukaran bahang dengan atmosfer. T_s dan S_s masing-masing menyatakan sumber suhu dan salinitas

- Difusi horisontal (F) didefinisikan sebagai berikut

$$(F_T, F_s) = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] (T, s) \quad (13)$$

Dimana D_h adalah koefisien difusi horisontal. Koefisien difusi berhubungan dengan eddy viskositas yang dijabarkan dalam persamaan berikut

$$D_h = \frac{A}{\sigma_T} \quad \text{dan} \quad D_v = \frac{V_t}{\sigma_T} \quad (14)$$

Dimana σ_T adalah bilangan Prandtl

- Syarat batas (*boundary condition*) suhu di dasar dan permukaan perairan dijabarkan sebagai berikut

- Saat $z = \eta$, maka :

$$D_h \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{Q}{\rho_0 c_p} + T_p \hat{P} - T_e \hat{E} \quad (15)$$

- Saat $z = -d$, maka:

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad (16)$$

Dimana Q_n merupakan fluks bersih bahang permukaan dan $c_p = 4217 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{K})$ adalah bahang spesifik air

- Syarat batas (*boundary condition*) salinitas di permukaan dan dasar dijabarkan sebagai berikut

- Saat $z = \eta$, maka :

$$\frac{\partial S}{\partial z} = 0 \quad (17)$$

- Saat $z = -d$ maka :

$$\frac{\partial S}{\partial z} = 0 \quad (18)$$

- Selanjutnya ketika mempertimbangkan evaporasi dalam pertukaran bahang di atmosfer, maka persamaannya adalah sebagai berikut

$$\hat{E} = \begin{cases} \frac{q_v}{\rho_0 l_v} & q_v > 0 \\ 0 & q_v \leq 0 \end{cases} \quad (19)$$

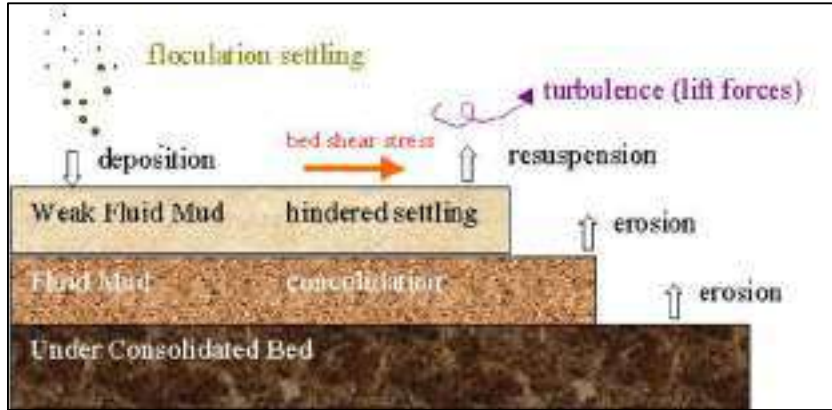
Dimana q_v merupakan fluks bahang laten dan $l_v = 2,5 \times 10^6$ adalah bahang laten penguapan air

2.2.2. Modul Mud Transport (MT)

Modul Mud Transport (MT) digunakan untuk menyelesaikan dinamika sedimen ketika masuk ke perairan. Modul model ini telah mengakomodir proses dinamika sedimen di kolom perairan dan dasar perairan, proses dinamika sedimen meliputi:

- Proses *floculation* yaitu bertambahnya densitas sedimen tersuspensi karena proses adsorpsi dan absorpsi sedimen sehingga densitas sedimen di kolom air lebih berat daripada massa air dan terdisposisi dengan kecepatan tertentu mengendap ke dasar perairan
- Adanya tekanan gesekan dasar perairan oleh massa air sehingga sedimen yang telah mengendap akan menggelinding diikuti dengan adanya turbulen di kolom air mengakibatkan sedimen tersebut tersuspensi kembali ke kolom air.
- Proses dinamika sedimen tersebut dapat diikuti pada lapisan sedimen berikutnya karena adanya gaya pembangkit erosi sedimen dasar perairan.
- Sedimen yang telah tersuspensi kembali melalui proses resuspensi maupun adanya erosi akan kembali lagi mengalami *floculation* dan terdeposisi kembali.

Gambaran sistematis proses dinamika sedimen di kolom air (Sedimen tersuspensi) dan di dasar perairan yang terakomodir dalam Modul Mud Transport diperlihatkan dalam **Gambar 2**



Gambar 2. Sistematika proses dinamika sedimen di kolom air (Sedimen tersuspensi) dan di dasar perairan

Pada dasarnya persamaan pembangun Modul Mud Transport yang digunakan adalah berdasarkan Mehta *et al.* dalam DHI (2012). Perpindahan sedimen kohesif (*mud transport*) digambarkan sebagai pergerakan sedimen dalam fluida dan interaksi antara sedimen dengan dasar. Pergerakan sedimen secara umum digambarkan dengan persamaan sebagai berikut (e.g. Teisson dalam DHI, 2012):

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial uc}{\partial x} + \frac{\partial vc}{\partial y} + \frac{\partial wc}{\partial z} - \frac{\partial w_s c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v_{Tx}}{\sigma_{Tx}} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_{Ty}}{\sigma_{Ty}} \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_{Tz}}{\sigma_{Tz}} \frac{\partial c}{\partial z} \right) + S \quad (20)$$

dimana,

- t : waktu
- x,y,z : koordinat kartesian
- u,v,w : kecepatan komponen arus
- c : konsentrasi
- w_s : kecepatan jatuh sedimen
- σ_{Tx} : bilangan turbulen schmidt
- VT_x : anistropik eddy viskositas
- S : debit buangan

➤ Laju deposisi dinyatakan dengan persamaan (Krone dalam DHI, 2012) berikut:

$$S_D = w_s c_b p_d \quad (21)$$

dimana:

- S_D : laju deposisi
- w_s : kecepatan jatuh sedimen (m/s)
- c_b : konsentrasi dekat dasar (kg/m³)
- p_d : probability deposisi : $1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}}$, $\tau_b \leq \tau_{cd}$

τ_b : tegangan geser dasar (N/m²)
 τ_{cd} : tegangan geser dasar kritis untuk deposisi (N/m²)

- Mehta *et al.* dalam DHI (2012), menggambarkan laju erosi dasar dengan persamaan berikut:

$$S_E = E \left(\frac{\tau_b}{\tau_{ce}} - 1 \right), \quad \tau_b > \tau_{ce} \quad (22)$$

dimana:

E : erodibility dasar (kg/m²/s)
 τ_{ce} : tegangan geser dasar kritis untuk erosi (N/m²)

- Kecepatan jatuh sedimen, diformulasikan dengan persamaan berikut (Rijn, 1984; Yalin, 1972; Engelund, Fredsoe, 1976):

$$w = \begin{cases} \frac{(s-1)gd^2}{18\nu} & d < 100\mu\text{m} \\ \frac{10\nu}{d} \left\{ \left[1 + \frac{0.01(s-1)gd^3}{\nu^2} \right]^{0.5} - 1 \right\} & 100 < d \leq 1000\mu\text{m} \\ 1.1[(s-1)gd]^{0.5} & d > 1000\mu\text{m} \end{cases}$$

2.2.3. Modul Transport (T)

Modul Transport digunakan untuk pemodelan sebaran polutan atau limbah, dalam studi ini polutan yang dimodelkan adalah TPH (total petroleum hidrokarbon). Model sebaran polutan diselesaikan dengan persamaan adveksi-dispersi dengan mengasumsikan bahwa parameter polutan tersebut merupakan komponen konservatif. Persamaan adveksi-dispersi dapat dituliskan sebagai berikut

$$\frac{\partial}{\partial t}(hc) + \frac{\partial}{\partial x}(uhc) + \frac{\partial}{\partial y}(vhc) = \frac{\partial}{\partial x} \left(h \cdot D_x \cdot \frac{\partial}{\partial x} \right) + \left(h \cdot D_y \cdot \frac{\partial}{\partial y} \right) - F \cdot h \cdot c + S$$

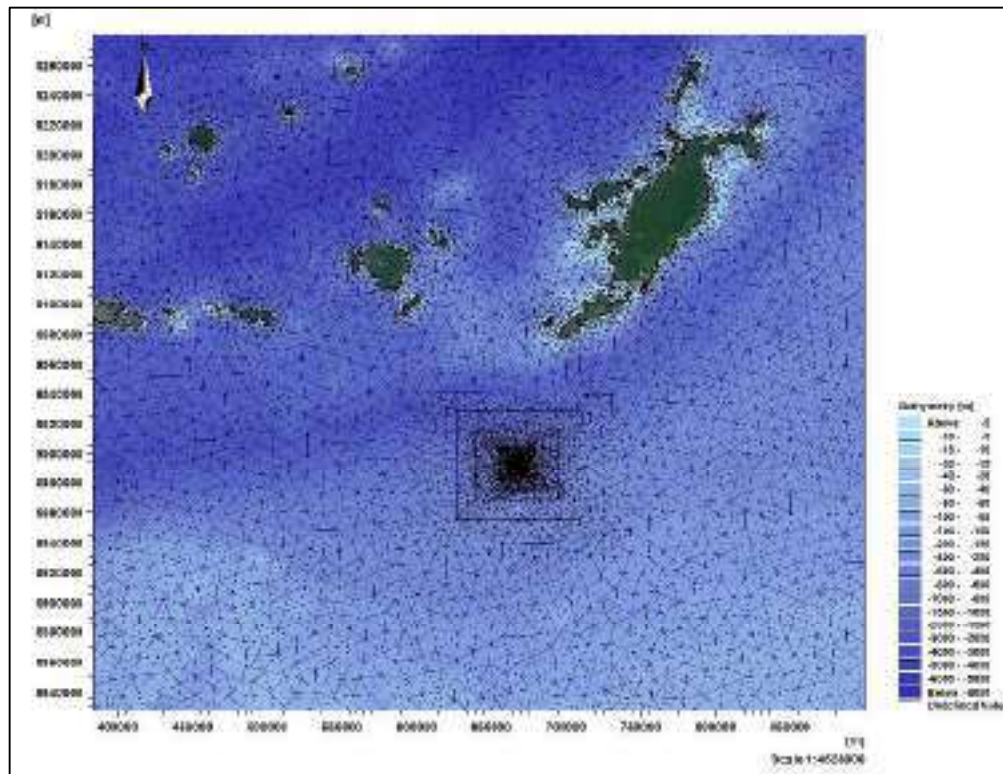
Dimana :

c : konsentrasi polutan rata-rata terhadap kedalaman
 u, v : kecepatan aliran yang dirata-ratakan terhadap kedalaman (m/s)
 D_x, D_y : koefisien dispersi (m²/s)
 h : kedalaman (m)
 F : koefisien peluruhan/pelarutan (sec-1)
 S : $Q_s, (C_s - c)$
 Q_s : debit polutan per satuan luas horizontal (m³/s/m²)
 C_s : konsentrasi polutan dari debit

2.3. Setup dan Desain Model

2.3.1. 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 (elemen) 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. Gambaran diskritisasi area model secara horisontal (*horizontal plane*) diperlihatkan pada **Gambar 3**



Gambar 3. Diskritisasi model dalam bentuk elemen

2.3.2. Initial dan Open Boundary

(a) 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 menggunakan nilai nol atau muka air dianggap rata, sementara komponen arus menggunakan model global yang dikembangkan oleh *marine copernicus*. Kondisi awal yang digunakan dalam model Mud Transport (perpindahan sedimen) adalah konsentrasi TSS. Dalam kajian nilai konsentrasi awal TSS di perairan di anggap nol atau konsentrasi TSS akibat dumping merupakan nilai peningkatan (penambahan).

(b) Syarat batas (*boundary condition*)

Kondisi batas yang digunakan dalam pemodelan hidrodinamika terdiri batas tertutup (*closed boundary*), batas terbuka laut (*Open Sea Boundary Condition*), batas permukaan bebas (*Free Surface Boundary Condition*) dan debit (*discharge*). Dalam studi ini kondisi batas yang digunakan hanya terdiri dari batas tertutup (*closed boundary*) dan batas terbuka (*open boundary*) serta *Free Surface Boundary Condition*, sedangkan batas debit tidak digunakan. Hal ini dikarenakan debit dari sungai yang mengalir di area studi dianggap tidak berpengaruh signifikan terhadap hidrodinamika di area fokus kajian. Untuk syarat batas/kondisi batas dalam model mud transport sama dengan nilai kondisi awal (*initial 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.

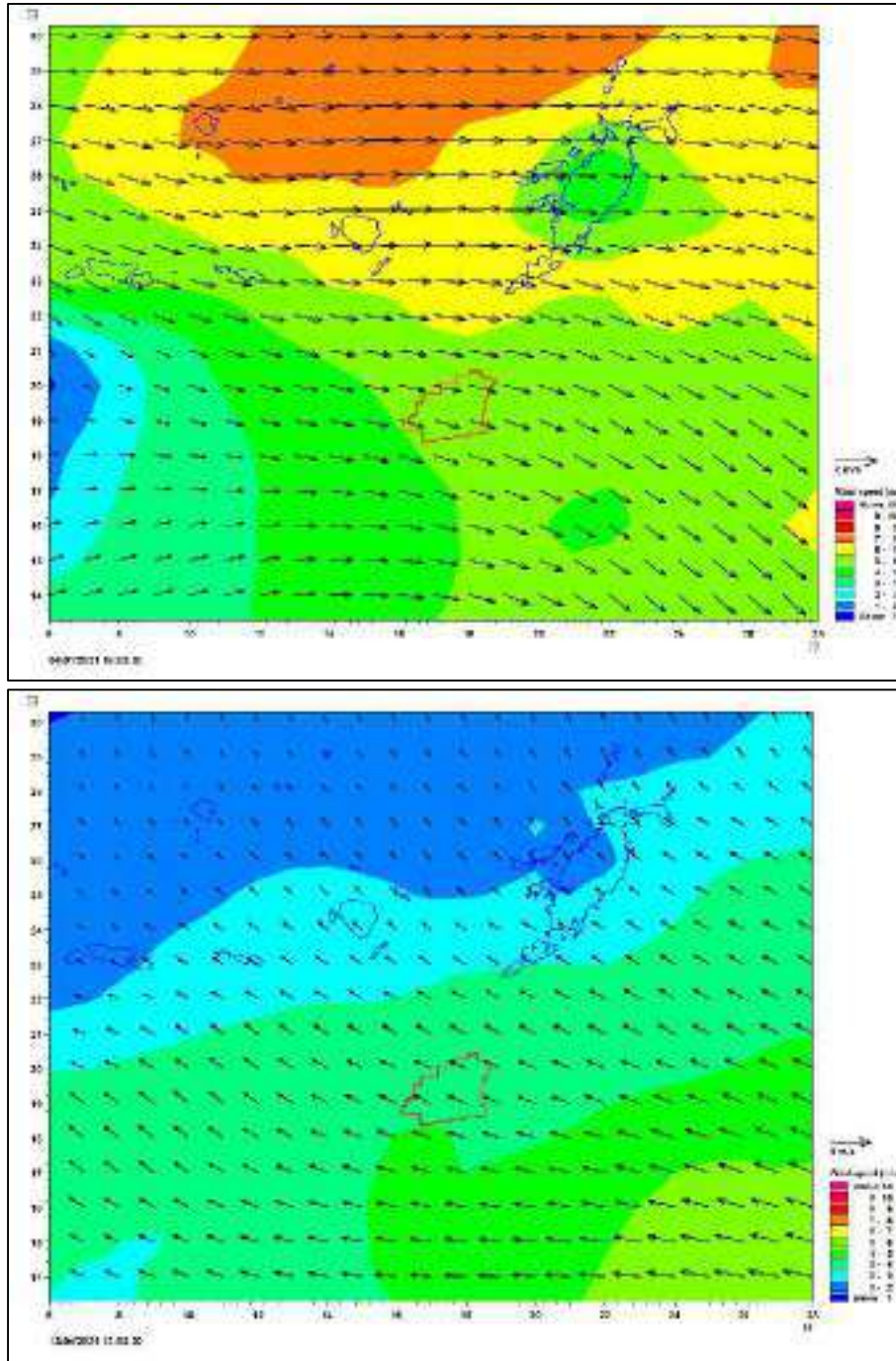
➤ **Batas terbuka (*Open Sea Boundary Condition*)**

Batas terbuka yang digunakan dalam kajian ini adalah data pasang surut. Data tersebut adalah ramalan dari AG95 (*updated to* Andersen 2006) yang dikembangkan oleh Ole Baltazar Andersen. Model ini merupakan suatu model peramalan pasang surut global dengan resolusi $0,125^\circ \times 0,125^\circ$ yang merupakan data asimilasi dari data TOPEX/Poseidon dengan menggunakan pendekatan *finite element*. Lokasi pemodelan pada studi ini akan menggunakan tiga batas terbuka pasang surut, yakni batas utara (*north boundary*), batas timur (*easth boundary*) dan batas selatan (*south boundary*). Data ramalan pasut yang digunakan sebagai batas terbuka bervariasi terhadap ruang dan waktu.

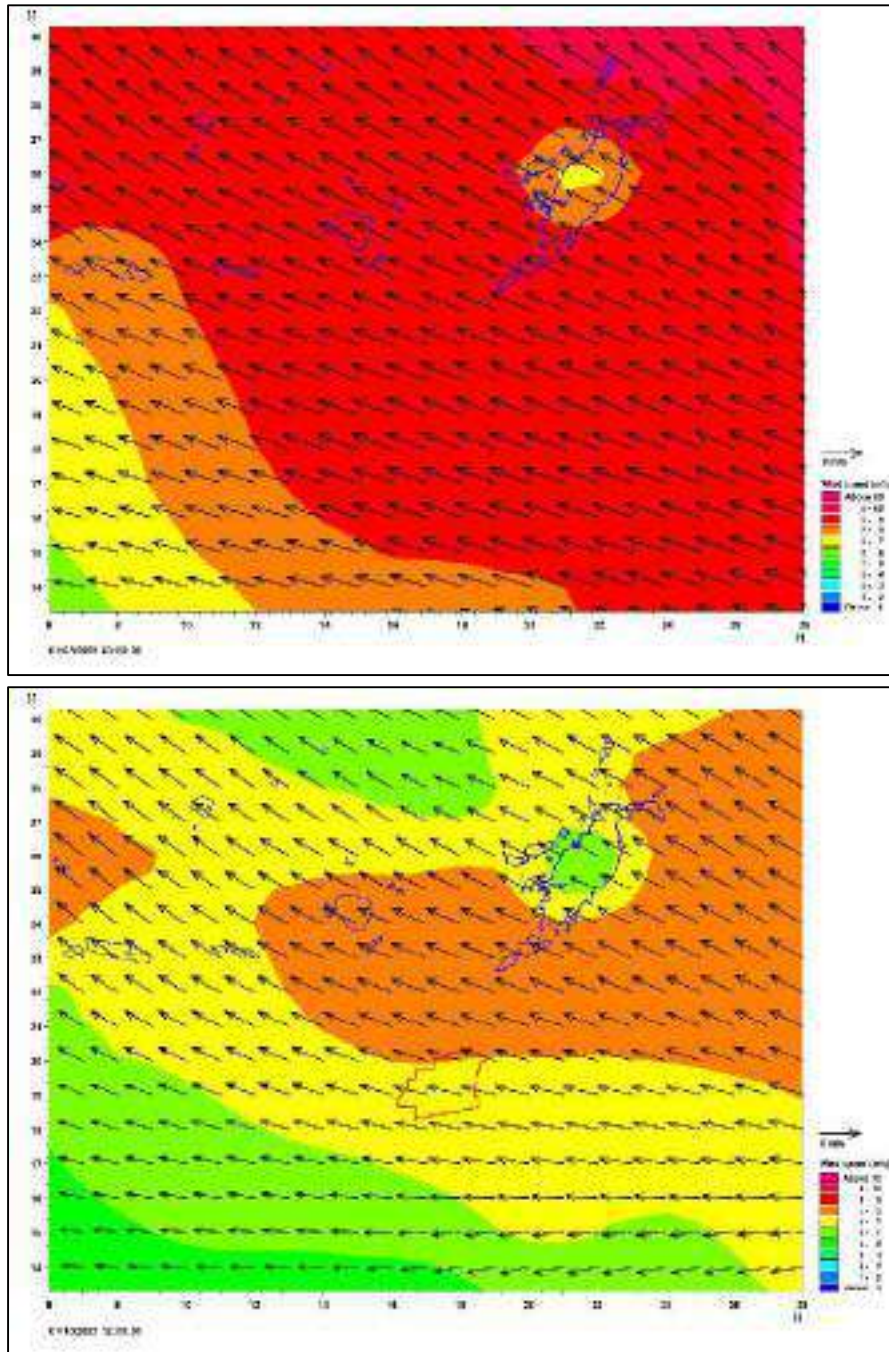
➤ **Batas permukaan bebas (*Free Surface Boundary Condition*)**

Batas permukaan yang digunakan dalam kajian ini adalah angin, hal ini dikarenakan pergerakan angin di permukaan perairan akan mengubah kecepatan arus dibawahnya karena efek tegangan geser (*shear stress*). Data angin masukan model diperoleh dari ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) yang merupakan data reanalisis dari gabungan data seluruh Badan Meteorologi dunia. Data angin mempunyai interval

waktu tiap 3 jam dengan resolusi spasial $1,5^{\circ} \times 1,5^{\circ}$ dengan cakupan global. 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). Gambaran data angin yang digunakan input model disajikan dalam **Gambar 4** dan **Gambar 5**



Gambar 4. Rata-rata angin bulanan 2011-2020. (atas) bulan Januari dan (bawah) bulan April



Gambar 5. Rata-rata angin bulanan 2011-2020. (atas) bulan Agustus dan (bawah) bulan Oktober

2.3.3. Skenario Simulasi Model

(a) Skenario Simulasi

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

(b) Skenario Pembuangan (*dumping*) Lumpur dan Serbuk bor

Waktu simulasi dumping limbah pengeboran mengikuti simulasi hidrodinamika, yakni dilakukan pada Musim Barat, Musim Peralihan I, Musim Timur dan Musim Peralihan II. Sementara itu, skenario pembuangan serbuk bor dan lumpur bor mengikuti pergantian *casing* pipa pengeboran. Skenario pembuangan serbuk bor dan lumpur bor berdasarkan casing pipa meliputi volume, durasi pembuangan dan debit buangan untuk keseluruhan sumur diperlihatkan dalam **Tabel 2**. Pembuangan limbah TPH pada proses pengeboran hanya pada saat menggunakan jenis lumpur SBM dan hanya terdapat pada jenis limbah serbuk bor, sehingga simulasi pembuangan limbah TPH mengikuti dumping serbuk bor saat menggunakan lumpur SBM

Tabel 2. Skenario pembuangan serbuk bor dan lumpur Bor berdasarkan *casing* pipa pengeboran pada sumur keseluruhan sumur

Tahapan	Ukuran Lubang	Jenis Lumpur	Jenis Limbah	Volume (m3)	Debit (m3/jam)	Durasi (jam)	Kedalaman dumping (m)
Tahap-1	36"	Sea Water	Serbuk bor	79	28.3	10	Dasar Laut (Riserless)
			Lumpur bor	283			
Tahap-2	26"	Sea Water	Serbuk bor	184	40.1	21	
			Lumpur bor	851			
Tahap-3	17 ½"	WBM	Serbuk bor	302	2.7	113	10 m di bawah msl
			Lumpur bor	2293	20.3		
Tahap-4	12¾"	SBM	Serbuk bor	105	1.3	82	10 m di bawah msl
			Lumpur bor	-	-		
Tahap-5	8 ½"	WBM	Serbuk bor	27	0.7	40	10 m di bawah msl
			Lumpur bor	2110	52.3		

Keterangan:

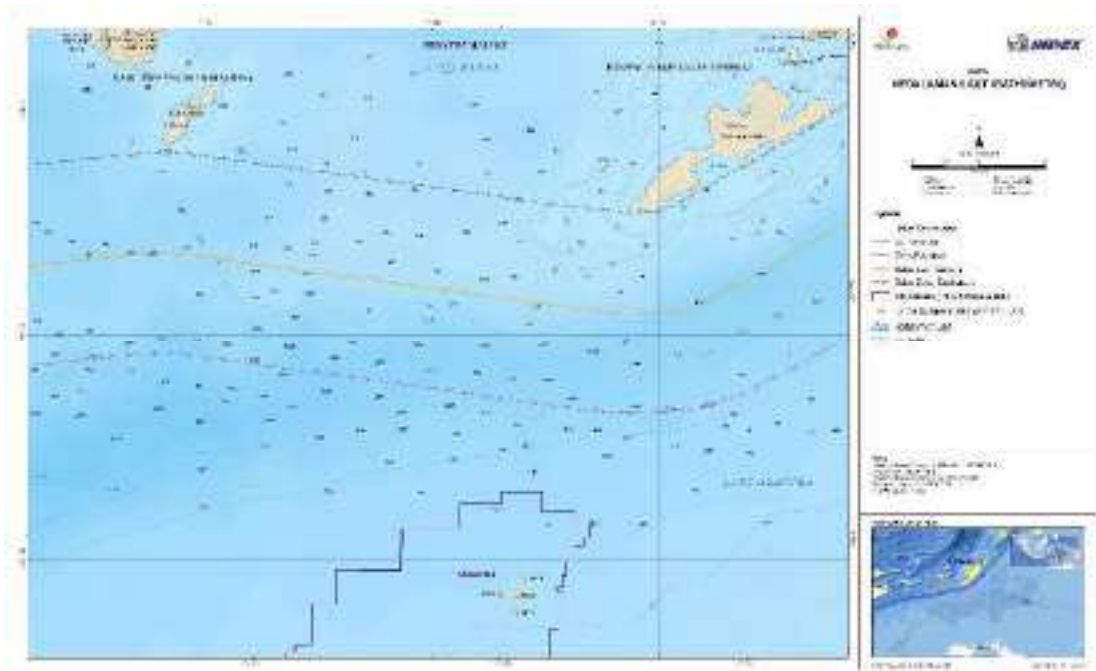
- Lumpur SBM tidak dibuang, namun digunakan kembali pada pemboran sumur lain dan sisanya dibawa ke darat dan diserahkan kepada Kontraktor penyedia lumpur
- Pada section-1 dan section-2 (36" dan 26") lumpur dan serbuk bor di buang secara bersamaan dekat dasar (*riserless*)

3. KONDISI FISIK OSEANOGRAFI LOKASI STUDI

3.1. Kedalaman Perairan

Kedalaman perairan merupakan salah satu parameter penting dalam kajian lingkungan perairan. Jika dikaitkan dengan suatu polutan atau limbah, sebagai contoh adalah limbah kegiatan pengeboran, maka kedalaman adalah salah satu faktor yang mempengaruhi pengenceran limbah tersebut ketika masuk ke perairan. Umumnya semakin dalam perairan maka limbah akan mudah cepat terencerkan, sebaliknya ketika perairan dangkal maka pengenceran akan lebih lambat, selain itu faktor hidrodinamika tentunya juga sangat berperan penting dalam pendistribusi dan pengencer limbah ketika masuk ke perairan.

Karakteristik kedalaman sekitar lokasi studi diperlihatkan dalam **Gambar 6**, dimana kedalaman perairan digambarkan dalam kontur kedalaman dalam satuan meter. Pada gambar tersebut terbaca skala warna yang menunjukkan gradien kedalaman laut mulai dari biru terang hingga biru gelap, biru terang menunjukkan perairan dangkal dan biru gelap menandakan bagian dari perairan yang lebih dalam. Kedalaman lingkungan perairan sekitar lokasi studi cukup bervariasi, dimana di sekitar wilayah kajian kedalaman mencapai 500-1000 m. Kedalaman di sekitar rencana pengeboran berkisar 600 m.



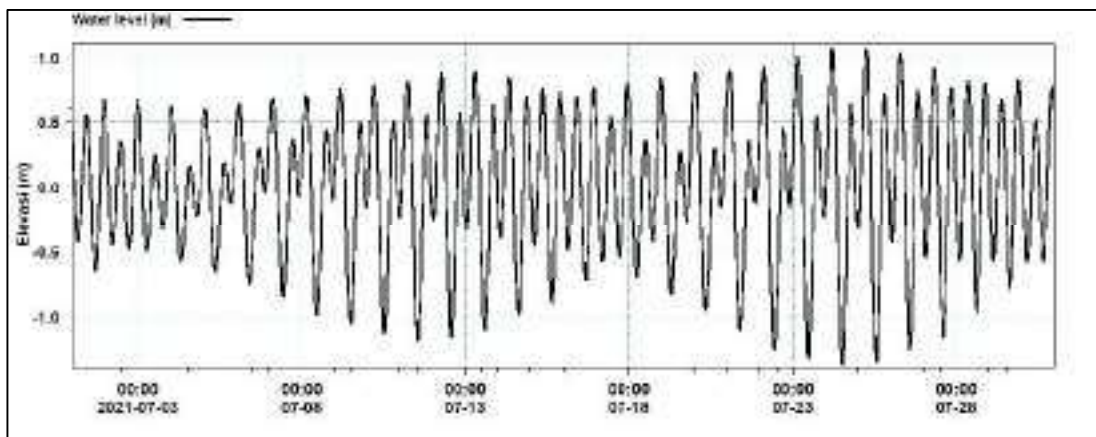
Gambar 6. Karakteristik kedalaman sekitar lokasi studi

3.2. Pasang Surut

Pasang surut (pasut) adalah proses naik turunnya paras laut (sea level) secara berkala yang ditimbulkan oleh adanya gaya tarik dari benda-benda angkasa, terutama

matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Selain untuk keperluan teknis perencanaan bangunan pantai dan navigasi, pasang surut merupakan salah satu parameter penting dalam kajian lingkungan akibat suatu kegiatan di perairan. Sebagai contoh jika ada suatu perairan karakter arusnya sangat dipengaruhi oleh pasang surut, maka suatu polutan yang masuk ke perairan tersebut karakter pergerakannya akan sangat dipengaruhi oleh pasang surut.

Data pasang surut di perairan lokasi studi diperoleh berdasarkan hasil pengukuran secara langsung di lapangan yang dilakukan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) di stasiun Saumlaki. Data tersebut berupa nilai elevasi muka laut yang diukur pada tanggal 1-31 Juli 2021 dengan interval data tiap 1 jam. Grafik series data pasut pengukuran tersebut diperlihatkan dalam **Gambar 7**.



Gambar 7. Grafik fluktuasi pasang surut hasil pengukuran tanggal 1-31 Juli 2021

Selanjutnya data pasut yang diperoleh dianalisis dengan metode *least square* untuk memperoleh konstanta harmonis pasut yang diperlihatkan dalam **Tabel 3**. Berdasarkan tabel tersebut terlihat amplitudo komponen pasut ganda (semidiurnal) memperlihatkan nilai yang dominan dibandingkan dengan pasut tunggal (diurnal), total amplitudo pasut ganda yang terdiri dari S2, M2, N2 dan K2 mencapai 59,43%, sedangkan pada pasut tunggal (K1, O1 dan P1) persentasenya lebih kecil, yakni 40,25%, sisanya merupakan pasut perairan dangkal (M4 dan MS4) yang persentasenya tergolong kecil, yakni sekitar 0,32%. Secara kuantitatif, tipe pasut di perairan studi ditentukan dengan menghitung perbandingan (nisbah) antara amplitudo unsur-unsur pasut tunggal utama (K1+O1) dengan amplitudo unsur-unsur pasut ganda utama (M2+S2) atau dikenal sebagai bilangan Formzhal. Hasil perhitungan bilangan Formzhal diperoleh nilai sebesar 0,69, berdasarkan kriteria *courtier range* nilai tersebut termasuk dalam tipe pasang campuran harian ganda (*mixed semidiurnal tides*). Tipe pasut ini merupakan tipe pasut yang dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, akan tetapi terdapat perbedaan amplitudo. Secara visual tipe pasut tersebut juga dapat dilihat pada **Gambar 7**, dimana gambar tersebut memperlihatkan pasang surut dalam sehari terjadi 2 kali dan dua kali surut, akan tetapi amplitudonya tidak simetris.

Tabel 3. Konstanta pasut hasil analisis metode *least square* berdasarkan data pasut 1-31 Juli 2021

Kontantan Pasut	S_0	M_2	S_2	K_1	O_1	N_2	K_2	P_1	M_4	MS_4
Amplitudo (m)	0.00	0.62	0.16	0.32	0.21	0.13	0.04	0.11	0.003	0.003
Beda Fase (°)		152	224	205	187	116	224	205	84	195

Berdasarkan konstanta yang diperoleh, elevasi-elevasi penting pasut dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa persamaan seperti diperlihatkan pada **Tabel 4**. Tunggang pasut yang digunakan mengacu pada pada tinggi muka air laut rata-rata (MSL). Dari hasil perhitungan diperoleh muka air tertinggi (HAT) diperoleh 1.6 m. Muka air tertinggi (HHWL) dan terendah (LLWL) pada saat purnama maupun bulan mati menngacu muka air rata-rata masing-masing diperoleh 1.47 m dan -1.47 m.

Rata-rata air tertinggi baik kondisi bulan purnama maupun bulan mati (MHWS) diperoleh 0.78 m, sedangkan air rendah pada rata-rata surut (MLWS) diperoleh -0,78 m. Nilai tunggang pasut pada air tinggi rata-rata pasang selama periode 19.60 tahun (MHWS) untuk referensi MSL sebesar 1.15 m, sedangkan untuk air rendah pada rata-rata surut (MLWL) sebesar -1.15 m. Nilai tunggang pasut atau jarak antara pasang tertinggi dan surut terendah berdasarkan keseluruhan komponen diperoleh 3.21 m

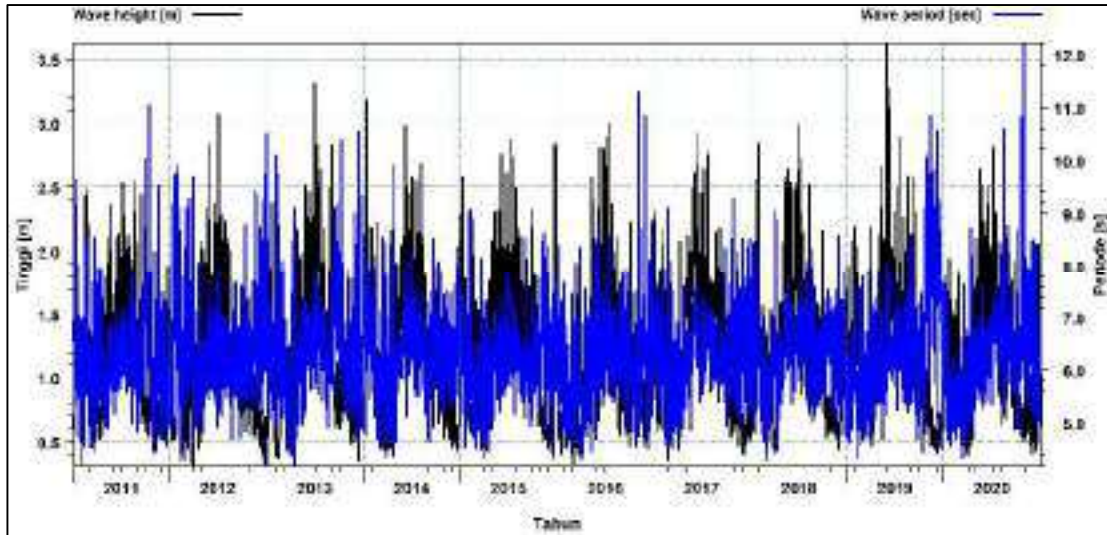
Tabel 4 Elevasi-elevasi penting pasang surut pada tipe pasut harian tunggal (*mixed semidiurnal tides*)

Design water level	Symbol	Calculation	Referensi
			MSL (m)
Highest Astronomical Tide	HAT	$Z_0 + (\text{all constituents})$	1.60
Higher High Water Level	HHWL	$Z_0 + (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1)$	1.47
High Water Spring	HWS	$Z_0 + (M_2 + S_2 + K_1 + O_1)$	1.32
Mean High Water Spring	MHWS	$Z_0 + (M_2 + S_2)$ or $Z_0 + (K_1 + O_1)$	0.78
Mean High Water Level	MHWL	$Z_0 + (M_2 + K_1 + O_1)$	1.15
Mean Sea Level	MSL	Z_0	0.00
Mean Low Water Level	MLWL	$Z_0 - (M_2 + K_1 + O_1)$	-1.15
Mean Low Water Spring	MLWS	$Z_0 - (M_2 + S_2)$ or $Z_0 - (K_1 + O_1)$	-0.78
Chart Datum Level	CDL	$Z_0 - (M_2 + S_2 + K_1 + O_1)$	-1.32
Lower Low Water Level	LLWL	$Z_0 - (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1)$	-1.47
Lowest Astronomical Tide	LAT	$Z_0 - (\text{all constituents})$	-1.60

3.3. Gelombang

Informasi gelombang secara series di sekitar lokasi diperoleh berdasarkan hasil model gelombang Wavewatch-III. Wavewatch-III merupakan model gelombang generasi ketiga yang dikembangkan oleh Marine Modeling and Analysis Branch (MMAB) dari The Environmental Modeling Center (EMC) dari National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Secara global data gelombang hasil model tersebut terdistribusi melalui situs <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/>, sedangkan di perairan

Indonesia dapat diperoleh melalui INA-COAP (Indonesia-Consortium of Oceanic and Atmospheric Prediction). Data gelombang yang digunakan adalah data gelombang 10 tahun terkahir (2011-2020) berupa tinggi gelombang signifikan, periode rata-rata dan arah datang gelombang rata-rata. Tinggi dan periode gelombang laut di sekitar lokasi studi selama 2011-2020 disajikan dalam **Gambar 8**. Deskripsi statistik berdasarkan gambar tersebut diperlihatkan dalam **Tabel 5**.



Gambar 8. Tinggi dan periode gelombang signifikan harian selama tahun 2011-2020

Tabel 5. Deskripsi statistik tinggi dan periode gelombang selama tahun 2011-2020

Musim	Bulan	Tinggi Gelombang (m)				Periode (detik)			
		Mean	St. Dev	Min	Max	Mean	St. Dev	Min	Max
Barat	Jan	1.14	0.50	0.40	3.18	6.34	0.95	4.54	10.52
	Feb	0.99	0.45	0.35	2.48	6.03	0.93	4.21	10.09
Peralihan I	Mar	0.83	0.34	0.31	2.41	5.93	0.91	4.28	9.70
	Apr	0.96	0.37	0.35	2.19	5.98	0.85	4.17	9.90
	Mei	1.54	0.45	0.51	2.84	6.21	0.54	4.46	8.50
Timur	Jun	1.72	0.49	0.66	3.62	6.47	0.56	4.92	8.84
	Jul	1.69	0.45	0.71	3.32	6.48	0.52	4.91	8.56
	Agust	1.41	0.41	0.55	2.68	6.36	0.64	4.70	10.59
Peralihan II	Sep	1.20	0.39	0.56	2.83	6.36	0.73	4.65	9.17
	Okt	0.97	0.33	0.41	2.33	6.56	1.09	4.40	12.21
	Nop	0.74	0.20	0.40	1.76	6.72	1.05	4.71	11.32
Barat	Des	0.78	0.39	0.31	2.84	6.54	1.10	4.37	10.57

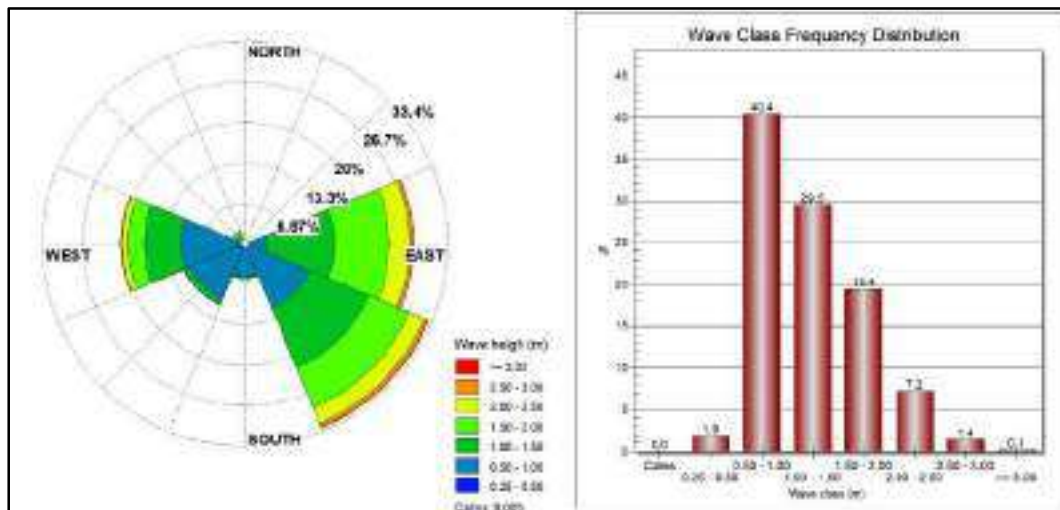
Secara umum berdasarkan tabel dan gambar tersebut terlihat tinggi gelombang signifikan tertinggi terjadi pada musim timur (Juni-Agustus), sementara tinggi gelombang rendah terjadi pada musim peralihan II (September-November). Puncak tertinggi gelombang pada musim timur terjadi pada bulan Juni, dimana rata-rata tinggi gelombang signifikan sebesar 1.72 m dan tinggi gelombang maksimum mencapai 3.62

m. Pada musim barat rata-rata tinggi gelombang terlihat lebih rendah, dimana puncak tertinggi terjadi pada bulan Januari dengan rata-rata dan tinggi gelombang maksimum masing-masing sebesar 1.14 m dan 3.18 m. Pada musim peralihan I puncak tertinggi gelombang terjadi pada bulan Mei dengan rata-rata tinggi gelombang sebesar 1.54 m, sedangkan pada musim peralihan II terjadi pada bulan September dengan tinggi gelombang rata-rata sebesar 1.2 m. Tinggi gelombang maksimum maksimum peralihan I dan II tersebut masing-masing mencapai 2.84 m dan 2.83 m. Rata-rata tertinggi periode gelombang selama 10 tahun terakhir juga terjadi pada musim timur, dimana periode puncak terjadi pada bulan Juli dengan periode rata-rata sebesar 6.48 detik. Rata-rata periode terendah terjadi pada Musim Peralihan I, yakni periode sebesar 5.93 detik terjadi pada bulan Maret. Periode rata-rata tertinggi pada musim barat dan peralihan II tidak terlihat ada perbedaan signifikan, dimana rata-rata periode tertinggi kedua musim tersebut masing-masing adalah 6.54 detik (Desember) dan 6.72 detik (November).

Selain melihat deskripsi statistik umum tinggi dan periode gelombang di area kajian, analisis juga dilakukan terhadap persentase tinggi dan arah datang gelombang. Tujuannya adalah untuk melihat pada kisaran berapa dan arah dari mana saja gelombang sering terjadi. Persentase tinggi, periode dan arah datang gelombang selama 10 tahun terakhir 2011-2020 disajikan dalam **Tabel 6** dan divisualisasi dalam bentuk mawar gelombang (*wavrose*) dan histogram disitribusi frekuensi yang diperlihatkan dalam **Gambar 9**. Berdasarkan tabel dan gambar tersebut terlihat selama 10 tahun terakhir tinggi gelombang dominan berada pada kisaran 0.5-1 m (40.38%) dan 1-1.5 m (29.5%). Untuk arah datang gelombang lebih dari 60 % berasal dari timur (27.66%) dan tenggara (32.69%), sedangkan arah datang gelombang dari arah lain tergolong kecil. Arah datang gelombang dari barat dan barat daya masing-masing sebesar 24.41 % dan 10.9%, sedangkan total sisa gelombang dari arah lain tidak lebih dari 10%.

Tabel 6. Persentase tinggi dan arah gelombang selama tahun 2011-2020

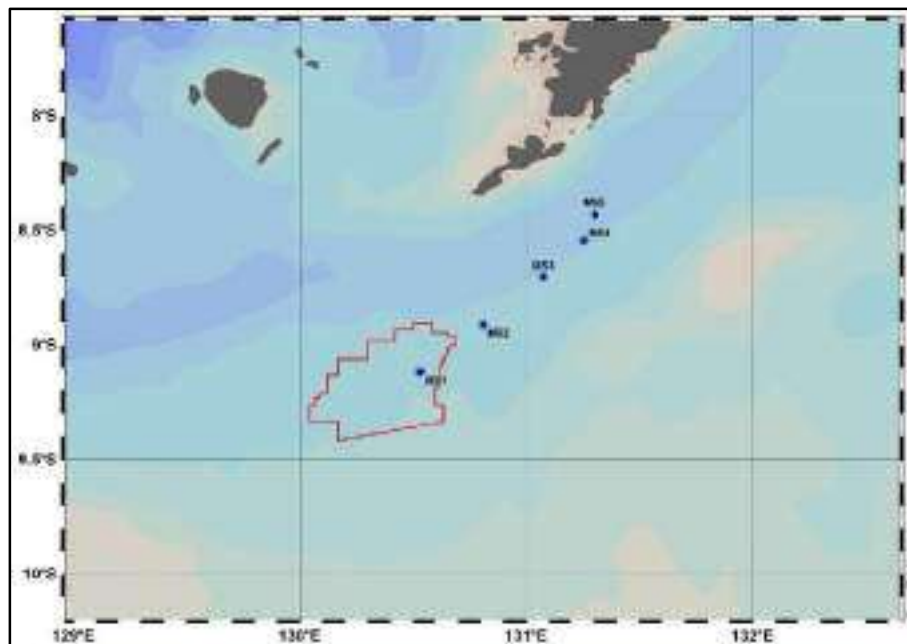
Arah [°]	Tinggi gelombang signifikan harian (m)							Total (%)
	0.25 - 0.5	0.5 - 1	1 - 1.5	1.5 - 2	2 - 2.5	2.5 - 3	>= 3	
Utara (337.5 - 22.5)	0.00	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
Timur Laut (22.5 - 67.5)	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
Timur (67.5 - 112.5)	0.00	3.75	11.05	8.89	3.36	0.60	0.01	27.66
Tenggara (112.5 - 157.5)	0.19	11.34	10.51	7.17	2.68	0.68	0.12	32.69
Selatan (157.5 - 202.5)	0.18	5.31	0.25	0.03	0.01	0.00	0.00	5.79
Barat daya (202.5 - 247.5)	1.23	8.67	0.86	0.12	0.03	0.00	0.00	10.90
Barat (247.5 - 292.5)	0.30	10.39	5.95	2.69	0.93	0.14	0.01	20.41
Barat Laut (292.5 - 337.5)	0.00	0.79	0.86	0.51	0.22	0.02	0.00	2.40
Sub-Total (%)	1.90	40.38	29.50	19.40	7.23	1.44	0.14	100.00
Missing/Incomplete								0.00
Total								100.00



Gambar 9. Mawar gelombang (kiri) dan distribusi frekuensi tinggi gelombang (kanan) selama tahun 2011-2020

3.4. Suhu dan Salinitas

Data suhu dan salinitas diperoleh dari hasil kajian met-ocean yang dilakukan oleh Inpex Masela, LTD. Suhu dan salinitas diukur dengan menggunakan CTD (*conductivity temperature depth*) di empat stasiun sekitar wilayah kerja Masela (**Gambar 10**). Tujuan penggunaan alat ukur CTD ini guna mengetahui profil vertikal suhu dan salinitas terhadap kedalaman, selain itu juga digunakan untuk menentukan kedalaman termoklin.

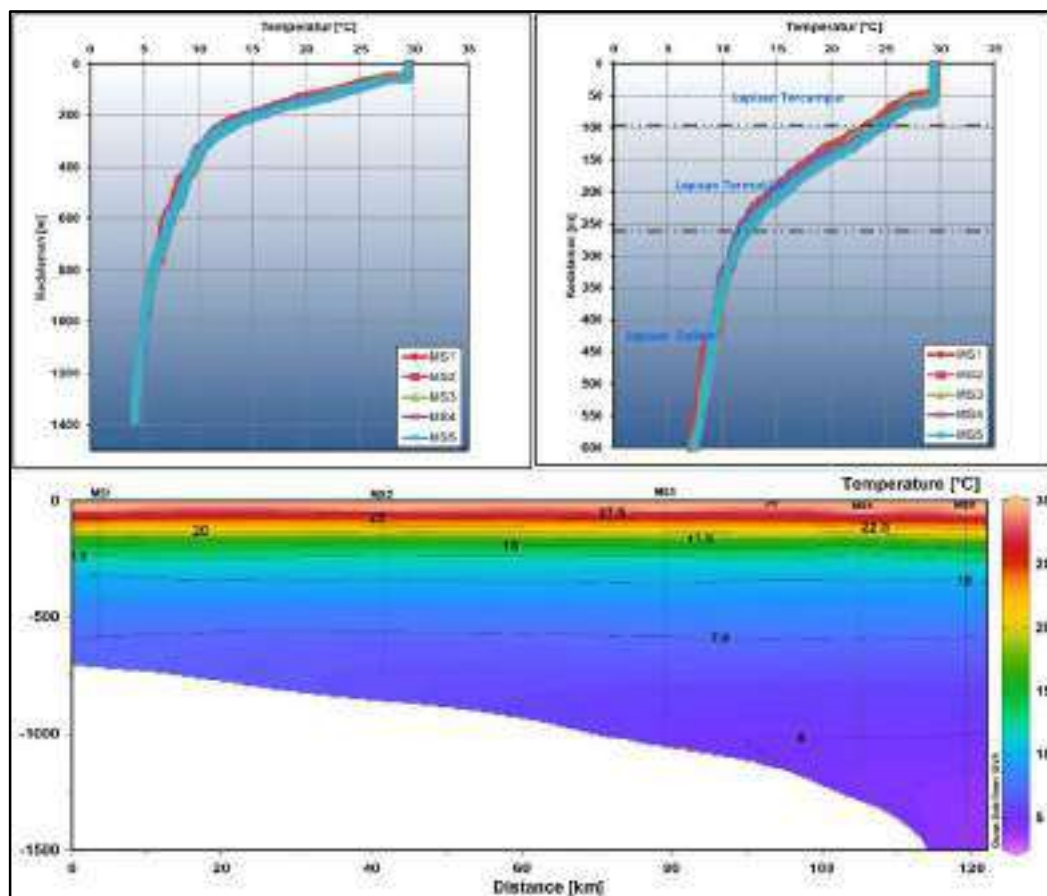


Gambar 10. Stasiun lokasi pengukuran suhu dan salinitas dengan CTD

Hasil pengolahan profil sebaran vertikal dan melintang suhu diperlihatkan dalam **Gambar 11**. Secara umum berdasarkan gambar tersebut terlihat nilai suhu dari

keempat stasiun semakin menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman, selain itu terdapat pola pelapisan massa air berdasarkan perubahan suhu yang dibagi menjadi tiga lapisan, yaitu lapisan tercampur (homogen), lapisan termoklin dan lapisan dalam. Suhu pada lapisan homogen terlihat seragam, hal ini tampak dari garis berbentuk menegak (pada sebaran vertikal), pada lapisan termoklin terlihat ada perubahan suhu secara drastis yang di representasikan dengan garis miring pada grafik vertikal. Pada lapisan dalam, perubahan suhu berdasarkan kedalaman terlihat sangat lambat dikarenakan pengaruh penetrasi sinar matahari sudah melemah.

Untuk melihat batas antar lapisan lebih mendetail dilakukan perhitungan pelapisan yang mengacu pada hasil penelitian Bureau of technical supervision of the P.R of China (1992) dalam Kunarso et. al (2012). Dasar penentuan pelapisan ini adalah menentukan lapisan termoklin yang ditandai dengan perubahan suhu secara cepat terhadap kedalaman yaitu dengan gradien suhu mencapai $\geq 0,05 \text{ }^{\circ}\text{C/m}$. Hasil perhitungan pelapisan massa berdasarkan perubahan suhu disajikan dalam **Tabel 7**. Berdasarkan tabel tersebut terlihat, lapisan tercampur yang terbentuk dari 5 stasiun data CTD mencapai kedalaman 43-70 m . Lapisan termoklin terbentuk dari kedalaman 43 m (stasiun MS2) hingga 273 m (stasiun MS5). Lapisan dalam mulai terbentuk dari kedalaman 222 m (stasiun MS2).

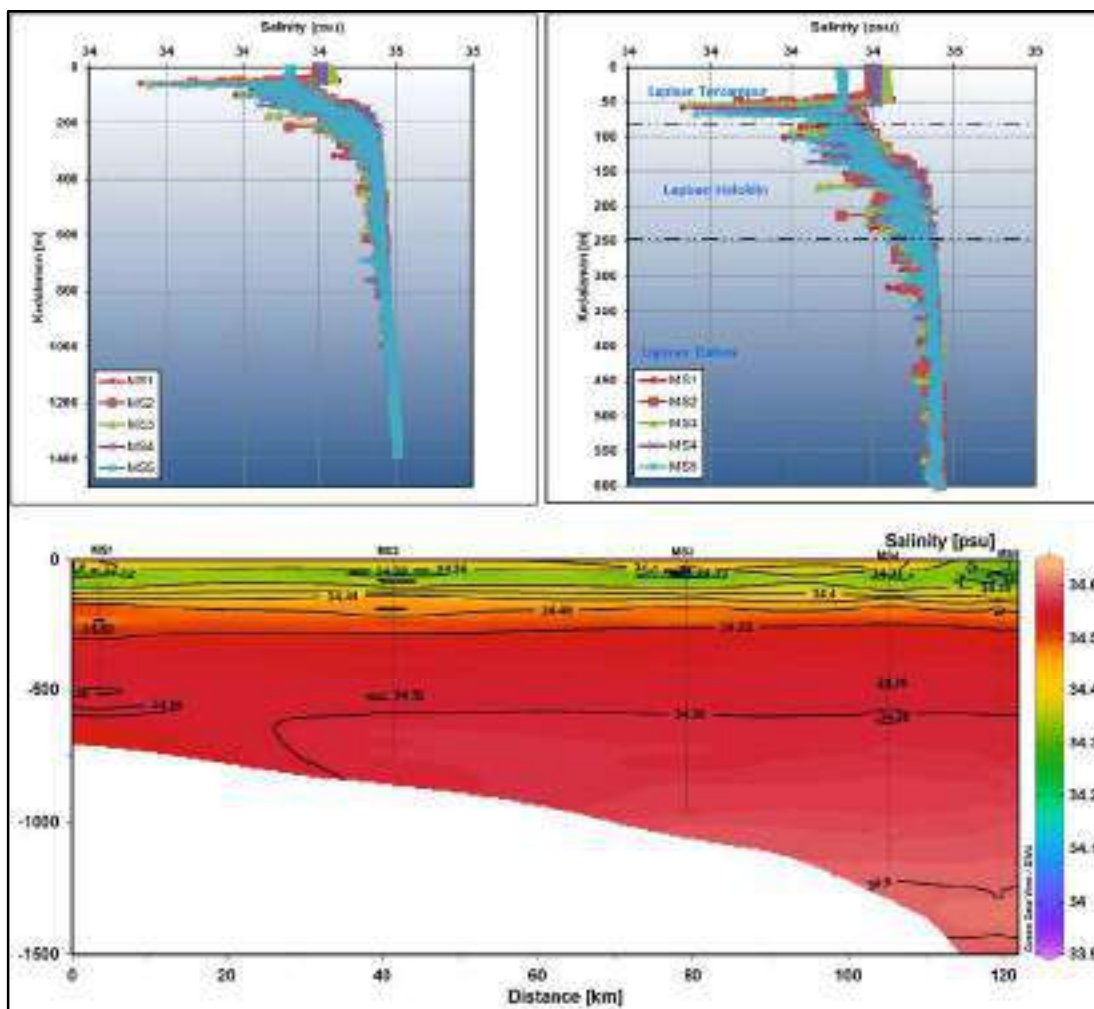


Gambar 11. Profil menegak (atas kiri), lapisan termoklin (atas kanan) dan sebaran melintang (bawah) temperatur di sekitar lokasi kajian

Tabel 7. Variasi suhu pada lapisan tercampur, lapisan piknoklin dan lapisan dalam

Stasiun	Lapisan Tercampur			Lapisan Termoklin			Lapisan Dalam		
	Kisaran suhu (°C)	Kisaran kedalaman (m)	Gradien suhu (°C/m)	Kisaran suhu (°C)	Kisaran kedalaman (m)	Gradien suhu (°C/m)	Kisaran suhu (°C)	Kisaran kedalaman (m)	Gradien suhu (°C/m)
MS1	25.89-29.54	0-70	0.018	12.03-25.86	70-250	0.08	9.00-13.04	> 250	0.013
MS2	29.40-29.47	0-43	0.001	13.10-29.37	43-222	0.09	3.56-13.89	> 222	0.011
MS3	29.39-29.56	0-50	0.004	11.64-29.36	50-260	0.08	5.17-11.57	> 260	0.010
MS4	29.41-29.43	0-55	0.001	11.77-29.41	55-260	0.09	4.63-11.72	> 260	0.010
MS5	29.28-29.45	0-60	0.004	11.74-29.25	60-273	0.08	4.14-11.67	> 273	0.007

Sebaran menegak dan melintang salinitas disajikan **Gambar 12**. Berdasarkan gambar tersebut terlihat pola perubahan nilai salinitas terhadap kedalaman berkebalikan dengan pola perubahan suhu, dimana secara umum nilai salinitas semakin meningkat sering bertambahnya kedalaman. Nilai salinitas pada lapisan tercampur cukup bervariasi dari 33.93 psu hingga 34.56 psu, pada lapisan termoklin variasi salinitas semakin menurun dengan kisaran mulai 34.18-44.56 psu, variasi salinitas paling kecil terdapat pada lapisan dalam, yakni dengan kisaran salinitas antara 34.43-34.6 psu.



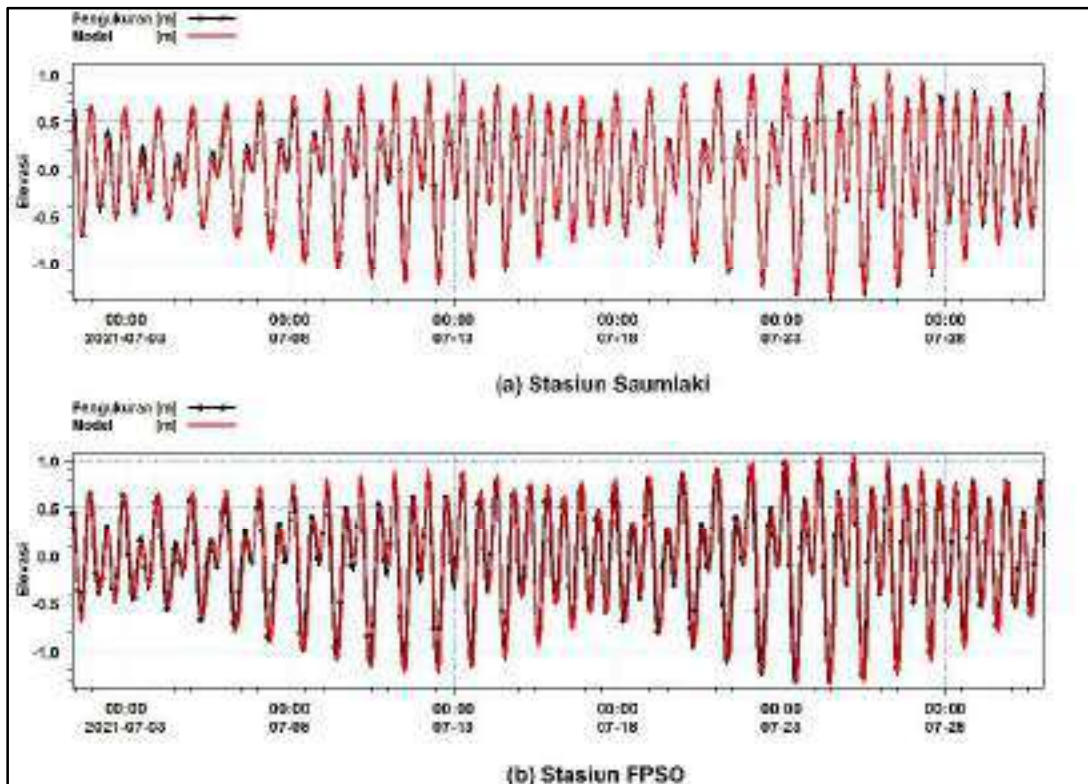
Gambar 12. Profil menegak (atas kiri), lapisan haloklin (atas kanan) dan sebaran melintang (bawah) salinitas di sekitar lokasi kajian

4. HASIL PEMODELAN

4.1. Hidrodinamika

4.1.1. Verifikasi Model Hidrodinamika

Untuk mengetahui sejauh mana model yang telah disimulasikan dapat dipercaya kebenarannya, maka dilakukan verifikasi model, yakni dengan membandingkan data hasil observasi dengan data keluaran model. Komponen data yang diverifikasi adalah pasang surut. Data pasang surut yang digunakan untuk verifikasi adalah data pasang surut yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) stasiun Saumlaki dan data pengukuran berdasarkan kajian Met-Ocean Inpex Masela, Ltd. Hasil verifikasi model komponen pasang surut disajikan dalam bentuk grafik series yang tersaji dalam **Gambar 13**. Dari gambar tersebut terlihat elevasi pasang surut luaran model dan pengukuran menunjukkan pola yang sangat mirip. Hasil perhitungan *root mean square error* (RMSE) dan persentase kesalahan untuk stasiun Saumlaki masing-masing diperoleh 0.06 dan 2.81 %, sedangkan stasiun FPSO a diperoleh 0.2 dan 4.92 %. 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 13. Verifikasi pasang surut. (a) Stasiun pasang Saumlaki. (b) Stasiun Pasut FPSO

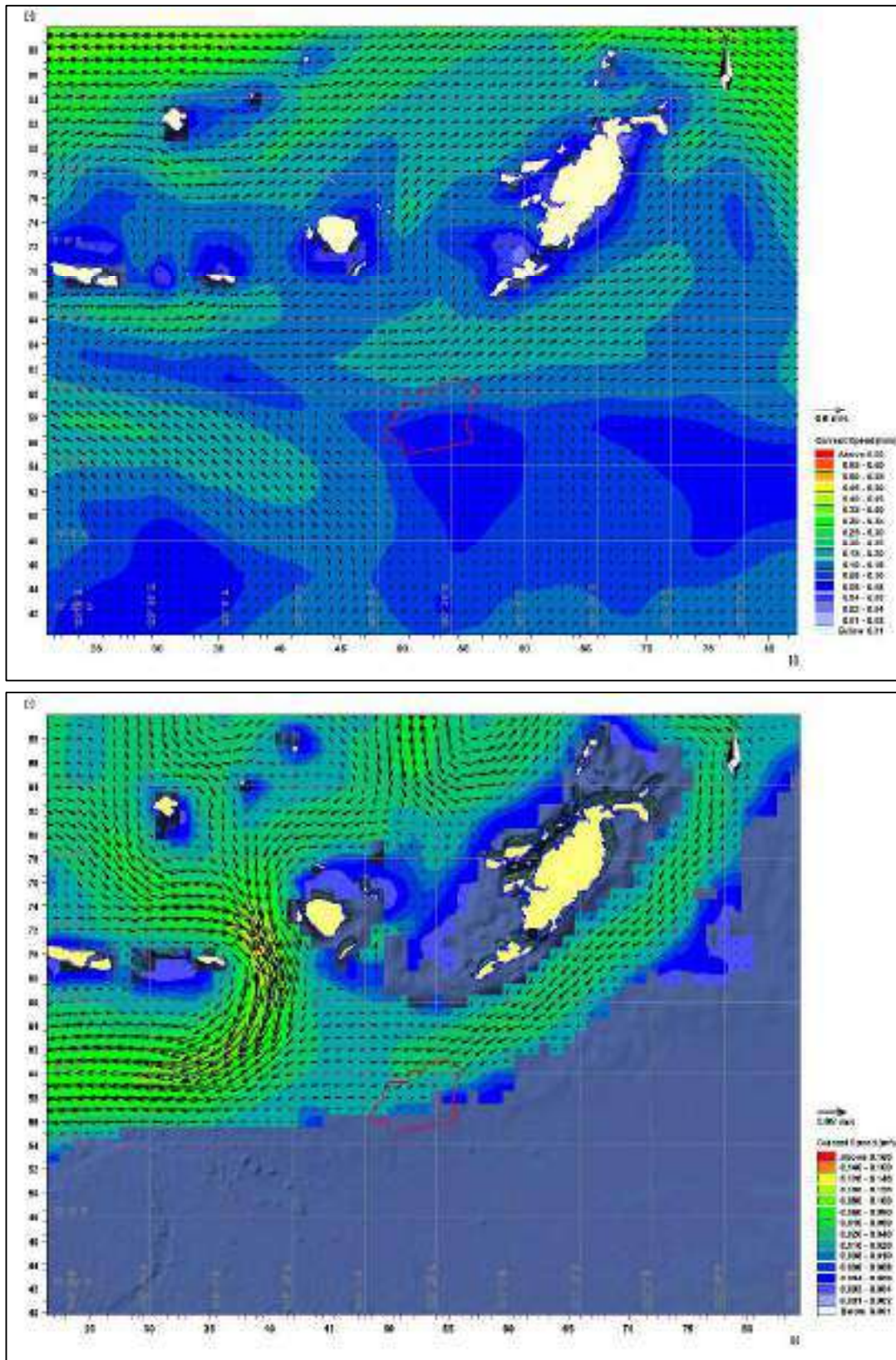
4.1.2. Pola Arus

Pola arus hasil model tidak ditampilkan secara keseluruhan per lapisan kedalaman maupun tiap langkah waktu pemodelan, akan tetapi hanya ditampilkan arus rata-rata dari 15 hari simulasi di lapisan permukaan dan lapisan dekat dasar (lapisan dimana akan dilakukan pembuangan lumpur dan serbuk bor). Rata-rata pola arus lapisan permukaan dan dekat dasar kondisi Musim Barat, Peralihan I, Musim Timur dan Musim Peralihan II berturut-turut disajikan dalam **Gambar 14** hingga **Gambar 17**.

Secara umum dari keempat gambar tersebut terlihat karakter arah dan kecepatan arus di sekitar blok Masela cukup bervariasi baik dilihat secara musim maupun lapisan kedalaman. Kecepatan arus pada musim barat dan musim peralihan I di sekitar blok Masela terlihat lebih rendah dibandingkan pada musim timur dan musim peralihan II. Pada musim barat arah arus dominan sekitar blok Masela di lapisan permukaan (**Gambar 14** atas) bergerak ke arah timur laut hingga timur dengan kecepatan berkisar antara 0.06-0.15 m/det, sementara itu di lapisan dekat dasar (**Gambar 14** bawah) bergerak sebaliknya, yakni dominan ke barat daya dengan kecepatan 0.008-0.02 m/det. Pada musim peralihan I (**Gambar 15**) arah arus dominan baik lapisan permukaan maupun lapisan dekat dasar terlihat konsisten, yakni dominan ke arah barat daya. Kecepatan arus yang terlihat antara lapisan permukaan dan dasar cukup berbeda signifikan, yakni masing-masing berkisar antara 0.15-0.20 m/det dan 0.006-0.02 m/det.

Rata-rata arah dan kecepatan arus saat musim timur (**Gambar 16**) di lapisan permukaan dan lapisan dekat dasar terlihat sedikit ada perbedaan, yakni di lapisan permukaan arah arus dominan bergerak ke barat dengan kecepatan antara 0.15-0.4 m/det, sedangkan pada lapisan dekat dasar arah arus dominan menuju ke barat daya dengan kecepatan antara 0.01-0.04 m/det. Karakter arus rata-rata musim peralihan II (**Gambar 17**) cukup berbeda signifikan antara lapisan permukaan dan lapisan dekat dasar, dimana arah arus pada lapisan permukaan dominan ke barat daya, sebaliknya pada lapisan dekat dasar bergerak ke timur laut. Kecepatan arus yang terlihat pada lapisan permukaan dan dekat dasar juga berbeda signifikan, yakni pada lapisan permukaan kecepatan arus di dalam blok Masela berkisar antara 0.2-0.4 m/det, sedangkan pada lapisan dekat dasar 0.004-0.02 m/det.

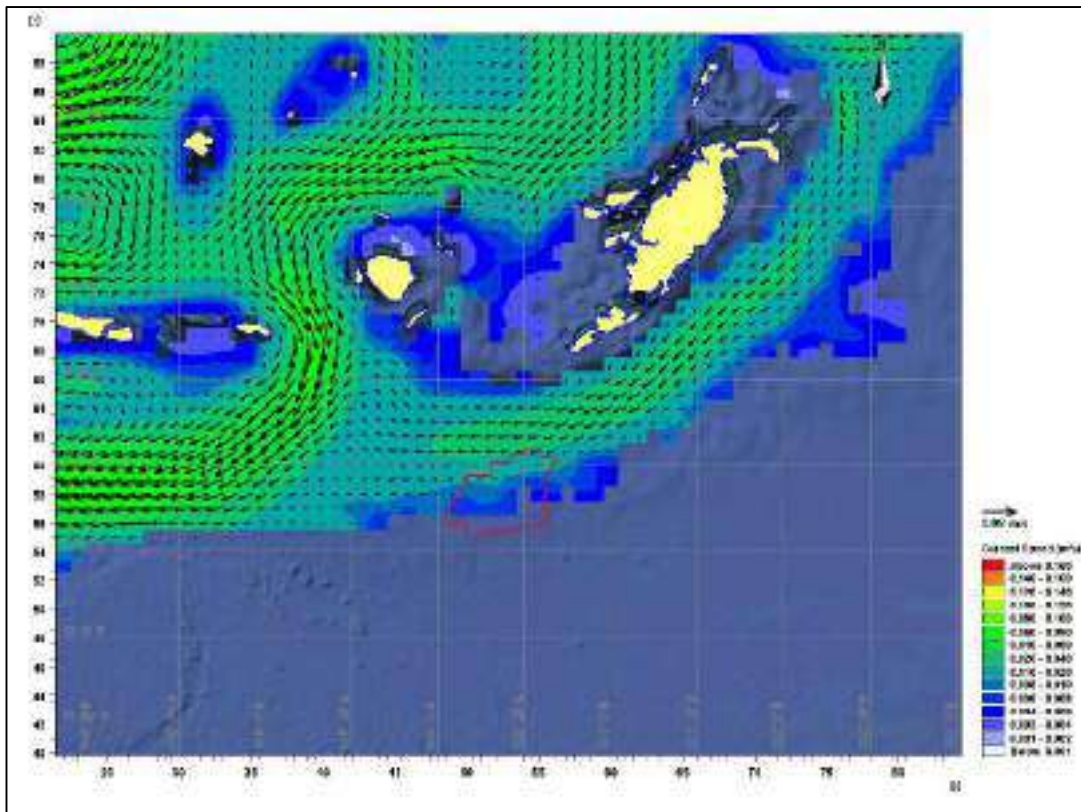
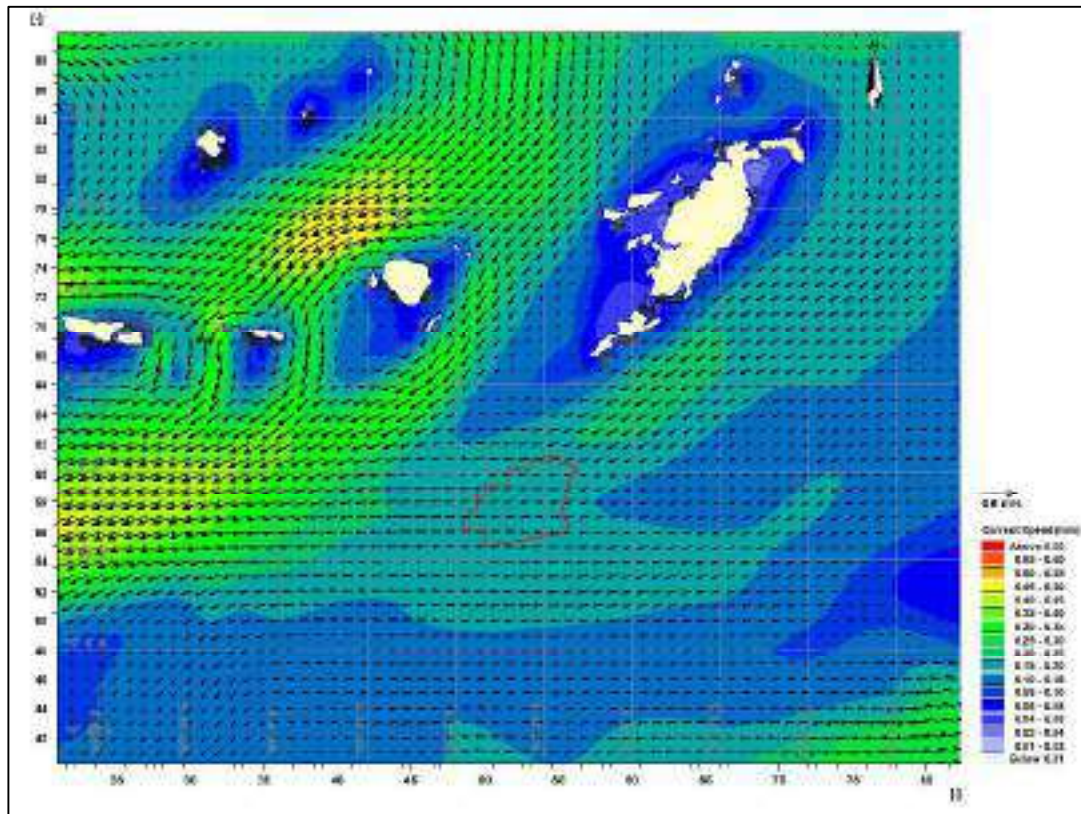
Secara keseluruhan karakter arah dan kecepatan arus di sekitar lokasi studi khususnya di dalam blok Masela cukup bervariasi baik secara musiman maupun lapisan kedalaman. Lokasi blok Masela berada di laut lepas atau berada di laut dalam, di laut dalam selain pola angin di atas permukaan laut, pola arah dan kecepatan arusnya juga dipengaruhi variasi densitas dan beda muka laut, sehingga karakter arusnya cukup bervariasi. Selain itu lokasi kajian juga berada di jalur ARLINDO (arus lintas Indonesia), sehingga karakter arusnya kemungkinan besar juga dipengaruhi oleh ARLINDO.



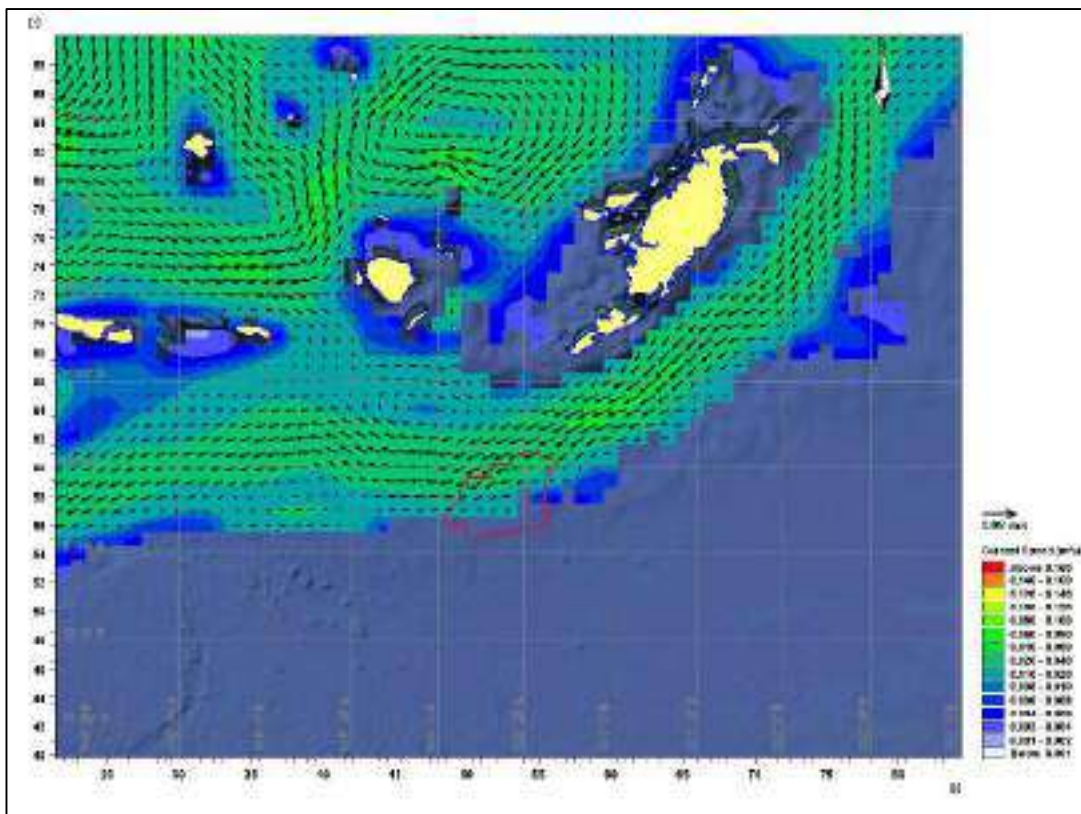
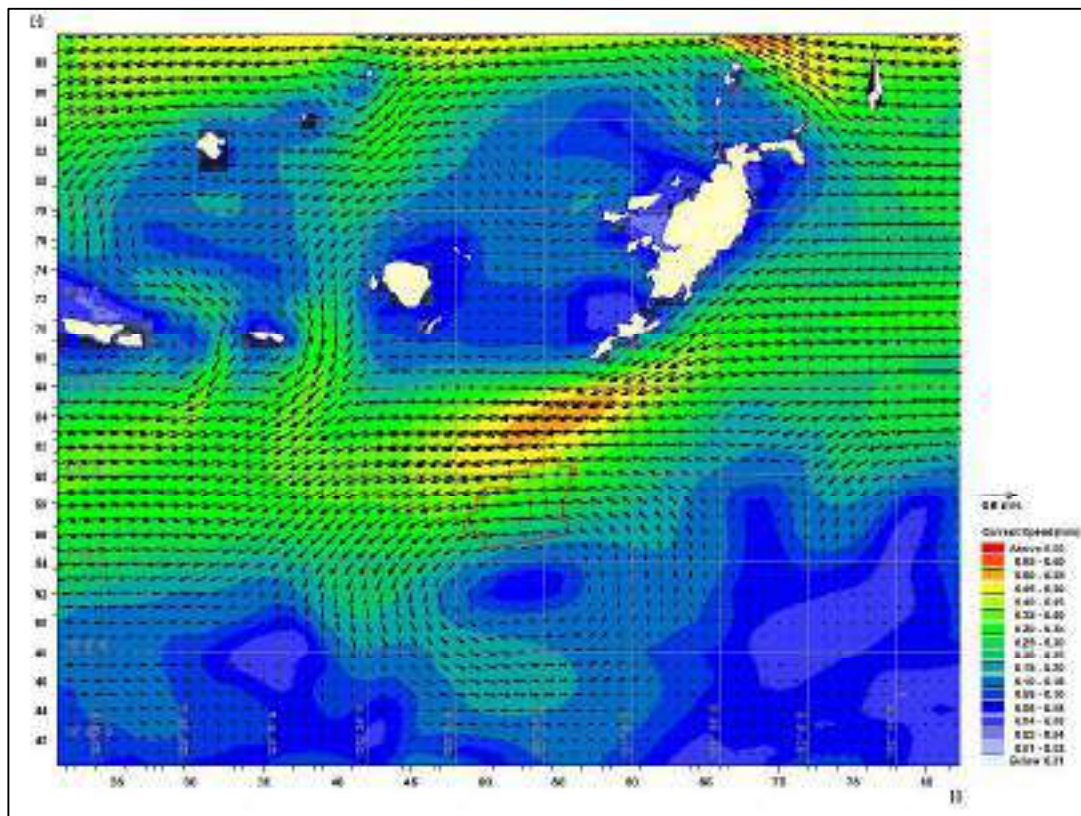
Gambar 14. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan Januari (Musim Barat)

Studi Pemodelan 3 Dimensi Sebaran TSS dan TPH
Rencana Kegiatan Pembuangan Limbah Pemboran Sumur
Pengembangan Lapangan Gas Abadi

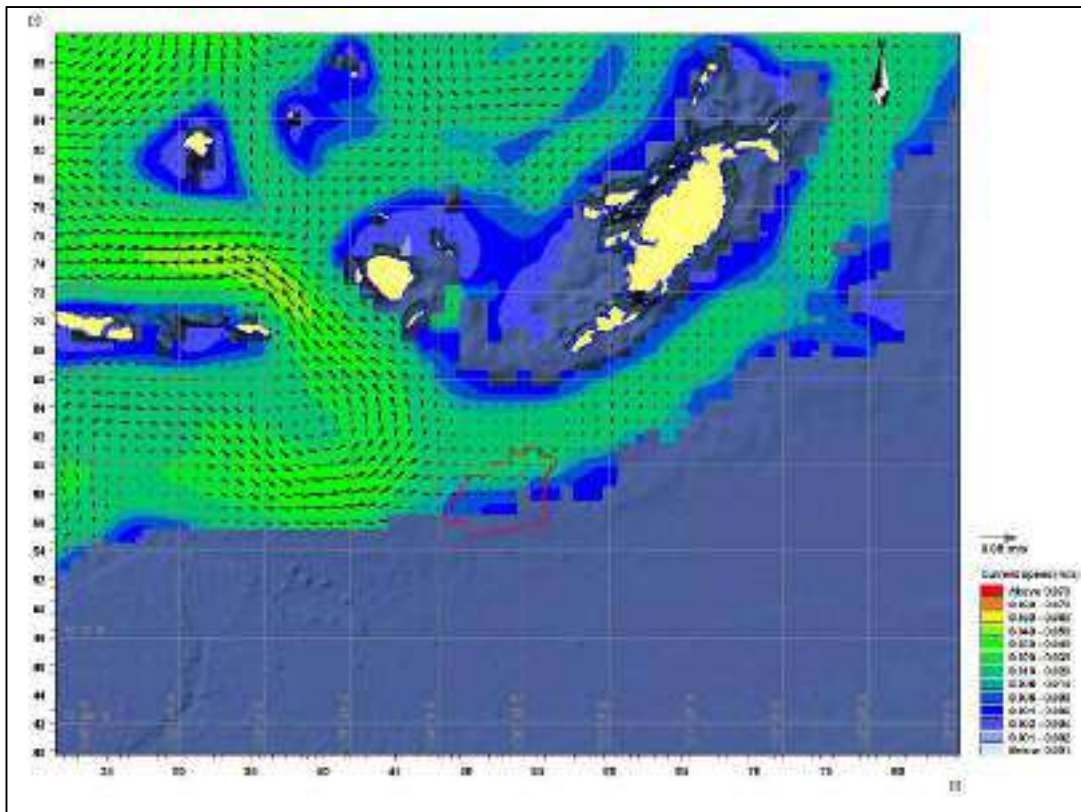
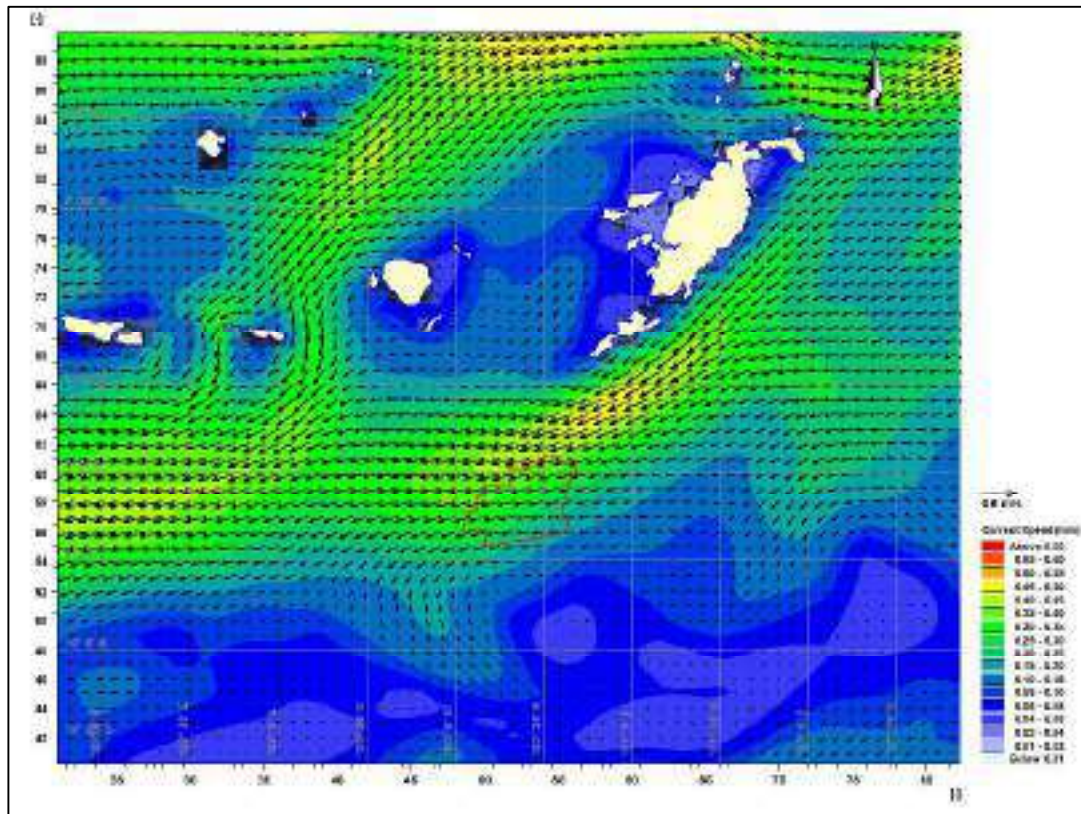
INPEX Masela, LTD



Gambar 15. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan April (Musim Peralihan I)



Gambar 16. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan Agustus (Musim Timur)



Gambar 17. Rata-rata pola arus permukaan (atas) dan lapisan dekat dasar (bawah) hasil simulasi pada bulan Oktober (Musim Peralihan II)

4.2. Sebaran TSS Akibat Pembuangan Lumpur Bor (*Used Mud*) dan Serbuk Bor (*Cutting*)

Sebaran dan konsentrasi TSS (*Total suspended solid*) akibat buangan lumpur bor dan serbuk bor tidak disajikan secara keseluruhan sesuai dengan domain pemodelan maupun tiap langkah waktu model, namun hanya disajikan dalam bentuk sebaran maksimum dari lama simulasi pada masing-masing tahap (section) pengeboran. 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 horisontal 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 di sumur DC-1 baik kondisi Musim Barat, Peralihan I, Musim Timur dan Peralihan II disajikan dalam **Lampiran A**, pada sumur DC-2 terdapat dalam **Lampiran B**, sedangkan pada sumur DC-3 dan DC-4 masing-masing diperlihatkan **Lampiran C** dan **Lampiran D**. Konsentrasi TSS pada section-1 dan section-2 dari keempat lampiran tersebut merupakan konsentrasi TSS akibat dumping gabungan antara lumpur dan serbuk bor, sedangkan konsentrasi TSS pada section-3 dan section-5 hanya akibat dumping lumpur bor. Khusus sebaran TSS akibat dumping serbuk bor section-3, section-4 dan section-5 pada keseluruhan sumur maupun musim berturut-turut disajikan dalam **Lampiran E** hingga **Lampiran H**. Konsentrasi TSS maksimum berdasarkan gambar yang terdapat keseluruhan lampiran untuk sumur DC-1 disarikan dalam **Tabel 8**, sumur DC-2 disarikan dalam **Tabel 9**, sedangkan untuk sumur DC-3 dan DC-4 masing-masing disarikan dalam **Tabel 10** dan **Tabel 11**.

Secara umum, berdasarkan keseluruhan gambar yang terdapat pada kedelapan lampiran (Lampiran A-H) tersebut terlihat arah sebaran TSS jika dilihat berdasarkan sumur tidak terlihat ada perbedaan signifikan, akan tetapi jika dilihat berdasarkan musim maupun lapisan kedalaman terlihat ada perbedaan, khususnya pada musim barat (Januari) dan musim peralihan II (oktober). Arah sebaran TSS secara umum mengikuti arah arus dominan. Pada musim barat arah sebaran TSS pada keseluruhan sumur maupun tahap pengeboran ketika dumping di dekat dasar bergerak ke barat hingga barat daya, akan tetapi ketika dumping di lapisan permukaan (kedalaman 10 m) dominan ke arah timur laut hingga timur. Pada musim peralihan I dan musim timur arah sebaran TSS di lapisan dekat dasar dan permukaan terlihat konsisten, yakni dominan ke barat hingga barat daya. Sementara itu pada musim peralihan II arah sebaran TSS di lapisan dekat dasar dan permukaan terlihat berbeda, yakni pada lapisan dekat dasar dominan ke arah timur laut, sedangkan pada lapisan permukaan dominan ke barat daya.

Konsentrasi TSS akibat buangan lumpur bor dan serbuk bor terlihat bervariasi baik dilihat dari sumur, tahap pengeboran maupun secara musiman. Namun demikian, jika dilihat berdasarkan pola konsentrasinya terlihat sama, yakni konsentrasi tinggi

hanya berada dipusat buangan selanjutnya menurun seiring bertambahnya jarak dari pusat buangan. Peningkatan konsentrasi TSS tinggi pada keseluruhan sumur maupun musim hanya terlihat pada saat pengeboran section-1 dan section-2.

Tabel 8. Konsentrasi TSS maksimum akibat buangan lumpur bor dan serbuk bor berdasarkan jarak dari pusat buangan di sumur DC-1

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	30-40	20-25	14-16	8-10	6-8	4-6
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	60-70	30-40	20-25	12-14	8-10	8-10
	Section-3	WBM	Lumpur bor	4-5	2-3	1-2	1-2	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,9-1	0,4-0,5	0,1-0,2	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	0,9-1	0,5-0,6	0,1-0,2	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	10-11	6-7	3-4	2-3	1-2	1-2
			Serbuk Bor	0,4-0,5	0,2-0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Musim Peralihan I	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	30-40	25-30	8-10	6-8	4-6	2-4
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	70-80	40-50	30-40	14-16	8-10	6-8
	Section-3	WBM	Lumpur bor	5-6	3-4	1-2	1-2	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,7-0,8	0,4-0,5	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	0,2-0,3	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	16-17	12-13	5-6	3-4	2-3	2-3
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Musim Timur	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	50-60	25-30	12-14	8-10	6-8	4-6
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	100-120	70-80	30-40	20-25	10-12	8-10
	Section-3	WBM	Lumpur bor	1-2	1-2	< 1	< 1	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	7-8	4-5	2-3	1-2	1-2	1-2
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Musim Peralihan II	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	50-60	25-30	16-18	10-12	8-10	4-6
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	80-90	50-60	20-25	12-14	8-10	6-8
	Section-3	WBM	Lumpur bor	1-2	1-2	< 1	< 1	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	4-5	3-4	2-3	1-2	< 1	< 1
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Peningkatan konsentrasi TSS maksimum di sumur DC-1 (**Tabel 8**) tertinggi berkisar antara 100-120 mg/l, konsentrasi tertinggi tersebut hanya terlihat pada musim timur saat pengeboran section-2. Jika dibandingkan dengan baku mutu TSS air laut sesuai PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk biota laut yang nilainya 20 mg/l, maka konsentrasi TSS akibat buangan lumpur bor terlihat melebihi baku mutu hingga radius 300 . Secara keseluruhan, peningkatan konsentrasi TSS akibat dumping lumpur bor maupun serbuk bor pada keseluruhan musim pada jarak 500 m terlihat sudah menurun dibawah baku mutu, yakni dari < 0,1 mg/l hingga kisaran 10-12 mg/l. Rona awal konsentrasi TSS di sekitar lokasi kajian berdasarkan analisis sampel air tidak terlihat ada yang melebihi 2 mg/l, jika dijumlahkan dengan konsentras hasil model pada jarak 500 m, maka konsentrasi masih lebih rendah dari baku mutu.

Pola peningkatan konsentrasi TSS di sumur DC-2 (**Tabel 9**) tidak jauh berbeda dengan sumur DC-1, yakni konsentrasi TSS tertinggi juga berkisar 100-120 mg/l. Konsentrasi TSS tinggi tersebut juga terjadi saat pengeboran section-2, akan tetapi terjadi pada tiga musim, yakni musim peralihan I, timur dan musim peralihan II. Baku mutu TSS menurut PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk biota adalah 20 mg/l, sehingga peningkatan konsentrasi TSS akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor tersebut terlihat melebihi baku mutu. Jarak sebaran konsentrasi TSS yang melebihi baku mutu berada pada radius 200 m. Secara keseluruhan, pada radius 500 m peningkatan konsentrasi TSS akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-2 juga terlihat kecil (di bawah baku mutu). Konsentrasi tertinggi pada jarak 500 berkisar antara 10-12 mg/l dan terjadi pada pengeboran section-2 saat musim timur.

Kondisi tidak jauh berbeda juga diperlihatkan pada sumur DC-3 (**Tabel 10**), yang peningkatan konsentrasi tertinggi juga mencapai 100-120 mg/l. Peningkatan konsentrasi tertinggi tersebut juga terjadi pada pengeboran section-2 dan terjadi saat pengeboran musim timur dan musim peralihan II. Jika mangacu pada baku mutu 20 mg/l, maka peningkatan konsentrasi yang melebihi baku mutu tersebut menyebar hingga radius 200 m dari titik buangan. Secara keseluruhan jika dilihat berdasarkan musim dan tahap pengeboran, peningkatan konsentrasi TSS pada radius 500 m terlihat sudah menurun hingga dibawah baku mutu. Konsentrasi TSS tertinggi pada jarak 500 m terjadi pada musim timur saat pengeboran section-2, yakni berkisar 10-12 mg/l.

Peningkatan konsentrasi tertinggi pada sumur DC-4 (**Tabel 11**) sedikit lebih kecil bila dibandingkan tiga sumur sebelumnya, yakni berkisar antara 90-100 mg/l. Peningkatan konsentrasi tersebut hanya terjadi pada musim timur dan saat pengeboran section-2. Walaupun penigkatan konsentrasinya lebih kecil dibandingkan dengan tiga sumur sebelumnya, akan tetapi jarak sebaran konsentrasi TSS yang melebihi baku mutu terlihat cukup jauh, yakni mencapai 300 m saat pengeboran section-2 kondisi musim timur. Pada jarak 500 m, konsentrasi tertinggi juga terjadi pada musim timur pengeboran section-2, yakni berkisar antara 10-12 mg/l. Pada pengeboran musim lainnya, konsentrasi TSS pada jarak 500 m pada keseluruhan tahap pengeboran juga tergolong kecil (dibawah baku mutu).

Tabel 9. Konsentrasi TSS maksimum akibat buangan lumpur bor dan serbuk bor berdasarkan jarak dari pusat buangan di DC-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
Musim Barat	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	30-40	14-16	8-10	4-6	4-6	2-4
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	50-60	25-30	16-18	10-12	8-10	6-8
	Section-3	WBM	Lumpur bor	4-5	2-3	1-2	1-2	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,8-0,9	0,3-0,4	0,2-0,3	0,1-0,2	0,1-0,2	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	0,8-0,9	0,3-0,4	0,2-0,3	0,1-0,2	0,1-0,2	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	7-8	6-7	4-5	3-4	2-3	1-2
			Serbuk Bor	0,4-0,5	0,2-0,3	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Musim Peralihan I	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	30-40	8-10	6-8	4-6	4-6	2-4
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	100-120	50-60	30-40	14-16	10-12	8-10
	Section-3	WBM	Lumpur bor	8-9	5-6	4-5	2-3	1-2	1-2
			Serbuk Bor	0,8-0,9	0,4-0,5	0,2-0,3	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	0,2-0,3	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	24-26	16-18	12-14	5-6	3-4	3-4
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Musim Timur	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	50-60	25-30	12-14	8-10	6-8	4-6
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	100-120	60-70	30-40	16-18	12-14	10-12
	Section-3	WBM	Lumpur bor	1-2	1-2	< 1	< 1	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	3-4	1-2	1-2	< 1	< 1	< 1
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Musim Peralihan II	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	40-50	18-20	10-12	8-10	4-6	4-6
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	100-120	50-60	30-40	14-16	10-12	8-10
	Section-3	WBM	Lumpur bor	2-3	1-2	1-2	< 1	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,1-0,2	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	6-7	4-5	2-3	1-2	1-2	1-2
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tabel 10. Konsentrasi TSS maksimum akibat buangan lumpur bor dan serbuk bor berdasarkan jarak dari pusat buangan di DC-3

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	40-50	25-30	10-12	6-8	4-6	4-6
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	80-90	40-50	20-25	12-14	10-12	8-10
	Section-3	WBM	Lumpur bor	4-5	2-3	1-2	< 1	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,9-1	0,4-0,5	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	0,9-1	0,5-0,6	0,1-0,2	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	10-11	5-6	2-3	1-2	1-2	1-2
			Serbuk Bor	0,4-0,5	0,2-0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Musim Peralihan I	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	30-40	12-14	6-8	4-6	4-6	2-4
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	70-80	40-50	16-18	10-12	6-8	6-8
	Section-3	WBM	Lumpur bor	5-6	3-4	1-2	1-2	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,7-0,6	0,2-0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	0,2-0,3	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	16-17	9-10	4-5	3-4	2-3	2-3
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Musim Timur	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	50-60	20-25	14-16	10-12	6-8	4-6
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	100-120	30-40	20-25	14-16	12-14	10-12
	Section-3	WBM	Lumpur bor	1-2	1-2	< 1	< 1	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	6-7	2-3	1-2	1-2	< 1	< 1
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Musim Peralihan II	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	40-50	20-25	14-16	10-12	6-8	4-6
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	100-120	40-50	20-25	12-14	8-10	6-8
	Section-3	WBM	Lumpur bor	1-2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	4-5	1-2	1-2	1-2	< 1	< 1
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tabel 11. Konsentrasi TSS maksimum akibat buangan lumpur bor dan serbuk bor berdasarkan jarak dari pusat buangan di DC-4

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	30-40	16-18	10-12	6-8	4-6	4-6
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	50-60	30-40	16-18	12-14	8-10	6-8
	Section-3	WBM	Lumpur bor	3-4	2-3	1-2	< 1	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,8-0,9	0,2-0,3	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	0,8-0,9	0,2-0,3	0,1-0,2	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	7-8	3-4	2-3	1-2	1-2	1-2
			Serbuk Bor	0,4-0,5	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Musim Peralihan I	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	25-30	25-30	8-10	4-6	4-6	2-4
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	60-70	40-50	25-30	16-18	8-10	6-8
	Section-3	WBM	Lumpur bor	6-7	2-3	1-2	1-2	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,7-0,6	0,3-0,4	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	0,2-0,3	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	18-20	8-10	5-6	4-5	3-4	2-3
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Musim Timur	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	60-70	25-30	14-16	10-12	6-8	4-6
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	90-100	50-60	30-40	25-30	14-16	10-12
	Section-3	WBM	Lumpur bor	1-2	1-2	< 1	< 1	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,1-0,2	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	6-7	2-3	1-2	1-2	< 1	< 1
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Musim Peralihan II	Section-1	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	40-50	25-30	12-14	8-10	6-8	4-6
	Section-2	SW	Lumpur bor+Serbuk bor	70-80	40-50	20-35	14-16	10-12	8-10
	Section-3	WBM	Lumpur bor	1-2	1-2	< 1	< 1	< 1	< 1
			Serbuk Bor	0,1-0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-4	SBM	Lumpur bor	Tidak ada dumping					
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Section-5	WBM	Lumpur bor	4-5	3-4	2-3	1-2	1-2	< 1
			Serbuk Bor	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

4.3. Perubahan Ketebalan Dasar

Selain mengakibatkan peningkatan konsentrasi TSS, dumping lumpur bor dan serbuk bor juga mengakibatkan perubahan dasar perairan, yakni berupa penebalan atau pendangkalan (sedimentasi) di lokasi pengeboran. Hasil model perubahan dasar perairan akibat pembuangan lumpur bor dan serbuk di sumur DC-1, DC-2, DC-3 dan DC-4 pada keseluruhan musim disajikan dalam **Lampiran I**

Ketebalan dasar hasil model berdasarkan keseluruhan gambar tersebut disajikan dalam **Tabel 12**. Berdasarkan tabel tersebut terlihat penebalan dasar atau sedimen yang mengendap (tersedimentasi) di titik lokasi dumping tergolong kecil, yakni pada keseluruhan sumur dan musim hanya berkisar 0.2-0.7 cm. 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 12. Perubahan ketebalan dasar maksimum/sedimen terdeposisi akibat dumping lumpur dan serbuk bor

Musim	Sumur	Ketebalan dasar (cm)
Musim Barat	DC-1	0.3
	DC-2	0.3
	DC-3	0.4
	DC-4	0.2
Musim Peralihan I	DC-1	0.3
	DC-2	0.4
	DC-3	0.4
	DC-4	0.3
Musim Timur	DC-1	0.5
	DC-2	0.7
	DC-3	0.7
	DC-4	0.4
Musim Peralihan II	DC-1	0.4
	DC-2	0.7
	DC-3	0.7
	DC-4	0.4

4.4. Sebaran TPH akibat proses dumping serbuk bor jenis lumpur SBM

Serbuk bor (*cutting*) dari jenis lumpur SBM (*synthetic based mud*) selain menyebabkan kekeruhan juga berpotensi meningkatkan TPH (*total petroleum hidrokarbon*). Hal ini dikarenakan setiap volume pembuangan serbuk bor mengandung 5% w/w (satuan berat dalam kajian ini kg) TPH, sehingga diperlukan pemodelan sebaran dan peningkatan konsentrasi TPH pada saat dumping serbuk bor jenis SBM. Perhitungan konsentrasi TPH untuk input model mengacu pada debit buangan serbuk bor, *specific gravity* (SG), densitas air laut dan persentase TPH dalam serbuk bor. Contoh perhitungan konsentrasi TPH dalam serbuk bor yang digunakan dalam input pemodelan adalah sebagai berikut:

- Jika diketahui debit buangan serbuk bor sebesar $1.3 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan SG 1.3 dan densitas air laut sebesar 1025 kg/m^3
- Maka densitas serbuk bor dapat diperoleh $\rightarrow 1.3 \times 1025 \text{ kg/m}^3 = 1332,5 \text{ kg/m}^3$
- Berat serbuk bor dapat dihitung dengan $\rightarrow 1.3 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1332,5 \text{ kg/m}^3 = 1432.25 \text{ kg/jam} \rightarrow 0.48 \text{ kg/detik}$
- Berat TPH sebesar 5% sebesar diperoleh $\rightarrow 0.48 \text{ kg/detik} \times 5\% = 0.024 \text{ kg/det}$
- Dengan mengasumsikan volume pengencer sebesar 1 m^3 maka konsentrasi TPH diperoleh $\rightarrow 0.024 \text{ kg/det} : 1 \text{ m}^3 = 0.024 \text{ kg/m}^3$
- Dengan demikian konsentrasi TPH yang digunakan untuk input model adalah sebesar 0.024 kg/m^3 (24 mg/l) dengan debit buangan $0.0004 \text{ m}^3/\text{detik}$ ($1.3 \text{ m}^3/\text{jam}$)

Dalam pemodelan ini parameter TPH dianggap sebagai polutan konservatif, yang artinya polutan tersebut tidak mengalami perubahan bentuk ketika masuk ke laut, atau bisa dikatakan tidak mengalami degradasi, tidak hilang karena pengendapan, tidak hilang karena penguapan ataupun aktivitas lainnya. Konsentrasi polutan tersebut hanya akan mengalami penurunan dikarenakan pengenceran (dillution) atau adanya difusi (perubahan konsentrasi karena ada perbedaan densitas). Hasil model tidak disajikan secara keseluruhan sesuai dengan section pengeboran, namun hanya disajikan dalam bentuk sebaran maksimum (*worst condition*) dua dimensi pada lapisan permukaan dan sebaran melintang (*cross section*) pada masing-masing section pengeboran.

Hasil model berupa gambar sebaran maksimum TPH pada keseluruhan musim dan section pengeboran di sumur DC-1, DC-2, DC-3 dan DC-4 disajikan dalam **Lampiran J**. Selanjutnya berdasarkan gambar yang terdapat pada lampiran tersebut disarikan dalam **Tabel 13**. Secara umum berdasarkan gambar yang terdapat dalam lampiran tersebut terlihat pola sebaran TPH sama dengan pola sebaran TSS akibat dumping serbuk bor, yakni pada musim barat dominan ke timur laut dan tenggara, sementara pada musim timur dominan ke barat. Pada musim peralihan I dan peralihan II arah sebaran terlihat sama yakni dominan ke barat daya.

Peningkatan konsentrasi TPH yang terlihat cukup bervariasi baik secara musiman maupun dilihat dari lokasi sumur pengeboran. Peningkatan konsentrasi TPH maksimum pada empat sumur tersebut terlihat sama dan juga terjadi pada musim yang sama, yakni sebesar $0.0016\text{-}0.0018 \text{ mg/l}$ terjadi saat musim barat. Peningkatan konsentrasi maksimum pada tiga musim lainnya terlihat jauh lebih rendah dengan kondisi musim barat. Baku mutu TPH berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII adalah sebesar $0,02 \text{ mg/l}$, sehingga konsentrasi tertinggi TPH pada keseluruhan sumur dan musim tersebut terlihat lebih rendah dari baku mutu. Dengan kata lain Konsentrasi TPH yang melebihi baku mutu tidak terlihat dari radius 50 hingga 500 m dari titik buangan.

Tabel 13. Konsentrasi TPH maksimum akibat proses dumping serbuk bor jenis lumpur SBM

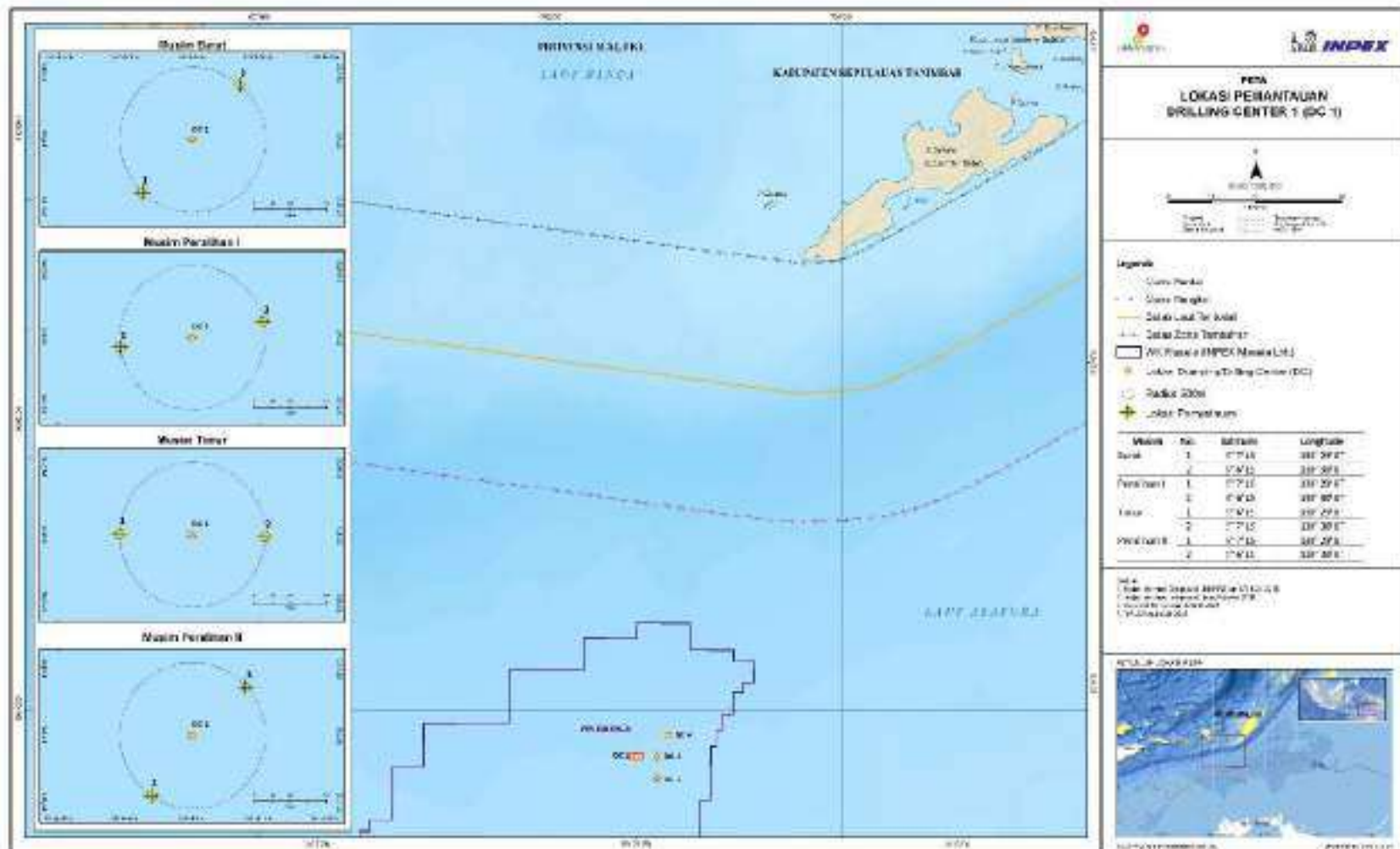
Sumur	Musim	Section	Konsentrasi TPH [mg/l] berdasarkan Jarak [m]					
			50 m	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m
DC-1	Barat	Section-4	0,0016-0,0018	0,0002-0,0003	0,0001-0,0002	0,0001-0,0002	0,0001-0,0002	< 0,0001
	Peralihan I	Section-4	0,0004-0,0005	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Timur	Section-4	0,0003-0,0004	0,0002-0,0003	0,0001-0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Peralihan II	Section-4	0,0003-0,0004	0,0002-0,0003	0,0001-0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
DC-2	Barat	Section-4	0,0016-0,0018	0,0006-0,0007	0,0002-0,0003	0,0001-0,0002	< 0,0001	< 0,0001
	Peralihan I	Section-4	0,0006-0,0007	0,0003-0,0004	0,0001-0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Timur	Section-4	0,0004-0,0005	0,0002-0,0003	0,0001-0,0002	0,0001-0,0002	< 0,0001	< 0,0001
	Peralihan II	Section-4	0,0004-0,0005	0,0003-0,0004	0,0002-0,0003	0,0001-0,0002	0,0001-0,0002	< 0,0001
DC-3	Barat	Section-4	0,0016-0,0018	0,0003-0,0004	0,0001-0,0002	0,0001-0,0002	< 0,0001	< 0,0001
	Peralihan I	Section-4	0,0004-0,0005	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Timur	Section-4	0,0003-0,0004	0,0001-0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Peralihan II	Section-4	0,0003-0,0004	0,0001-0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
DC-4	Barat	Section-4	0,0016-0,0018	0,0004-0,0005	0,0002-0,0003	0,0001-0,0002	0,0001-0,0002	< 0,0001
	Peralihan I	Section-4	0,0006-0,0007	0,0002-0,0003	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Timur	Section-4	0,0004-0,0005	0,0002-0,0003	0,0001-0,0002	0,0001-0,0002	< 0,0001	< 0,0001
	Peralihan II	Section-4	0,0004-0,0005	0,0002-0,0003	0,0001-0,0002	0,0001-0,0002	< 0,0001	< 0,0001

4.5. Usulan Titik Pemantauan

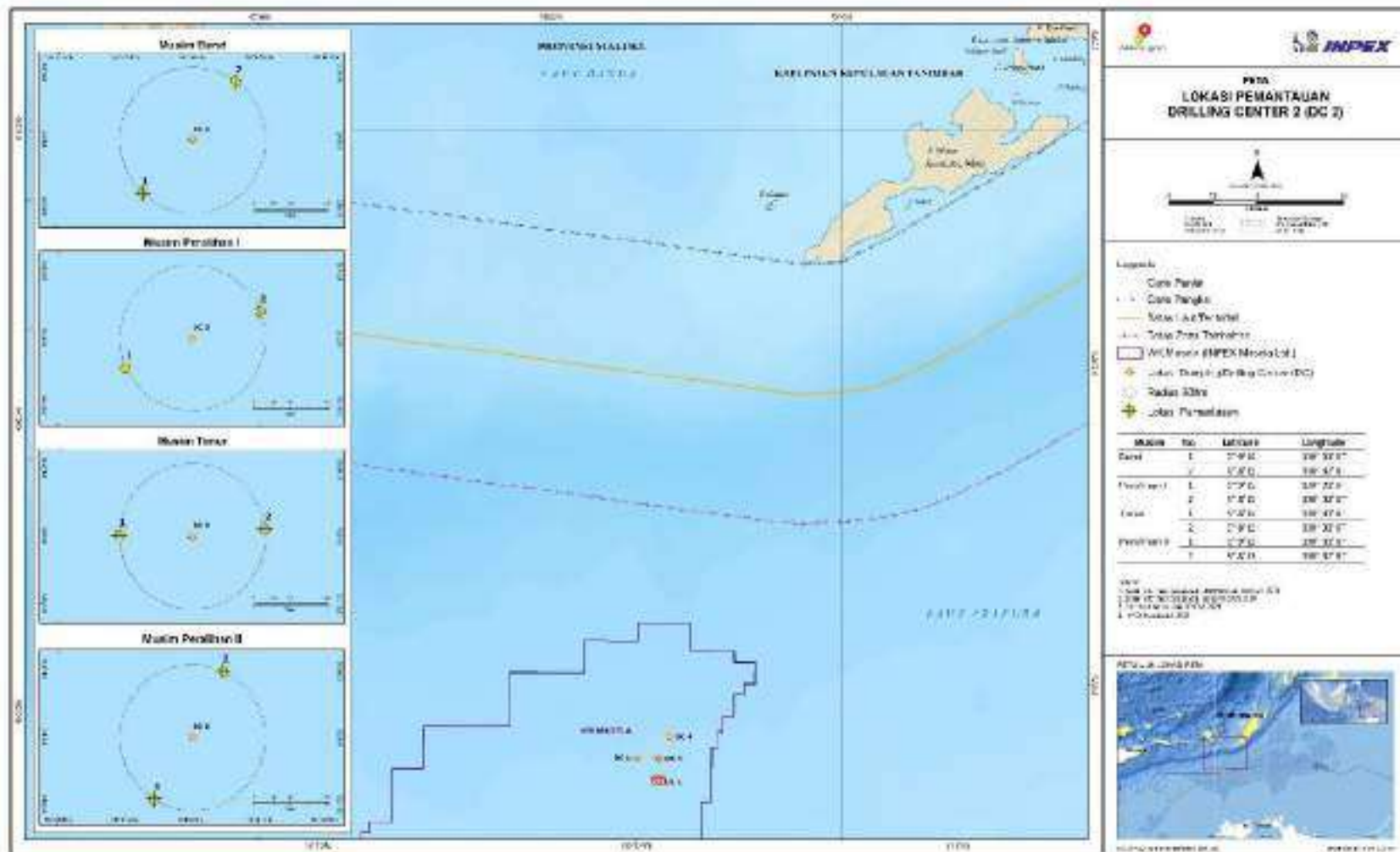
Berdasarkan hasil simulasi hidrodinamika (pola arus) dan sebaran TSS akibat dumping limbah pemboran, maka diusulkan beberapa titik pemantauan yang mewakili keseluruhan sumur dan musim. Koordinat usulan titik pantau berdasarkan musim dan masing-masing sumur disajikan dalam **Tabel 14**, sedangkan peta usulan titik pantau tersebut diperlihatkan dalam **Gambar 18** hingga **Gambar 21**

Tabel 14. Koordinat usulan titik pantau berdasarkan musim dan masing-masing sumur

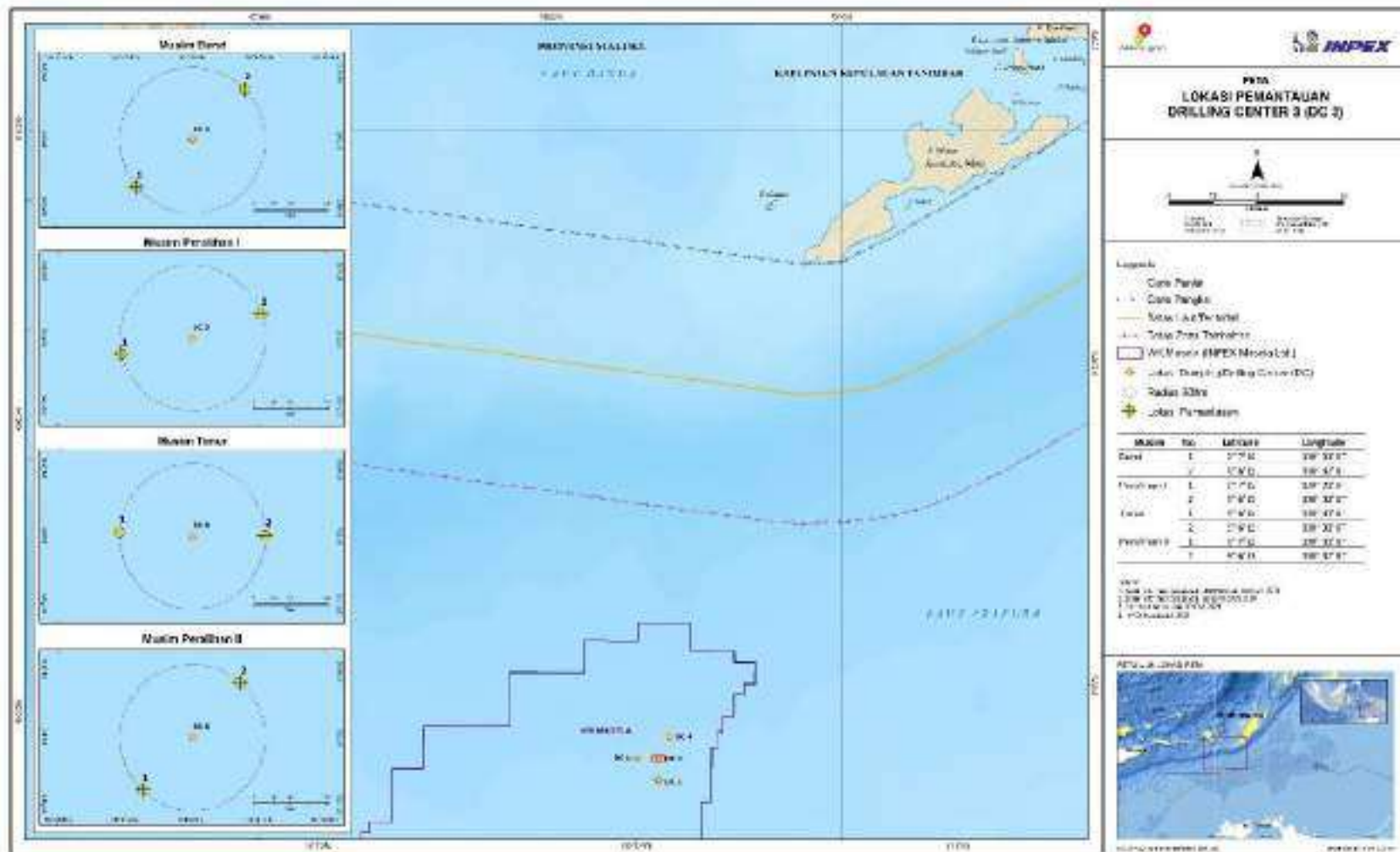
Musim	Kode	Drilling Center							
		DC-1		DC-2		DC-3		DC-4	
		Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
Barat	1	9° 7' LS	130° 29' BT	9° 9' LS	130° 31' BT	9° 7' LS	130° 31' BT	9° 5' LS	130° 32' BT
	2	9° 6' LS	130° 30' BT	9° 8' LS	130° 32' BT	9° 6' LS	130° 32' BT	9° 4' LS	130° 33' BT
Peralihan I	1	9° 7' LS	130° 29' BT	9° 9' LS	130° 31' BT	9° 7' LS	130° 31' BT	9° 5' LS	130° 32' BT
	2	9° 6' LS	130° 30' BT	9° 8' LS	130° 32' BT	9° 6' LS	130° 32' BT	9° 4' LS	130° 33' BT
Timur	1	9° 6' LS	130° 29' BT	9° 8' LS	130° 31' BT	9° 6' LS	130° 31' BT	9° 5' LS	130° 32' BT
	2	9° 7' LS	130° 30' BT	9° 8' LS	130° 32' BT	9° 6' LS	130° 32' BT	9° 4' LS	130° 33' BT
Peralihan II	1	9° 7' LS	130° 29' BT	9° 9' LS	130° 31' BT	9° 7' LS	130° 31' BT	9° 5' LS	130° 32' BT
	2	9° 6' LS	130° 30' BT	9° 8' LS	130° 32' BT	9° 6' LS	130° 32' BT	9° 4' LS	130° 33' BT



Gambar 18. Usulan titik pantau sumur lokasi Drilling Center 1 (DC-1)



Gambar 19. Usulan titik pantau sumur lokasi Drilling Center 2 (DC-2)



Gambar 20. Usulan titik pantau sumur lokasi Drilling Center 3 (DC-3)

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi model maka dapat disarikan beberapa hal sebagai berikut

- Verifikasi model hidrodinamika berupa komponen pasut memperlihatkan adanya kesesuaian yang baik atau hasil model hidrodinamika sudah mendekati kondisi yang sebenarnya
- Rata-rata arus lapisan permukaan pada musim barat dominan bergerak ke timur laut hingga timur dengan kecepatan berkisar 0.06-0.15 m/det, sedangkan ketiga musim lainnya dominan ke arah barat hingga barat daya dengan n kecepatan masing-masing berkisar 0.15-0.20 m/det (musim peralihan I), 0.15-0.4 m/det (musim timur), 0.2-0.4 m/det (musim peralihan I)
- Rata-rata arus lapisan dekat dasar bergerak ke barat hingga barat daya saat musim barat, peralihan I dan timur, sedangkan musim peralihan II bergerak ke timur laut. Kecepatan arus dekat dasar tergolong rendah, yakni masing-masing berkisar 0.008-0.02 m/det (musim barat), 0.006-0.02 m/det (peralihan I), 0.01-0.04 m/det (musim timur) dan 0.004-0.02 m/det (musim peralihan II)
- Pola sebaran TSS akibat dumping lumpur bor (*used mud*) dan serbuk bor (*cutting*) sebagian besar mengikuti pola arus dominan, yakni pada lapisan permukaan saat musim barat dominan ke timur laut, sedangkan ketiga musim lainnya dominan ke arah barat hingga barat daya. Pada lapisan dekat dasar saat musim barat, peralihan I, dan musim timur bergerak ke timur laut, sementara pada musim peralihan II dominan ke timur laut
- Konsentrasi TSS akibat buangan lumpur bor dan serbuk bor saat pengeboran tahap-1 dan tahap-2 pada keseluruhan sumur dan musim maksimum mencapai 100-120 mg/l (melebihi baku mutu). Konsentrasi TSS yang melebihi baku mutu tersebut menyebar hingga radius 200-300 m. Pada jarak 500 m konsentrasi TSS tidak ada yang melebihi baku mutu.
- Penebalan dasar atau sedimen yang mengendap (tersedimentasi) di titik lokasi dumping keseluruhan sumur tergolong kecil, yakni maksimum hanya berkisar 0.2-0.7 cm
- Peningkatan konsentrasi TPH akibat dumping serbuk bor SBM pada keseluruhan sumur dan musim tertinggi hanya mencapai kisaran 0.0016-0.0018 mg/l (lebih rendah dari baku mutu)

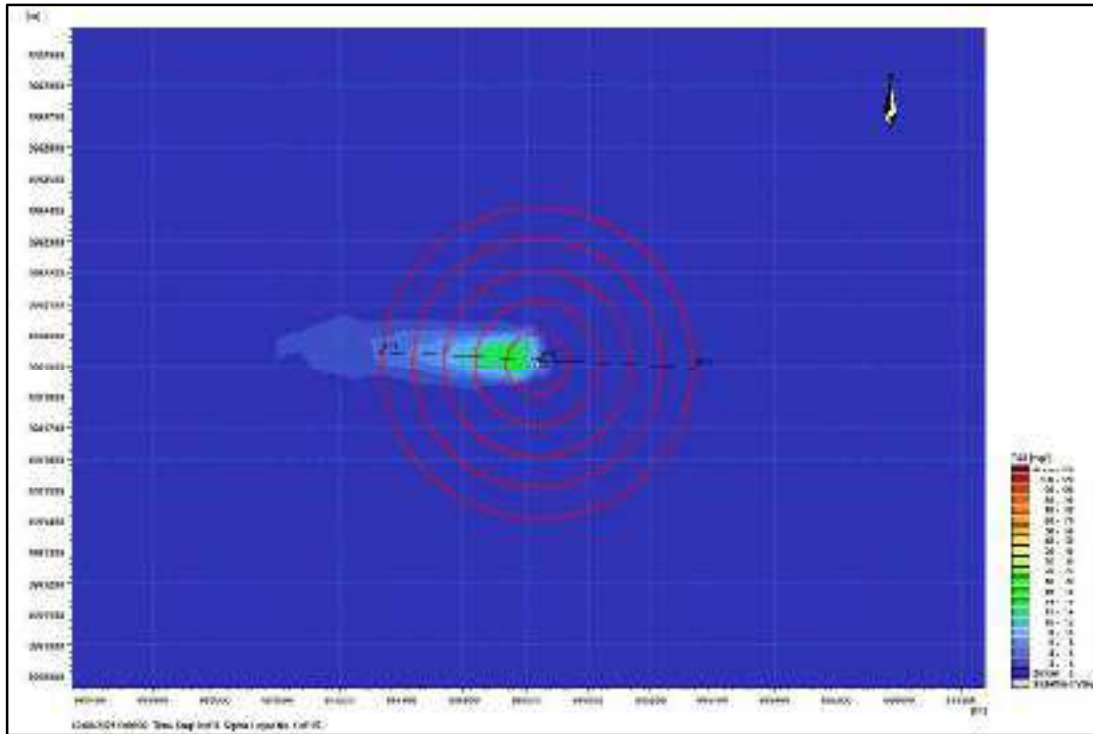
DAFTAR PUSTAKA

- Danish Hydraulic Institute (DHI) 2012. MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM Hydrodynamic and Transport Module. Scientific Documentation. DHI Software.
- Danish Hydraulic Institute (DHI). 2012. MIKE 3 FLOW MODEL FM, User Guide, DHI Software.
- Kunarso, Hadi S, Ningsih NS, dan Baskoro MS. 2012. Perubahan Kedalaman dan Ketebalan Termoklin pada variasi Kejadian ENSO, IOD dan Monsun di Perairan Selatan Jawa Hingga Pulau Timor. Ilmu Kelautan, 17(2) : 87 – 98.

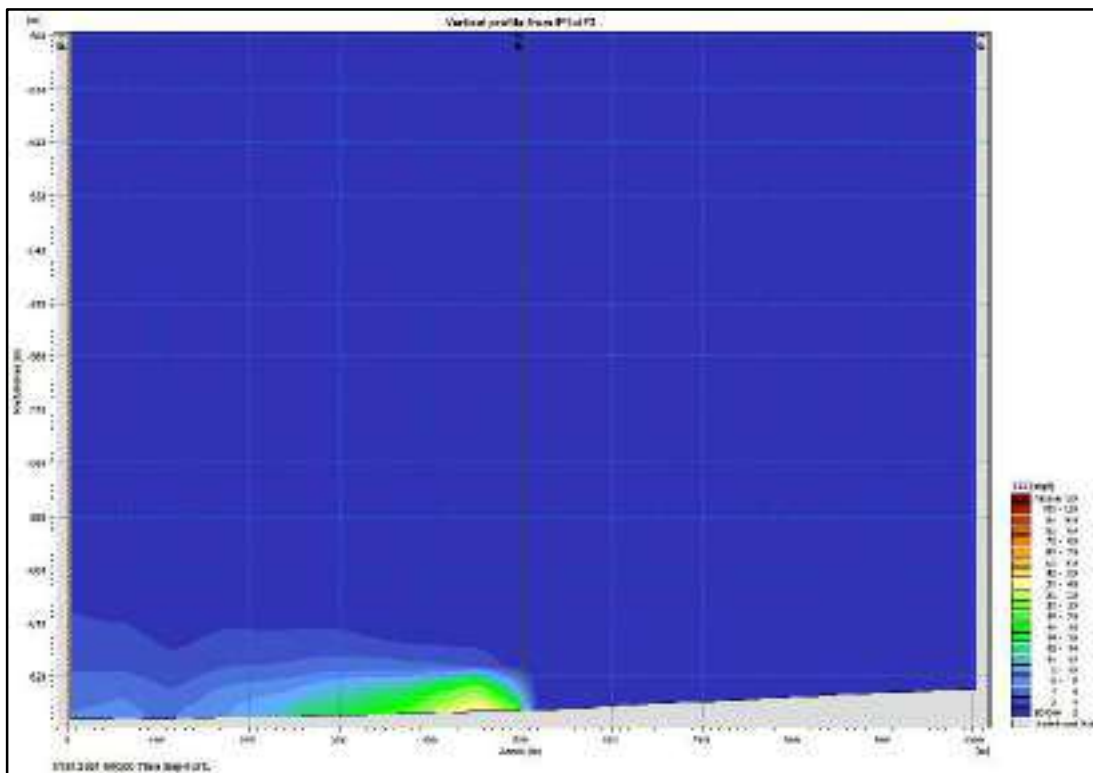
LAMPIRAN A

Lampiran A Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping gabungan lumpur bor dan serbuk bor (section-1 dan section-2) serta hanya akibat dumping lumpur bor (section-3 dan section-5) di sumur DC-1

Lampiran A-1. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-1 saat Musim Barat

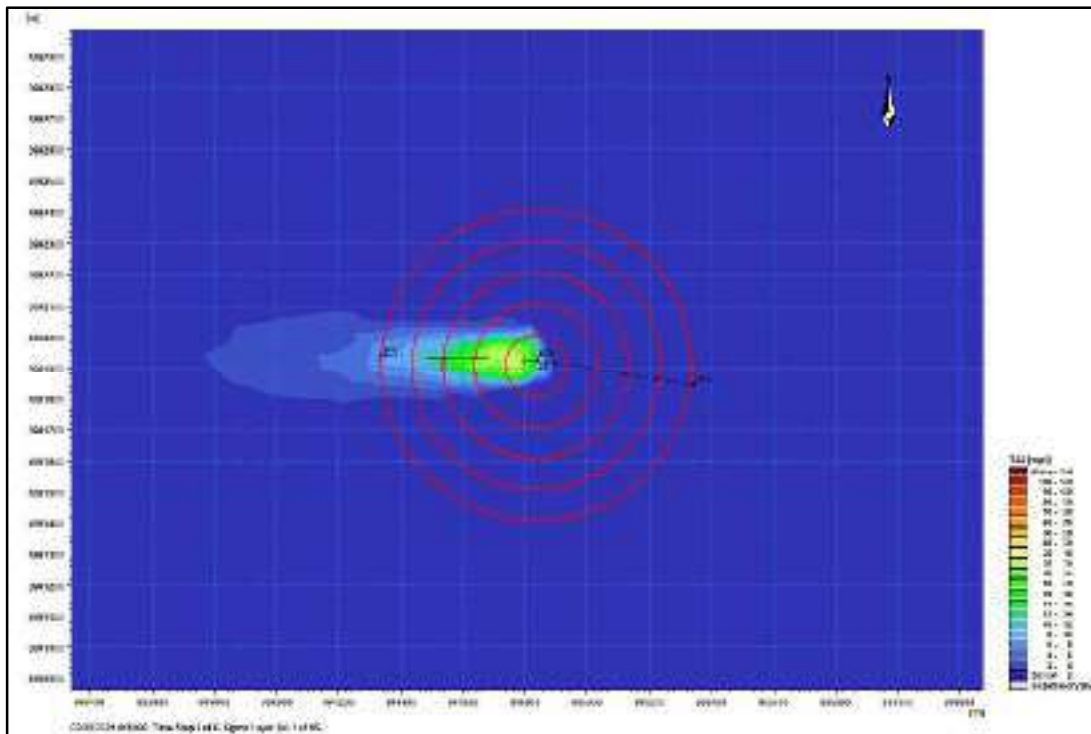


(Section 1) Sebaran horizontal

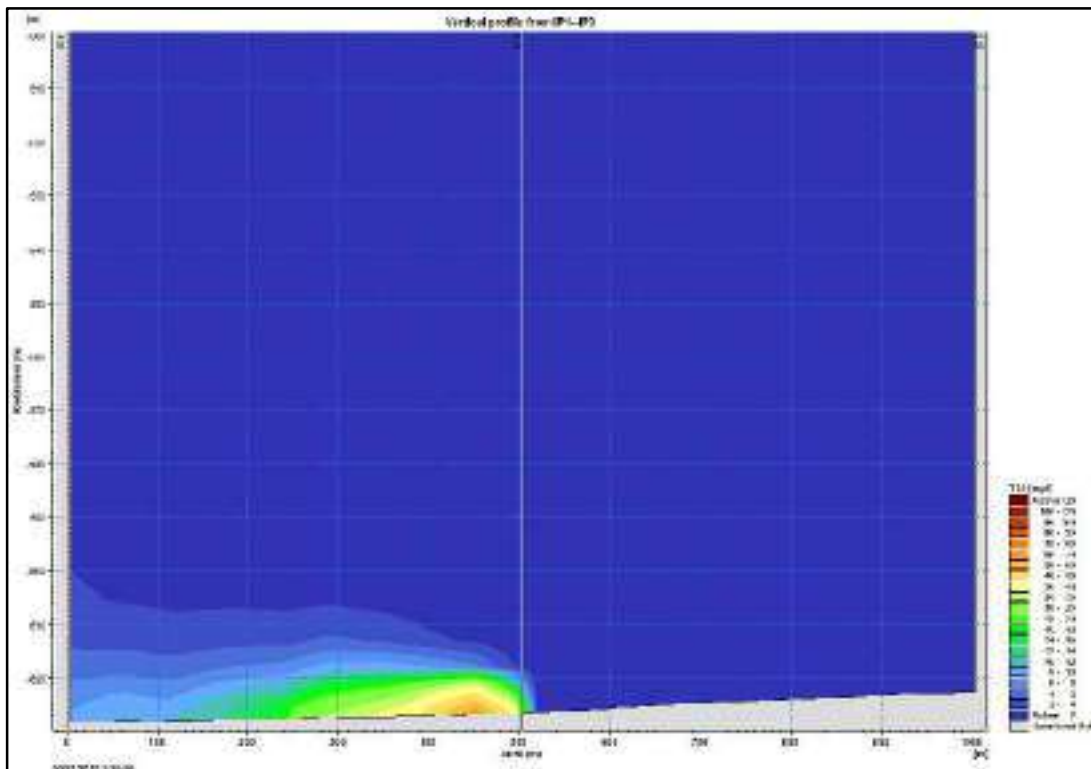


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-1. Lanjutan

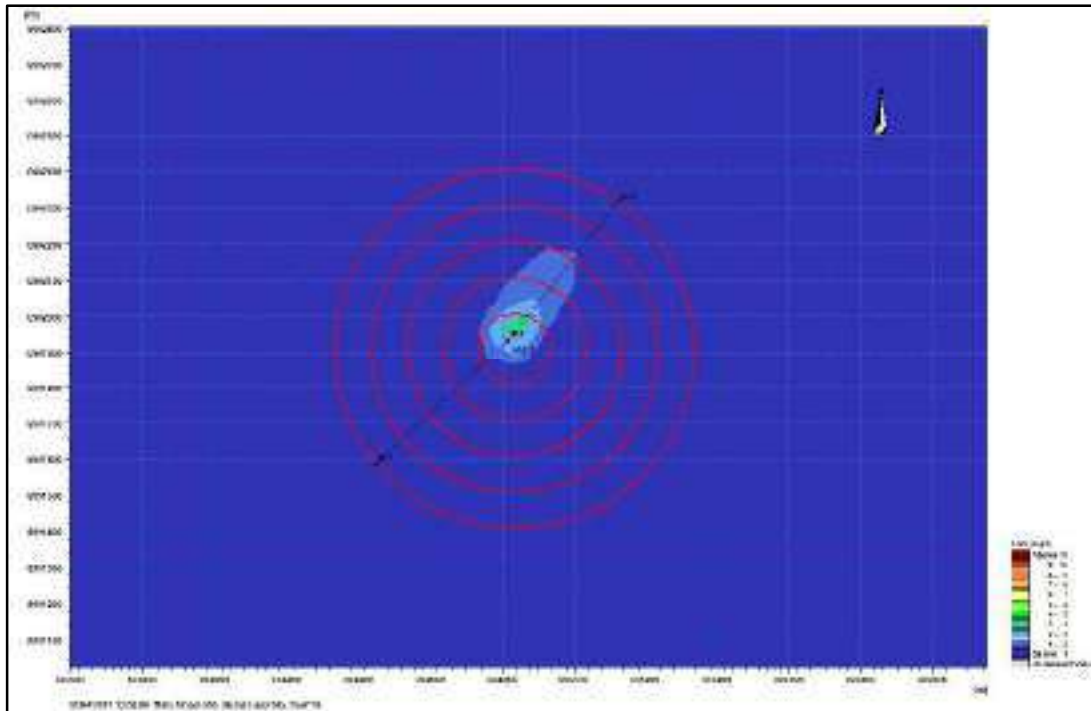


(Section 2) Sebaran horizontal

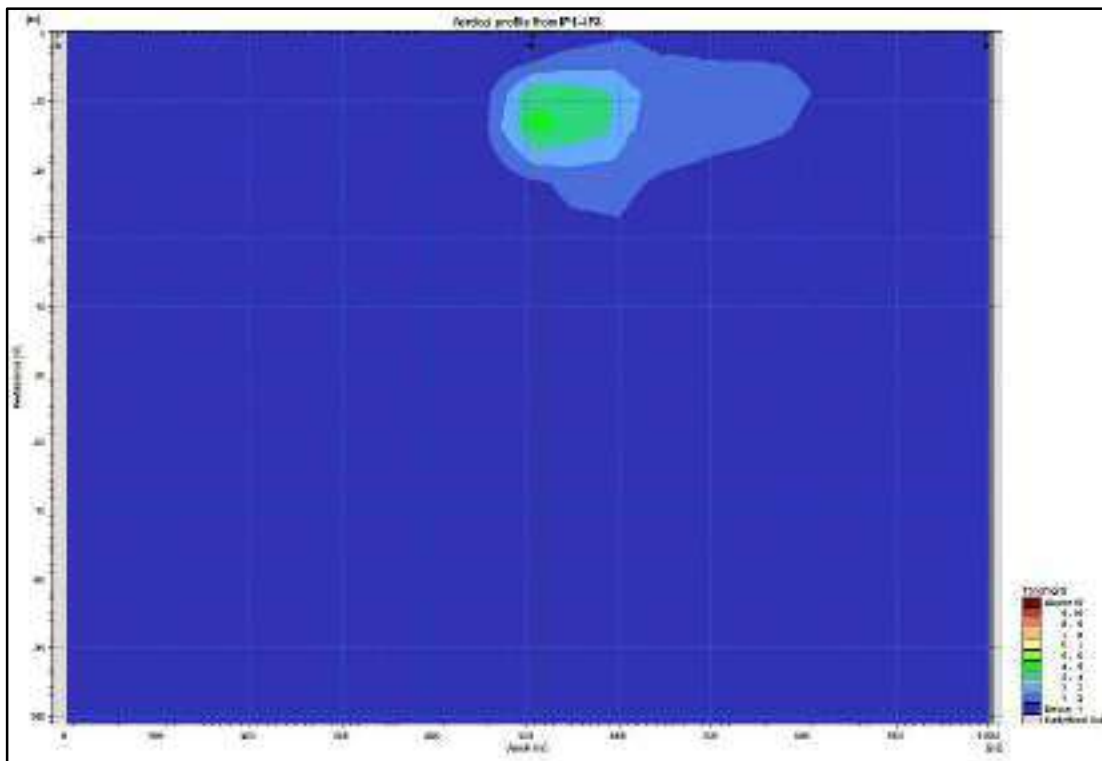


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-1. Lanjutan

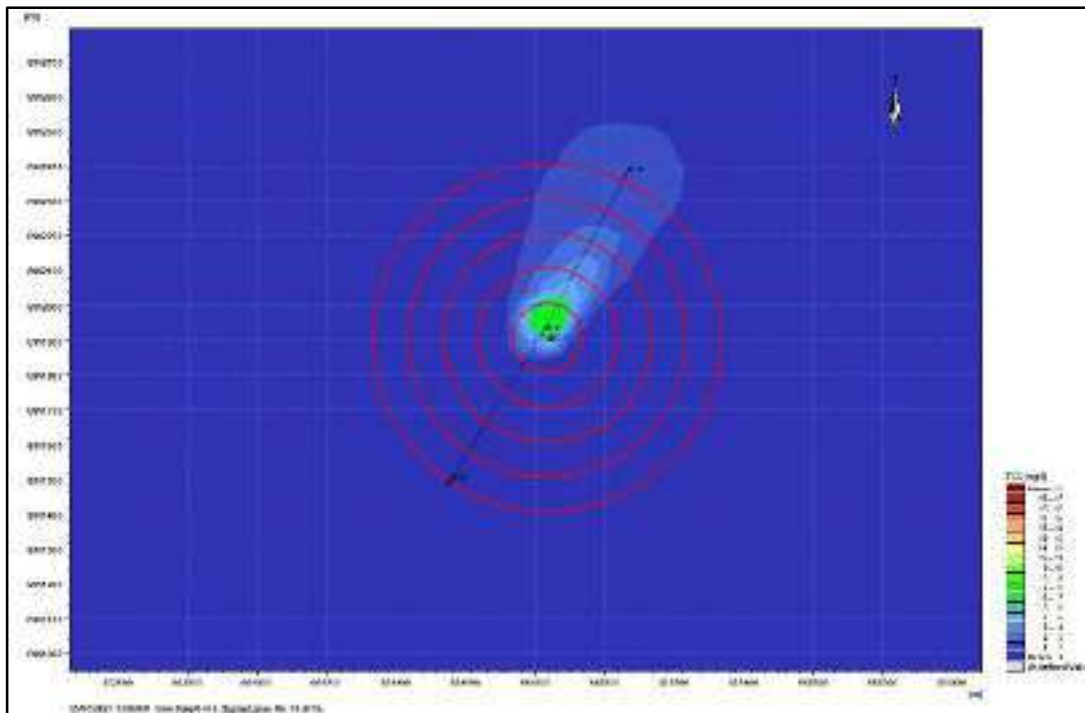


(Section 3) Sebaran horizontal

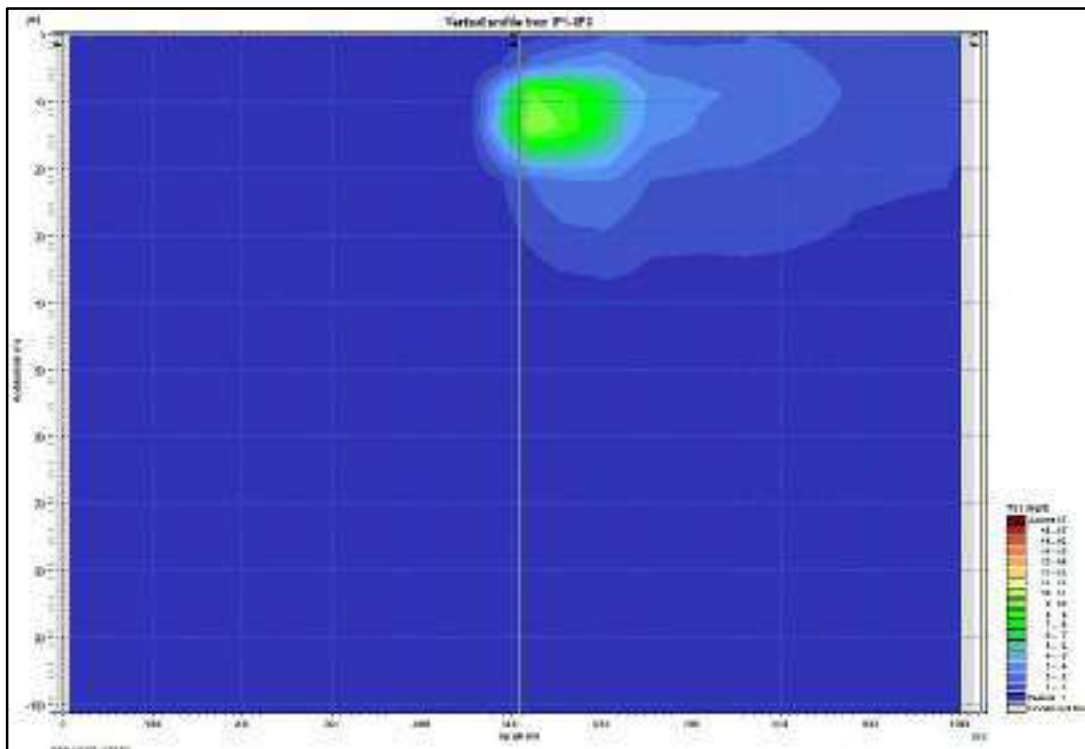


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-1. Lanjutan

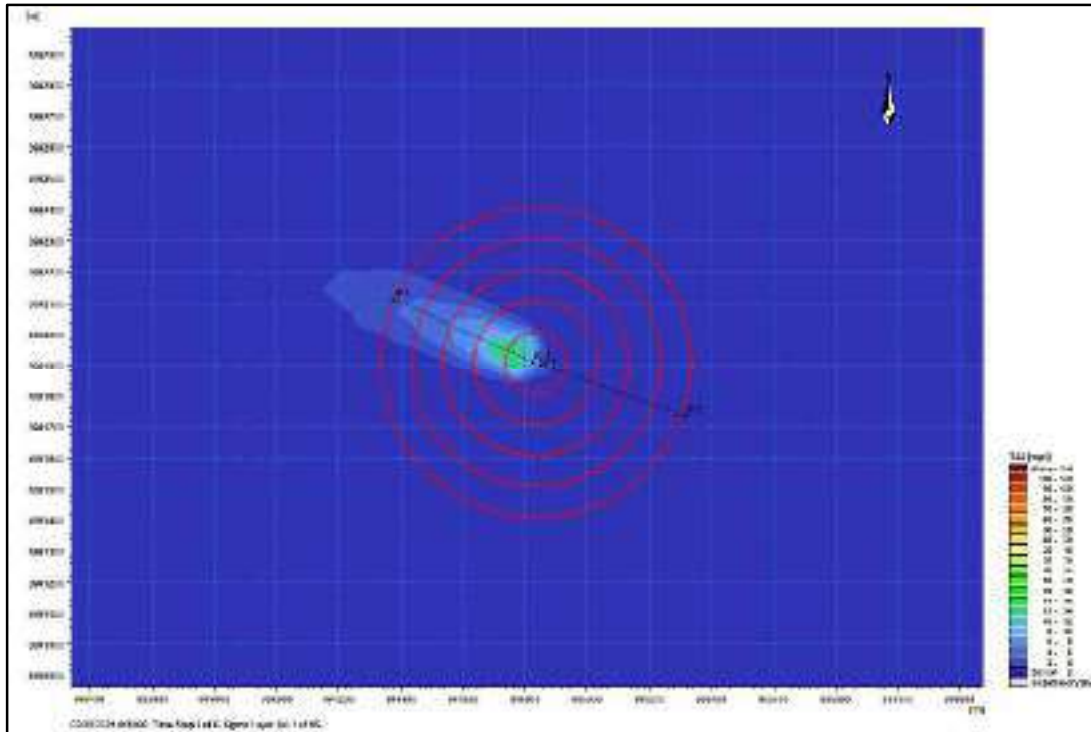


(Section 5) Sebaran horizontal

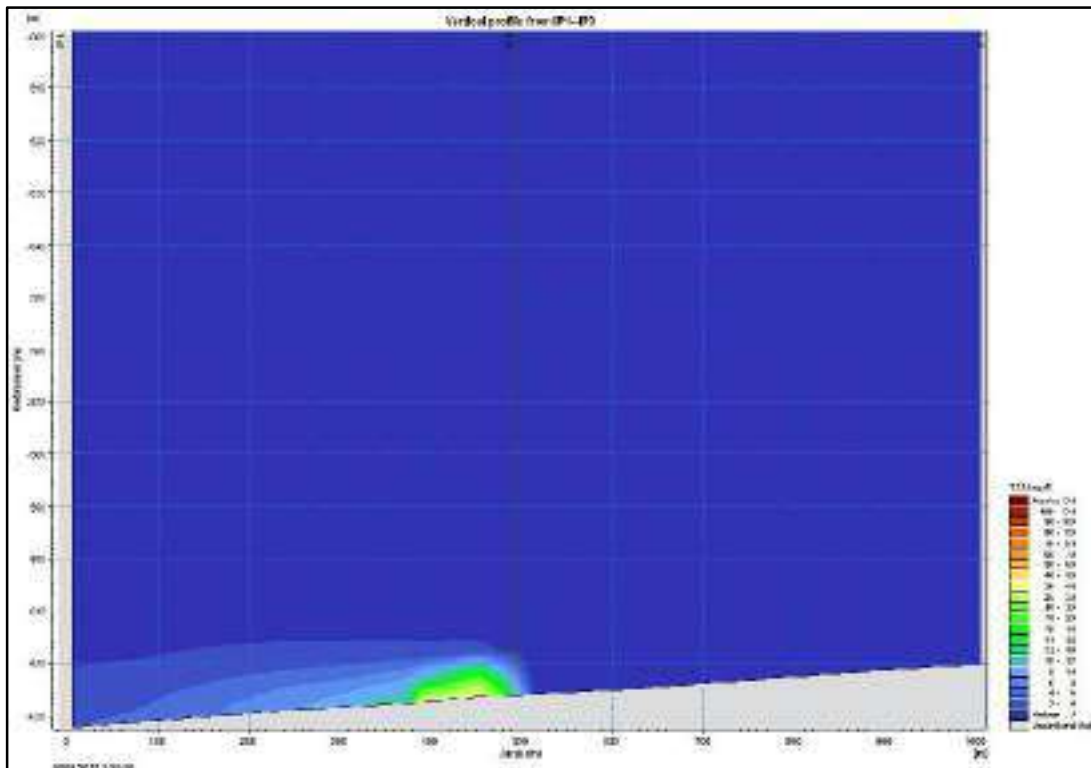


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-2 Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-1 saat Musim Peralihan I

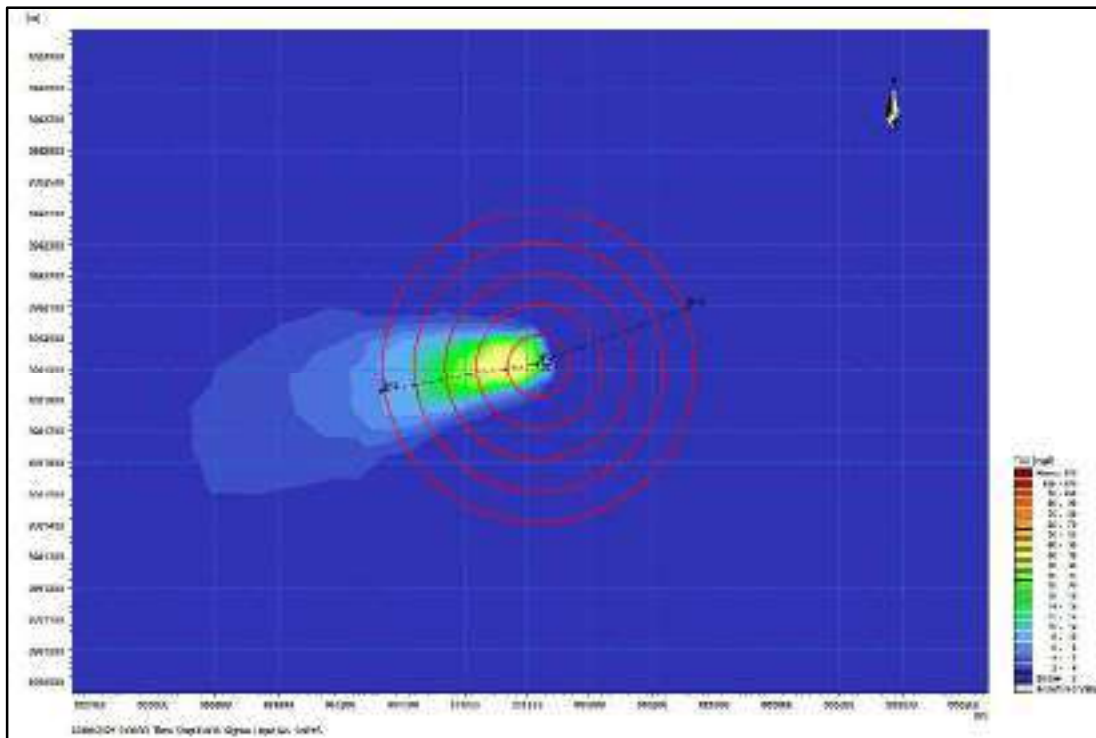


(Section 1) Sebaran horizontal

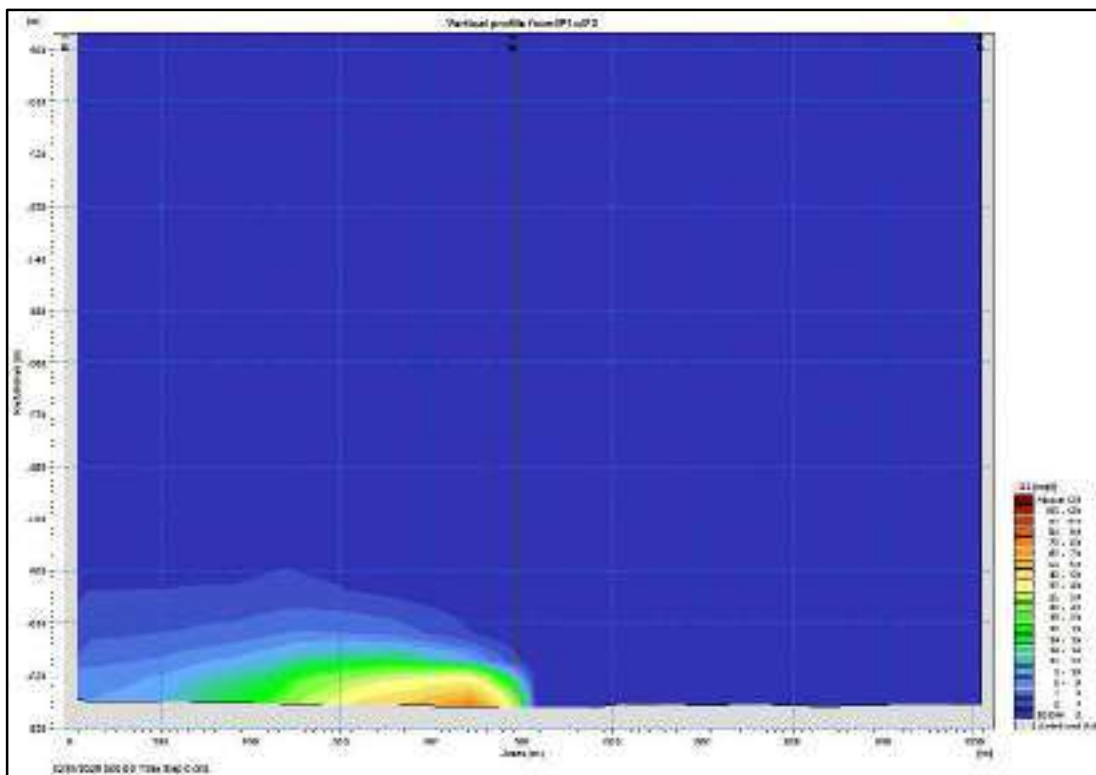


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-2. Lanjutan

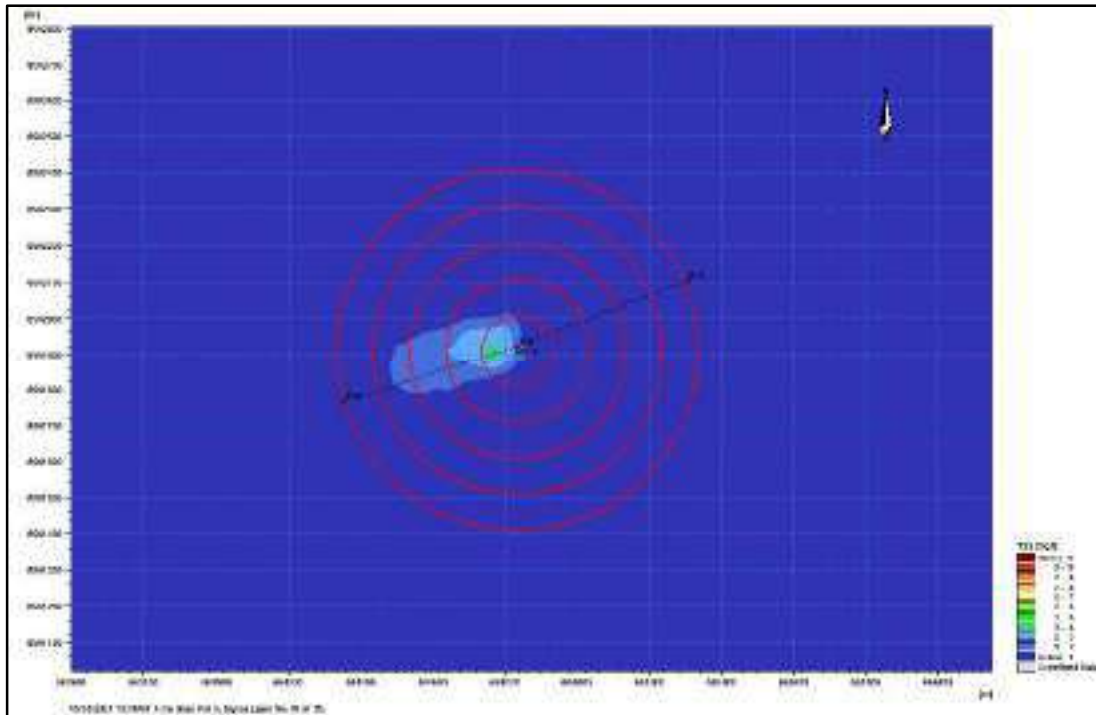


(Section 2) Sebaran horizontal

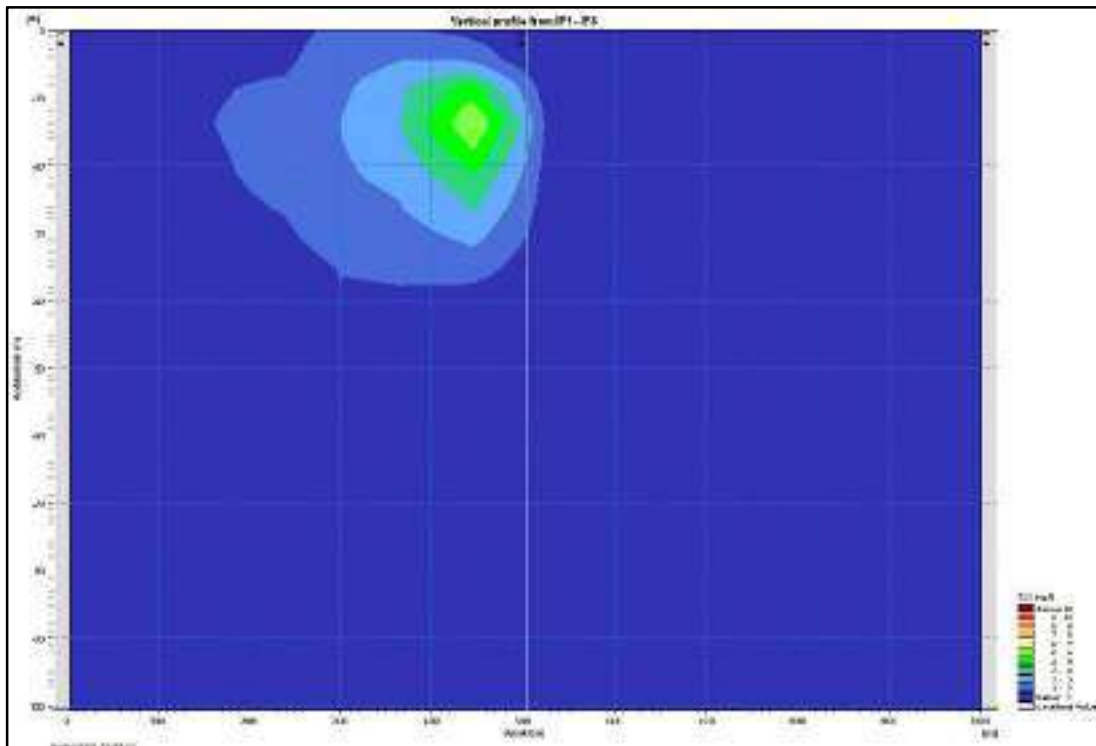


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-2. Lanjutan

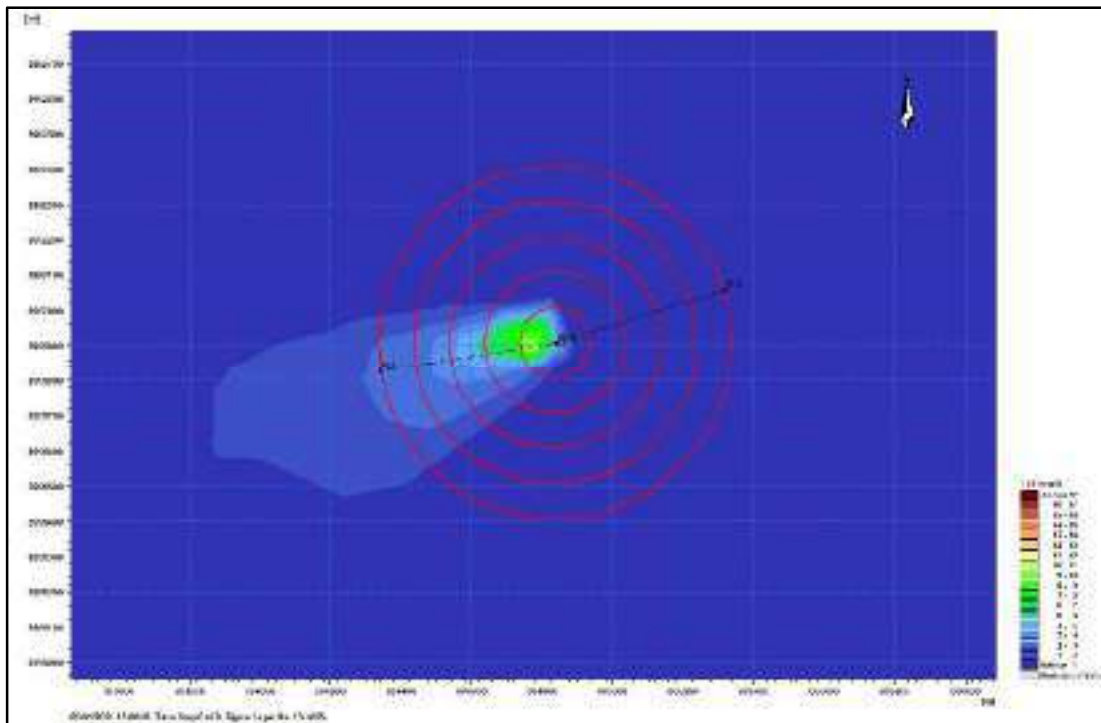


(Section 3) Sebaran horizontal

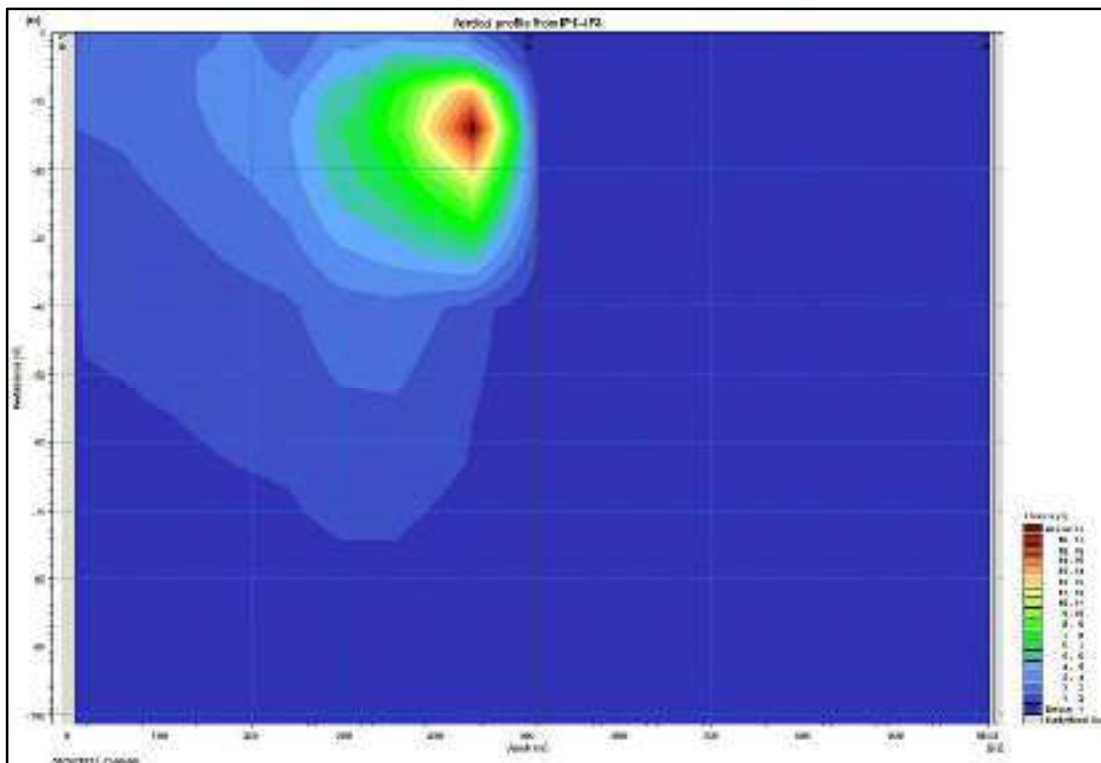


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-2. Lanjutan

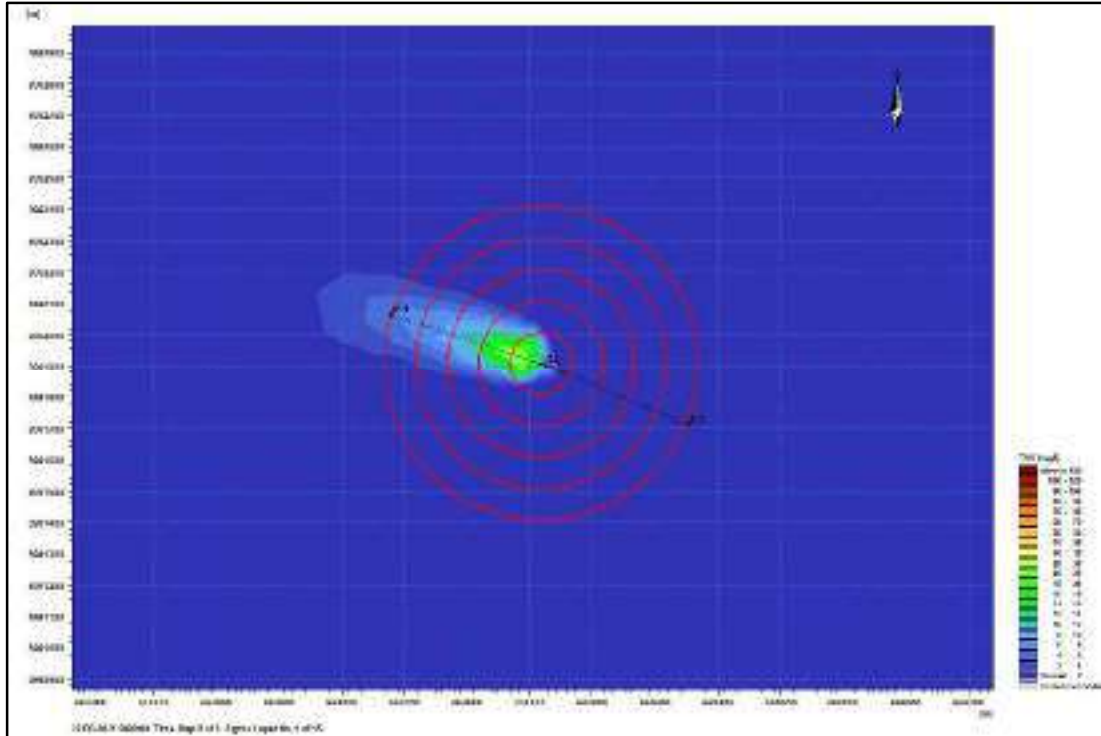


(Section 5) Sebaran horizontal

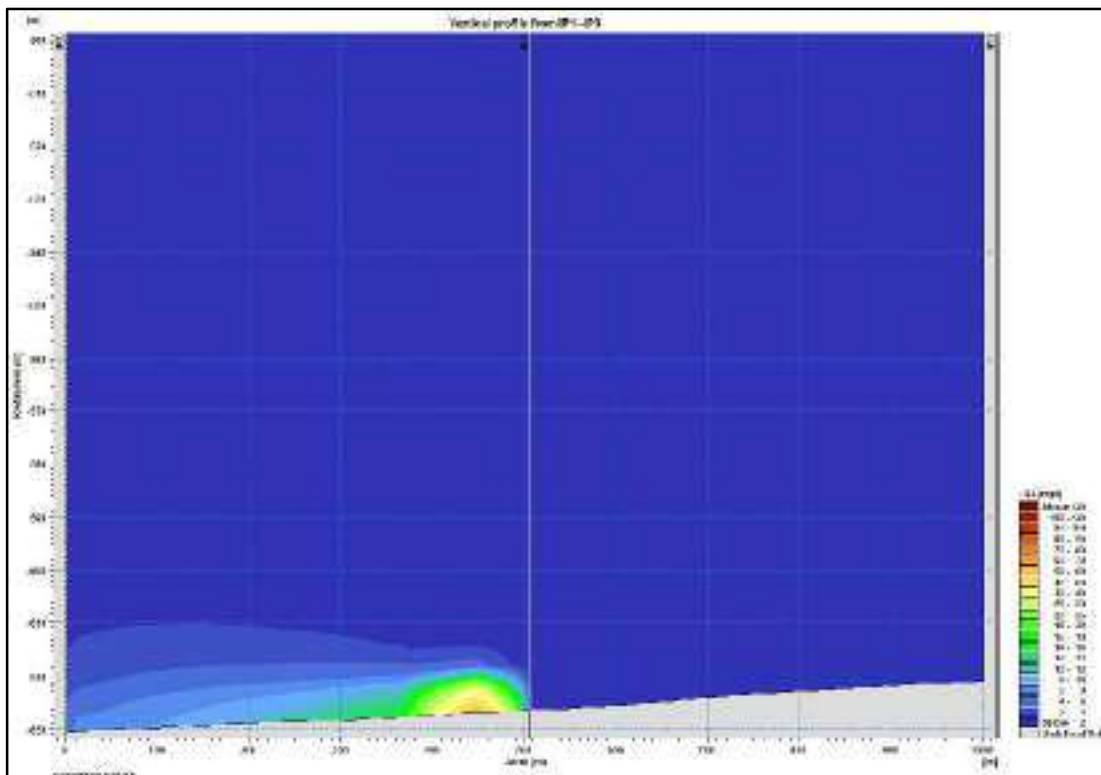


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-3. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-1 saat Musim Timur

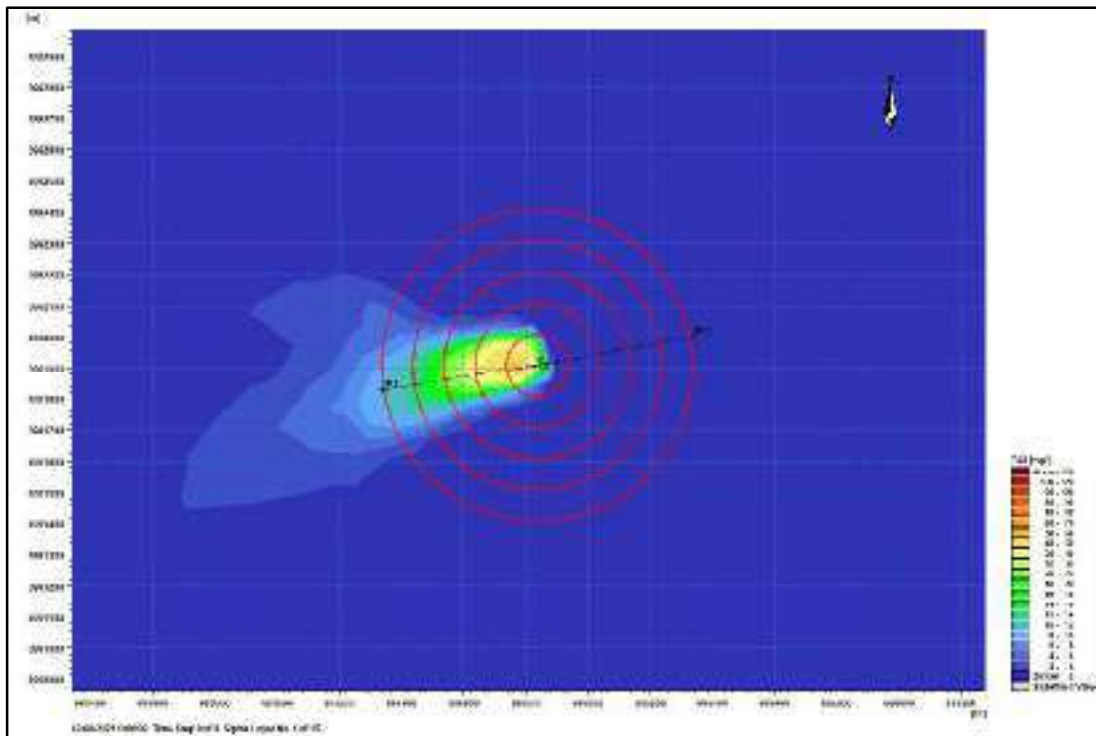


(Section 1) Sebaran horizontal

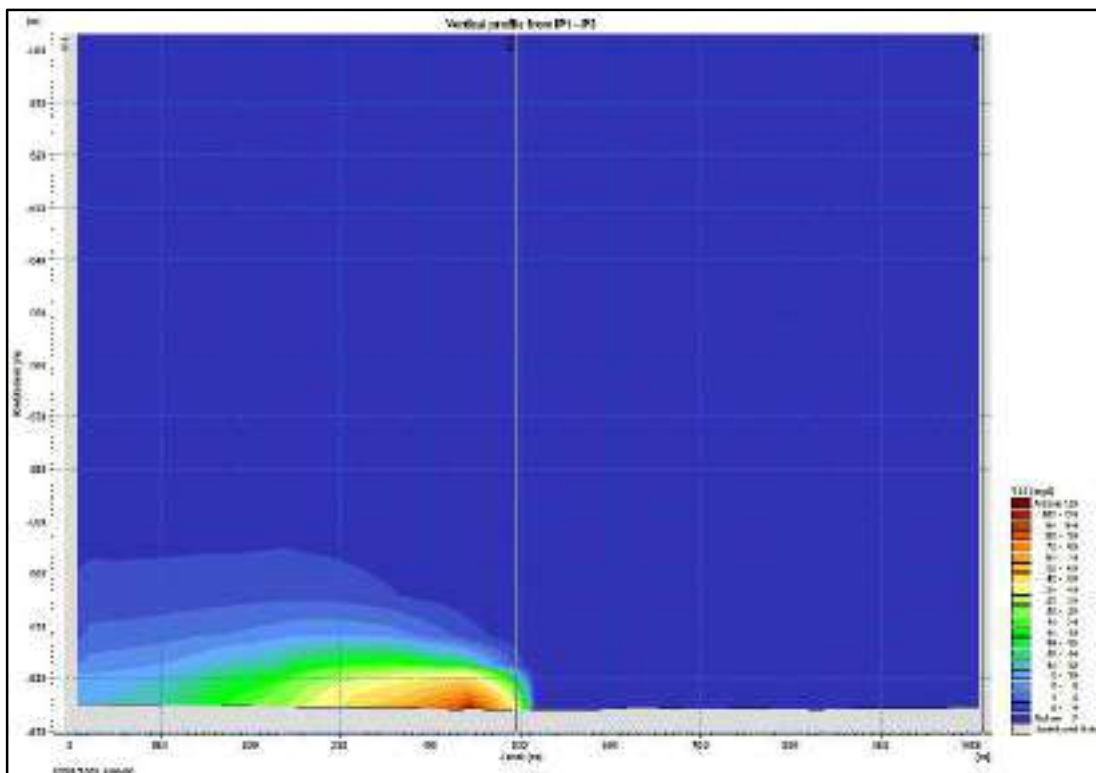


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-3. Lanjutan

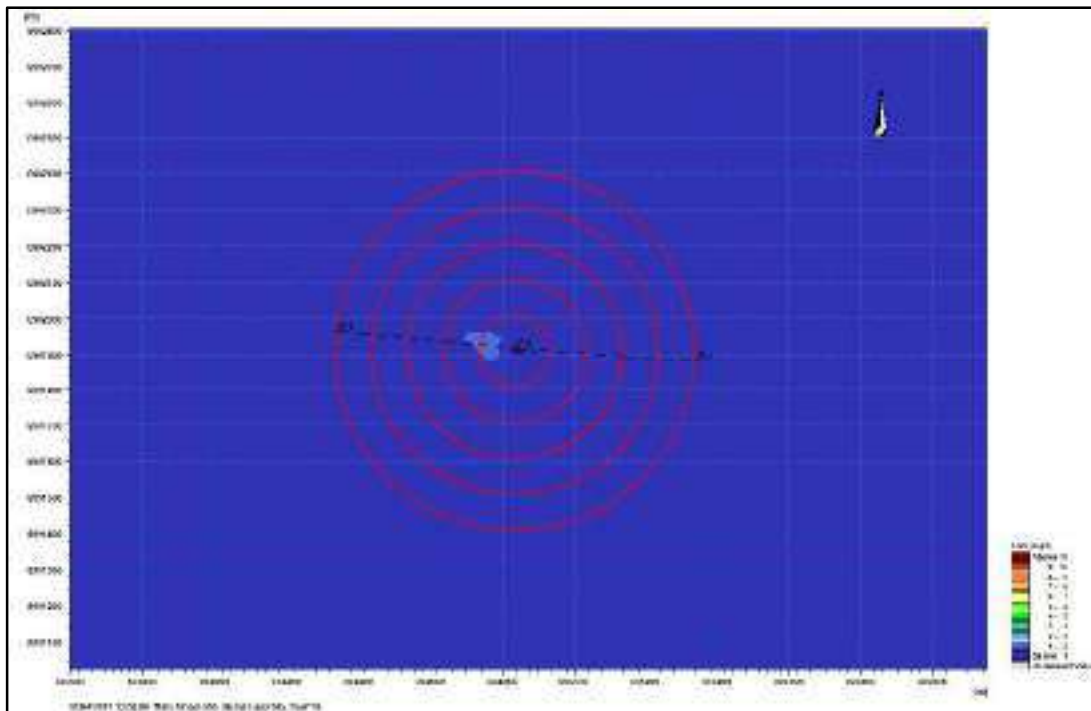


(Section 2) Sebaran horizontal

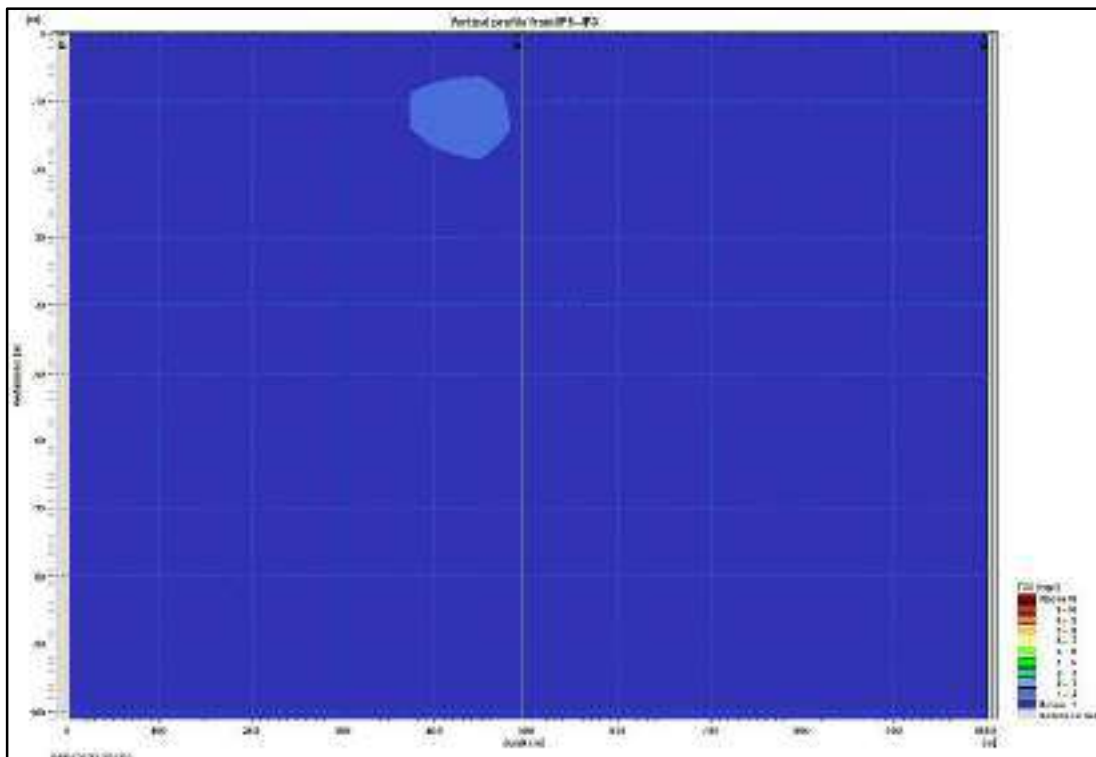


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-3. Lanjutan

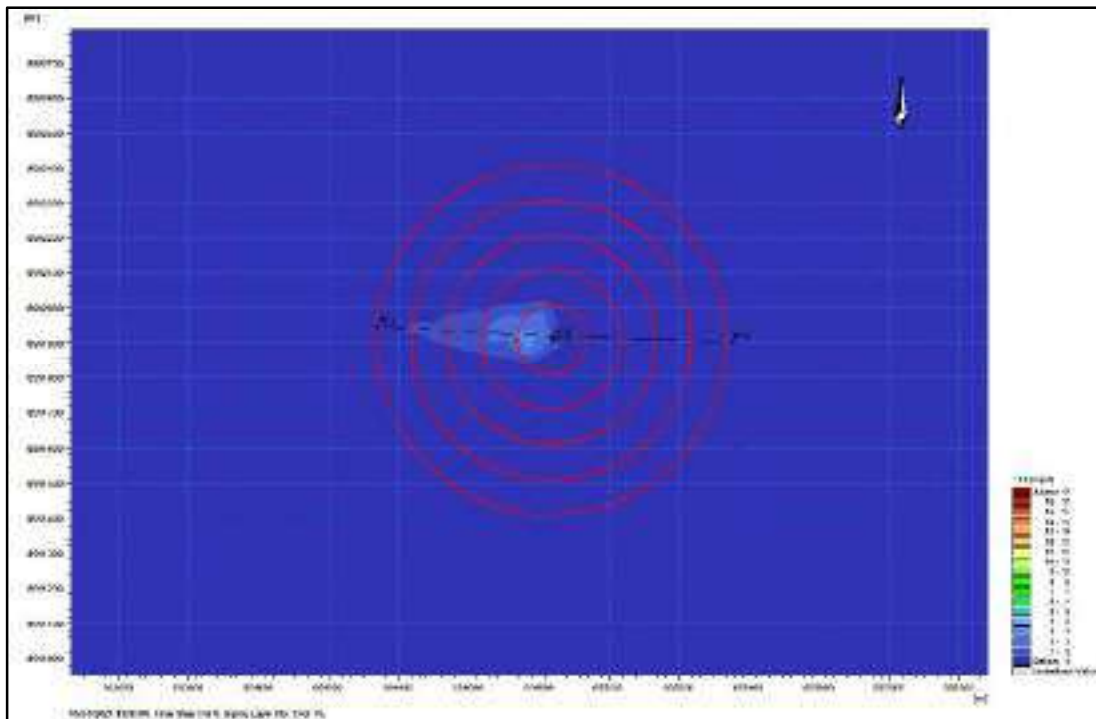


(Section 3) Sebaran horizontal

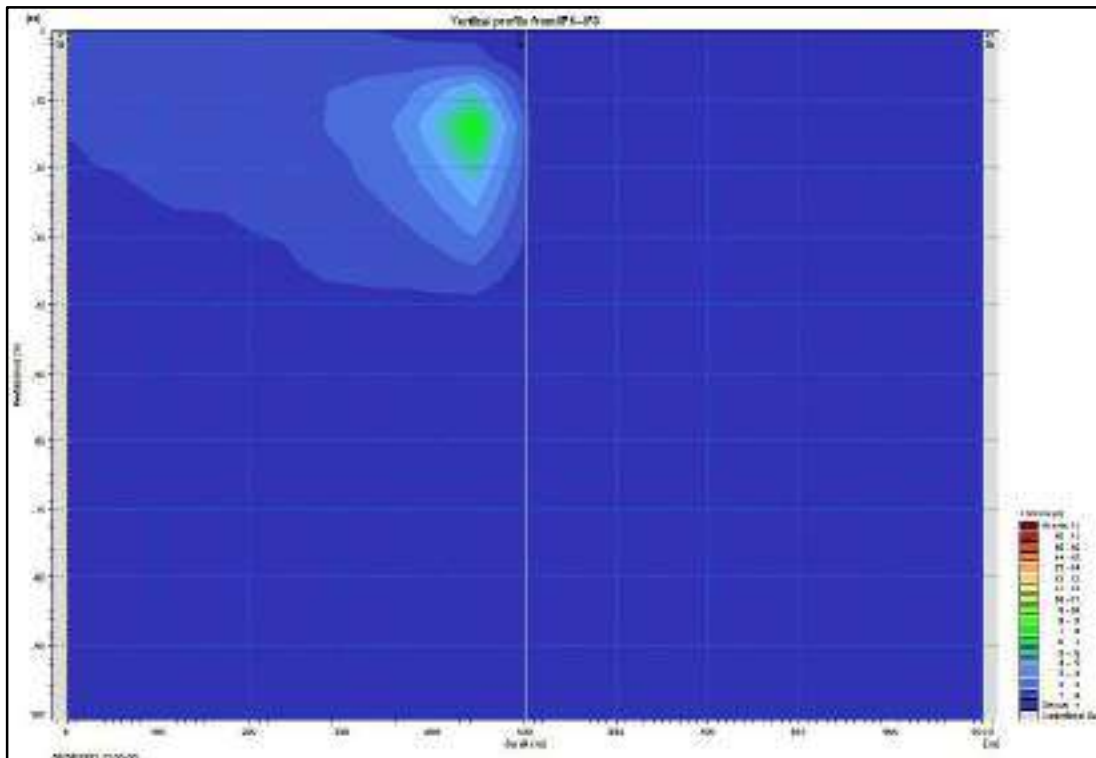


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-3. Lanjutan

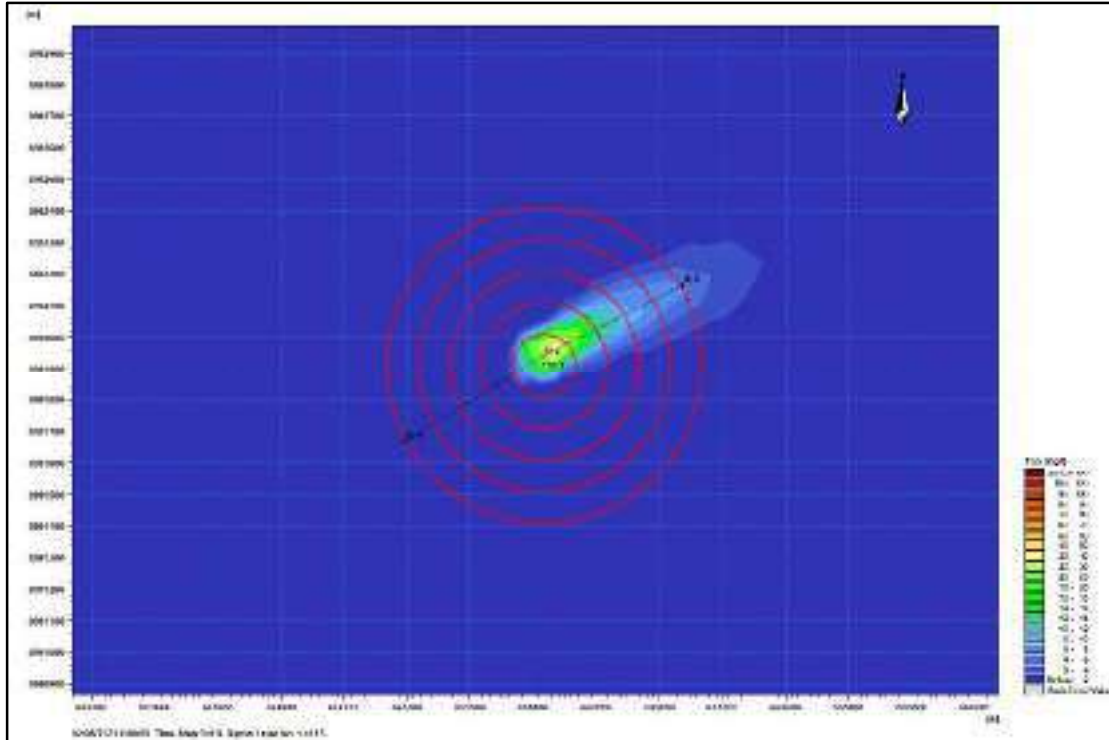


(Section 5) Sebaran horizontal

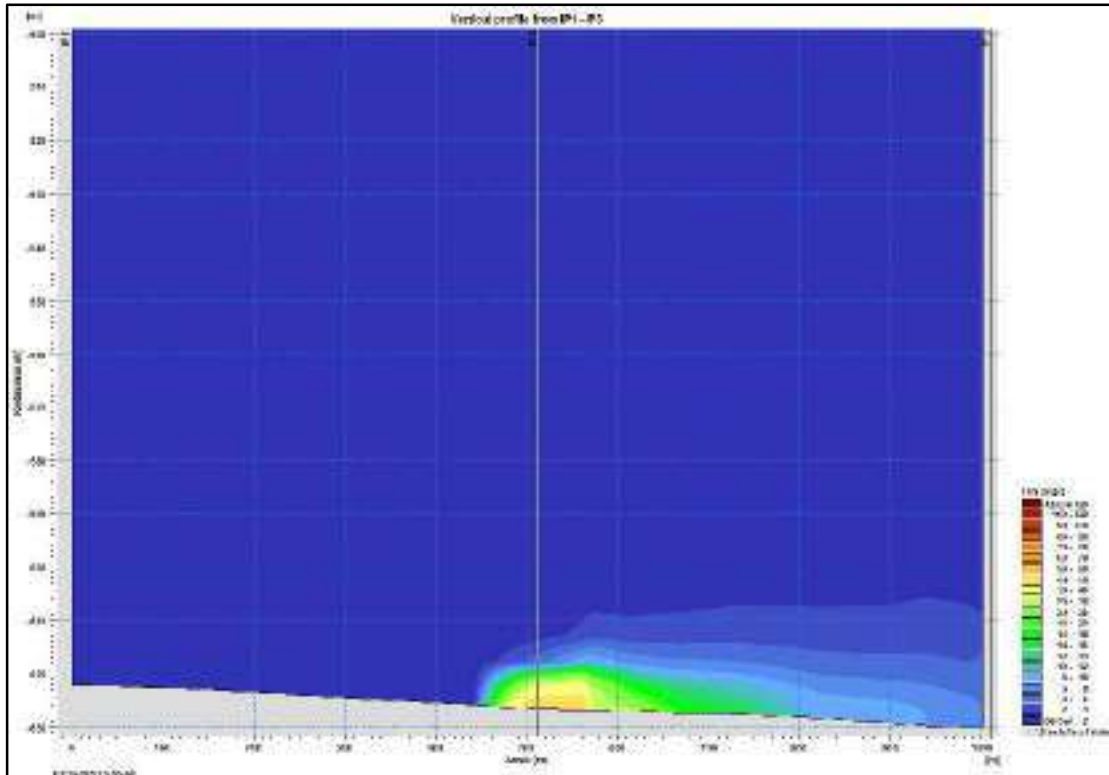


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-4. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-1 saat Musim Peralihan II

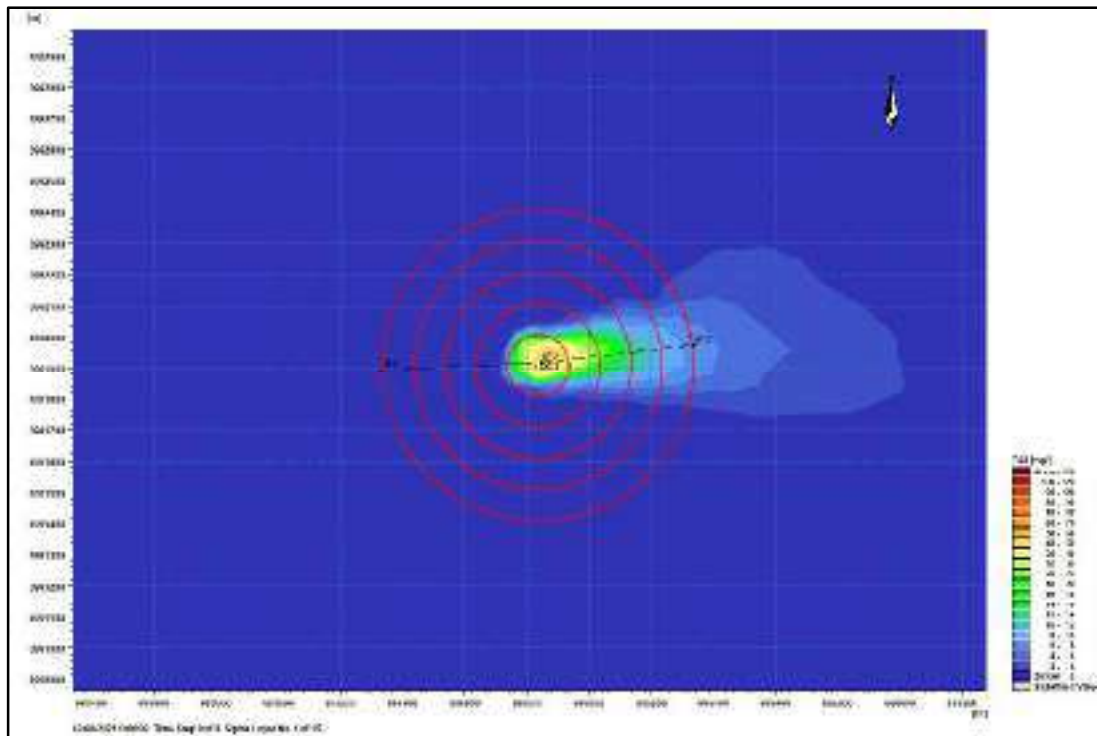


(Section 1) Sebaran horizontal

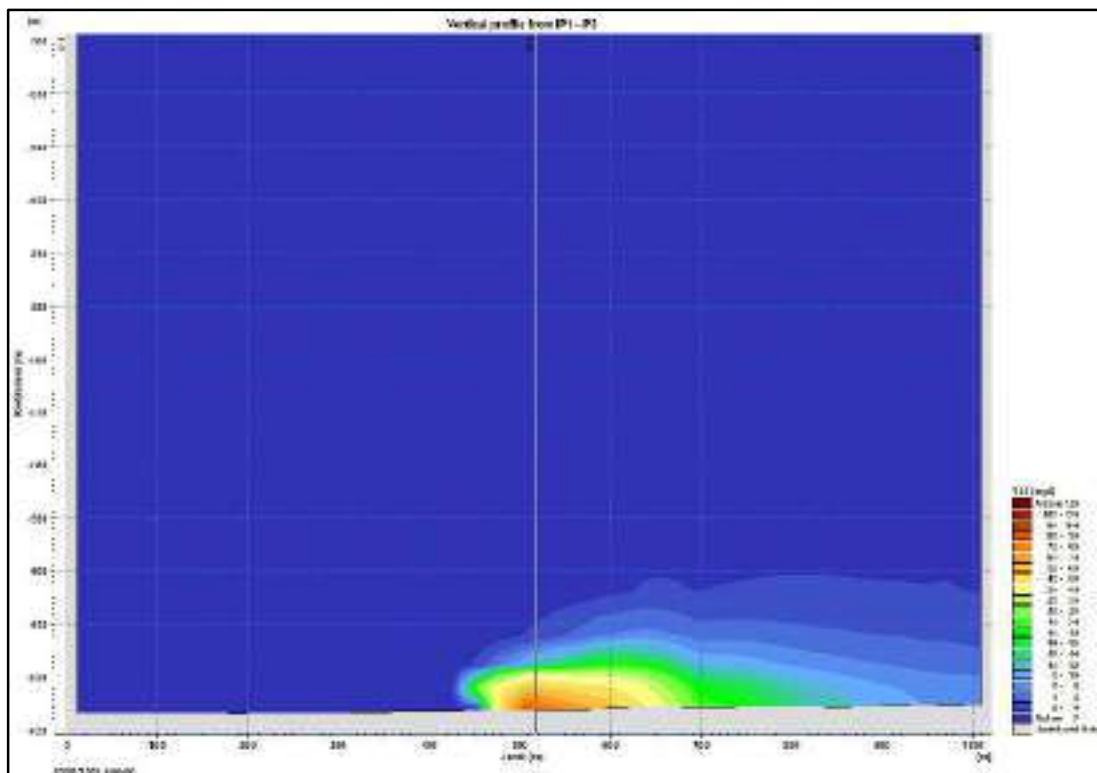


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-4. Lanjutan

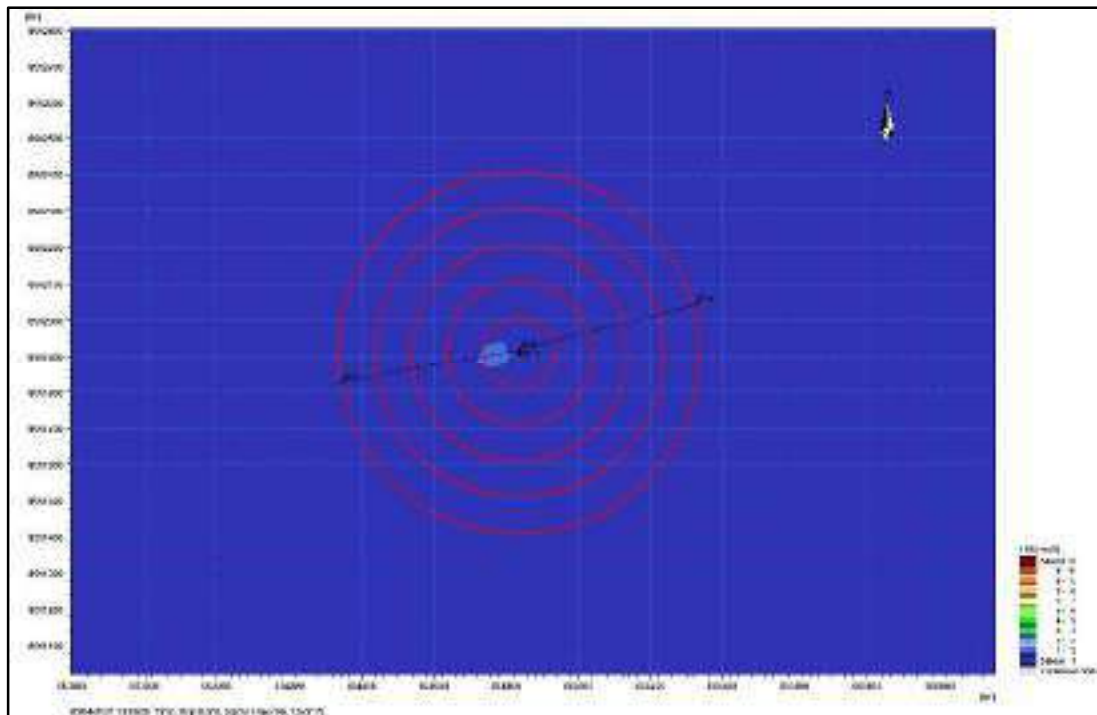


(Section 2) Sebaran horizontal

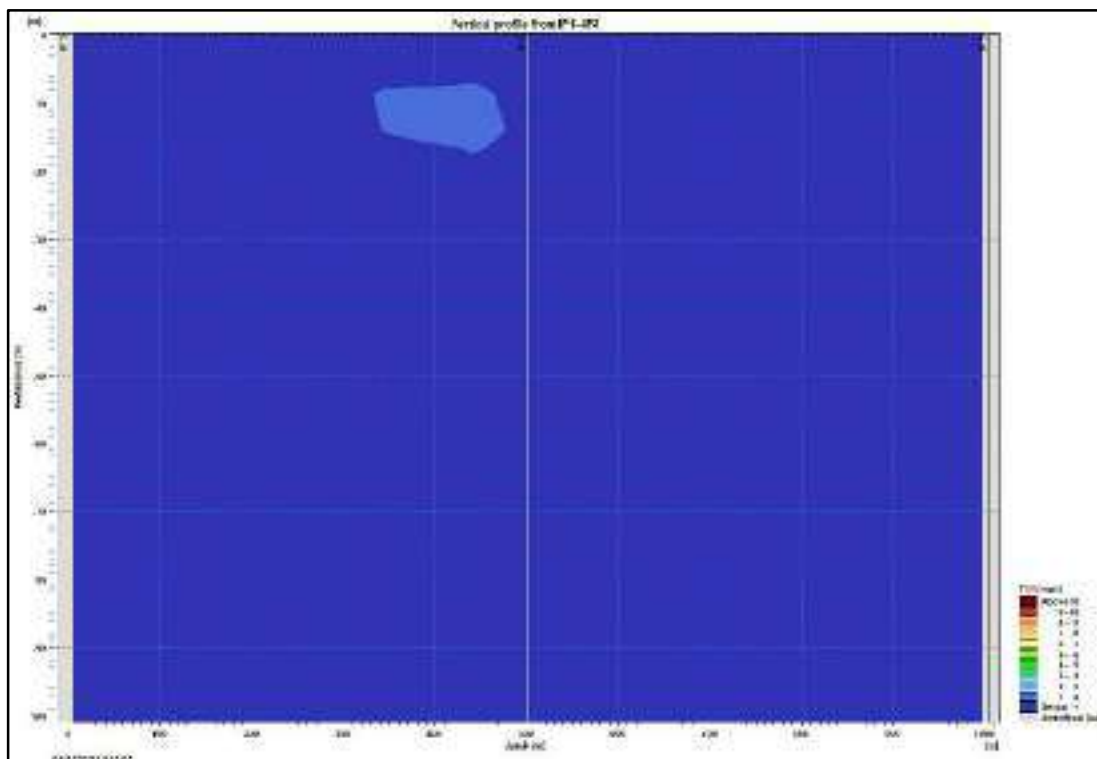


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-4. Lanjutan

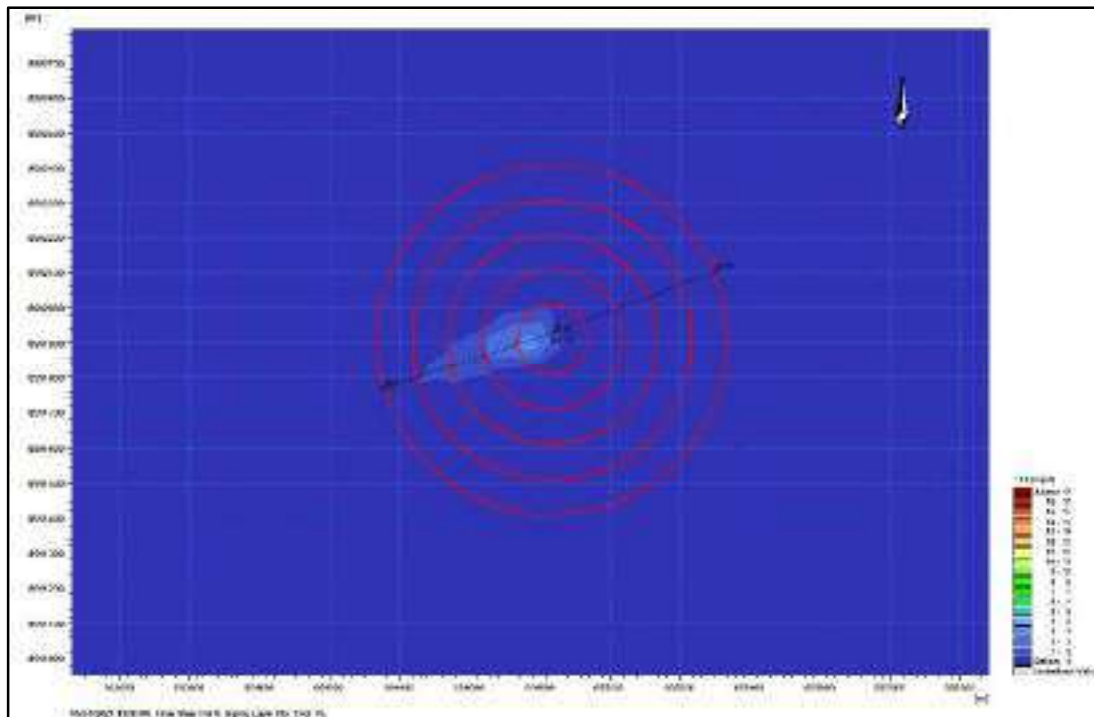


(Section 3) Sebaran horizontal

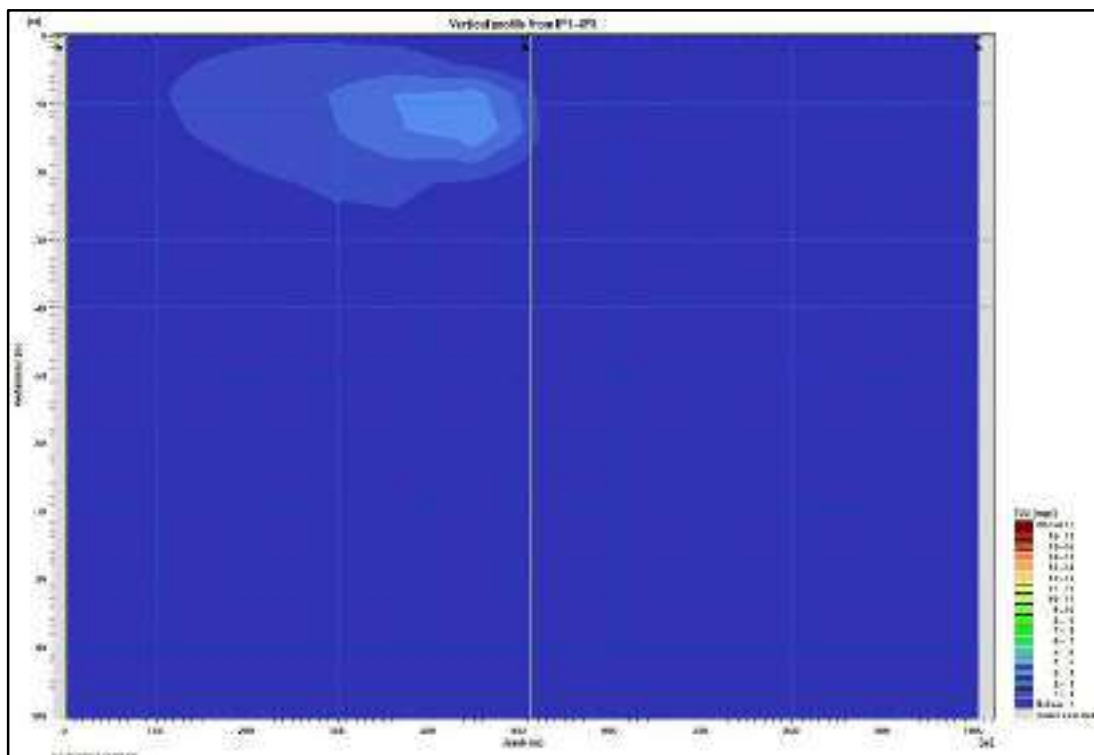


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran A-4. Lanjutan



(Section 5) Sebaran horizontal

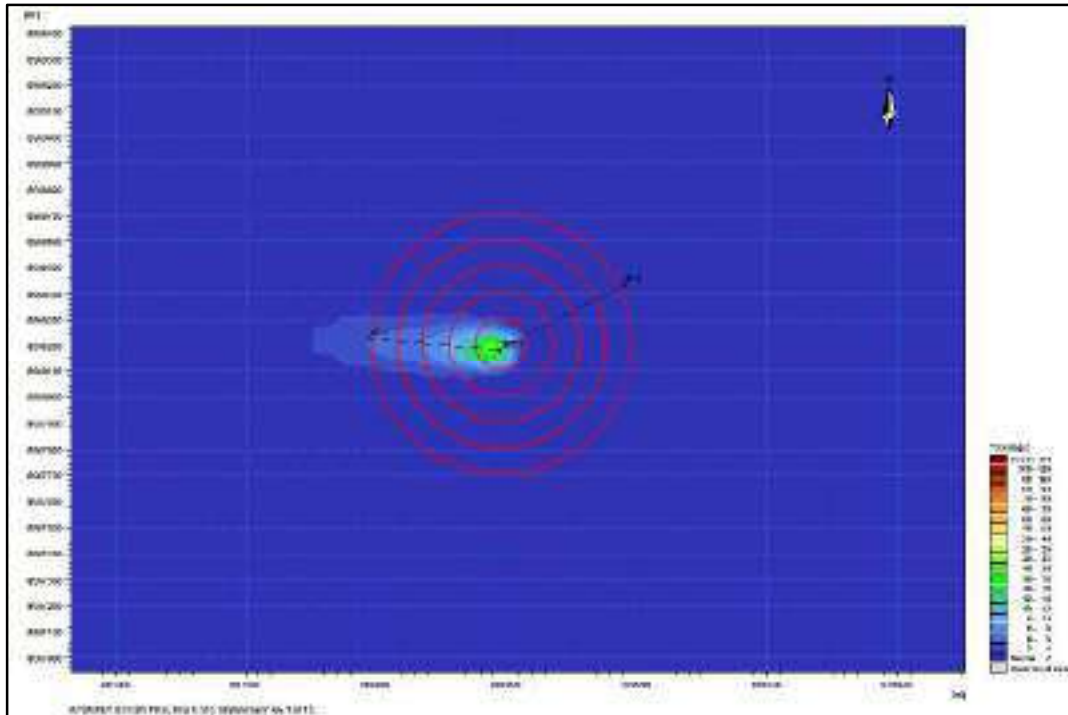


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

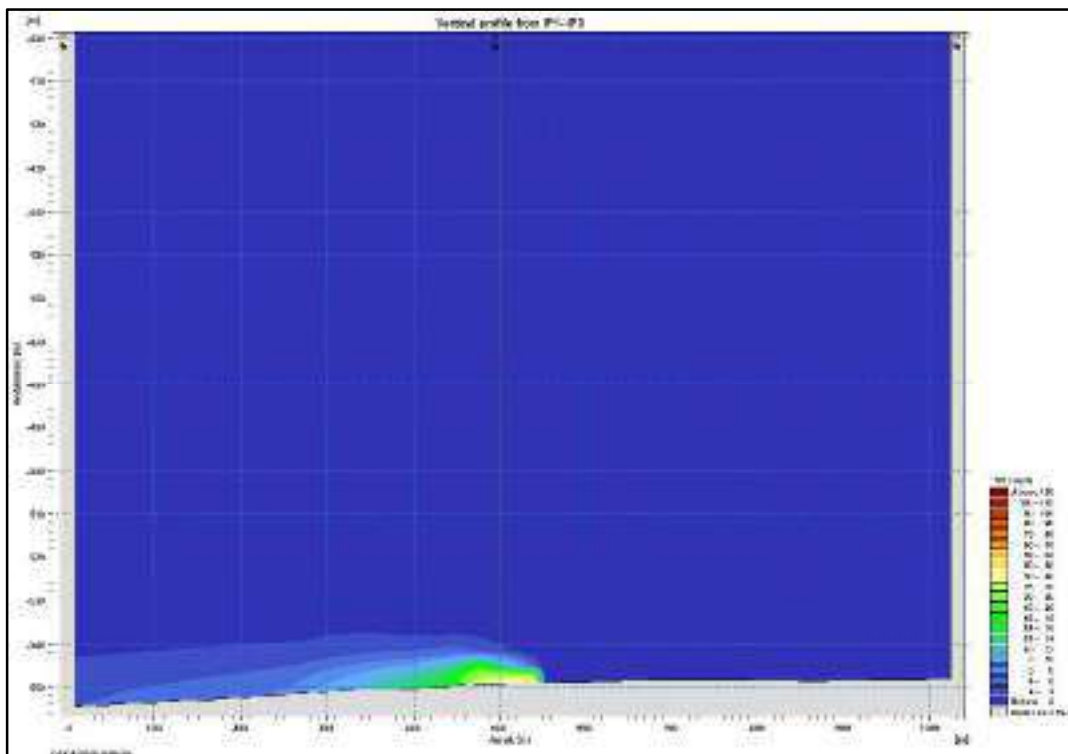
LAMPIRAN B

Lampiran B Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping gabungan lumpur bor dan serbuk bor (section-1 dan section-2) serta hanya akibat dumping lumpur bor (section-3 dan section-5) di sumur DC-2

Lampiran B-1. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-2 saat Musim Barat

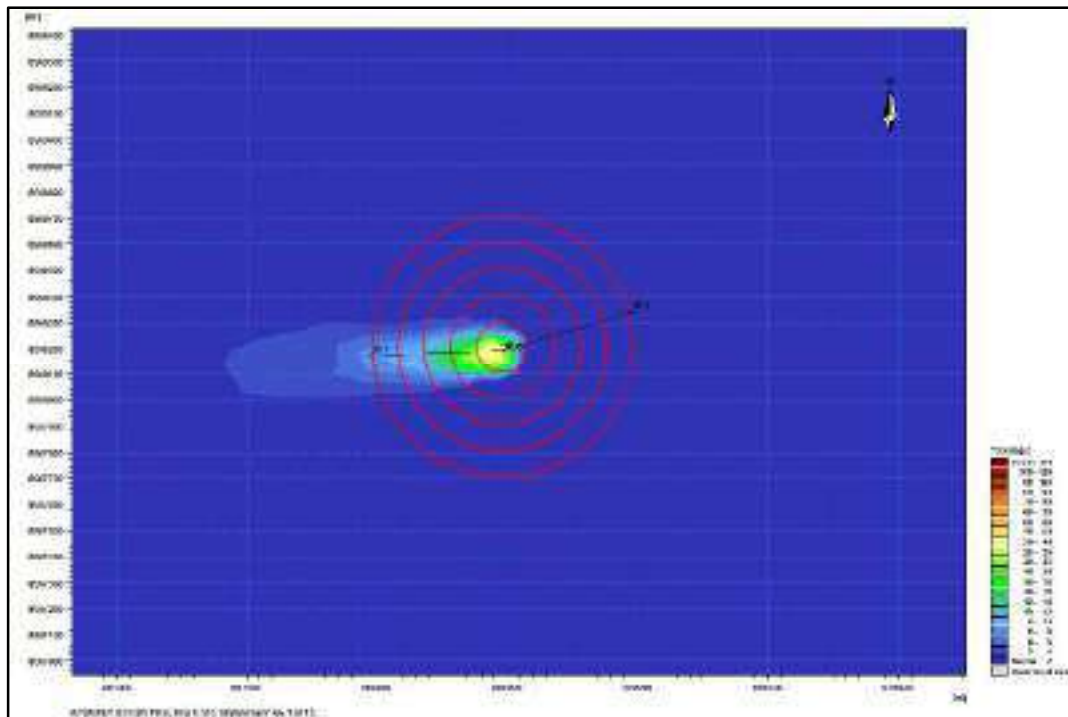


(Section 1) Sebaran horizontal

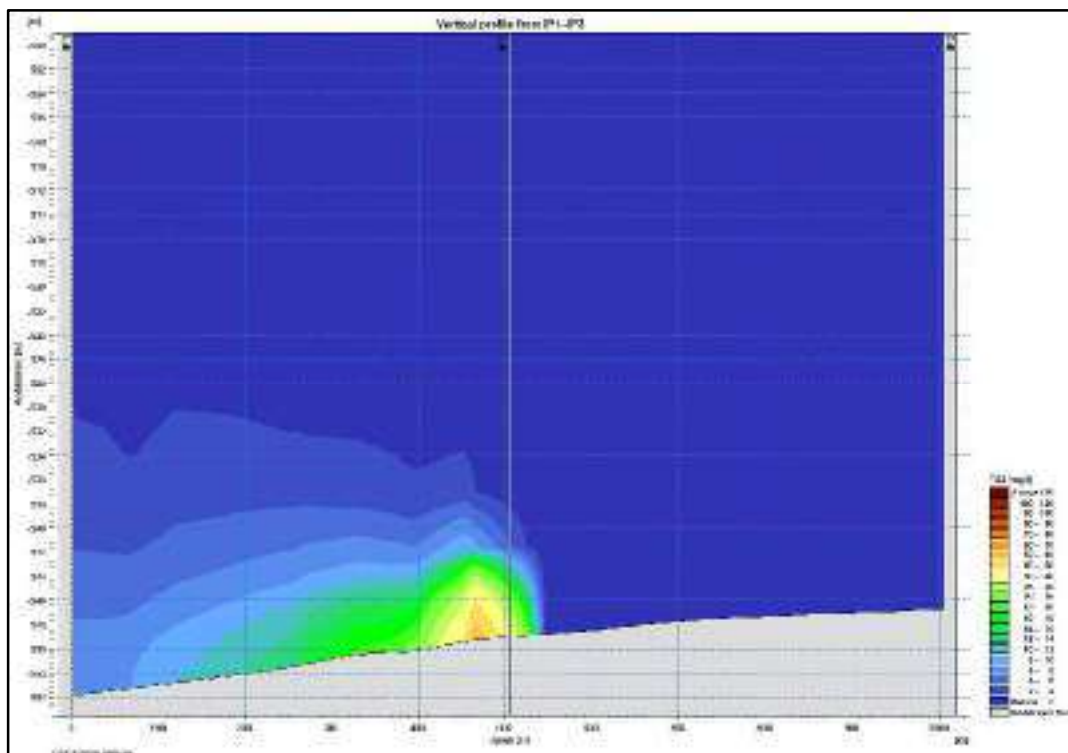


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-1. Lanjutan

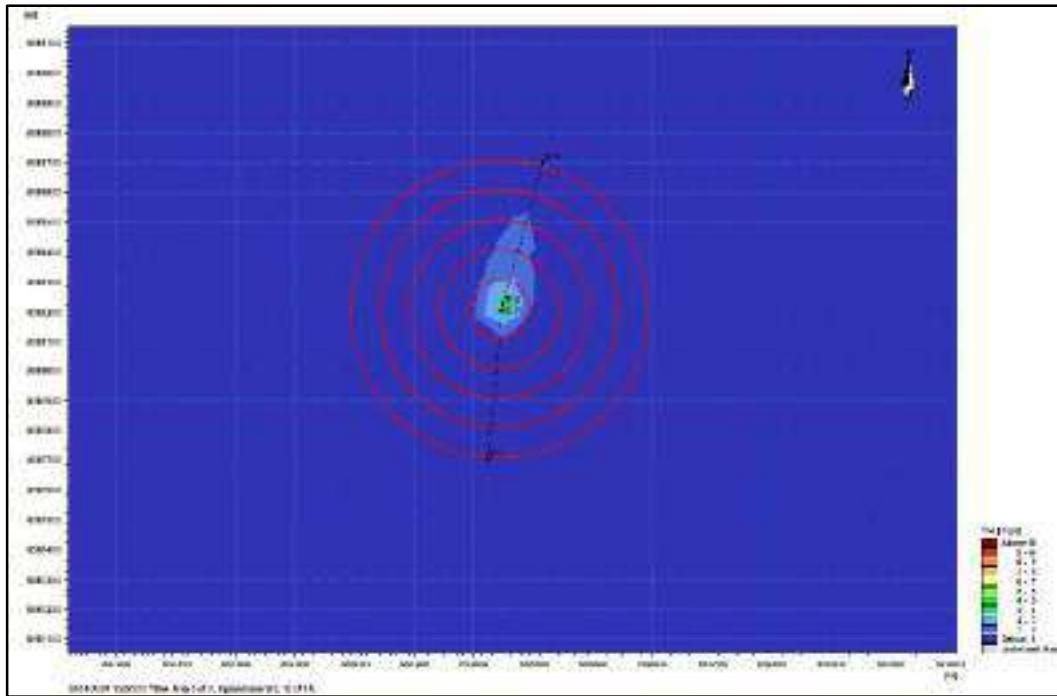


(Section 2) Sebaran horizontal

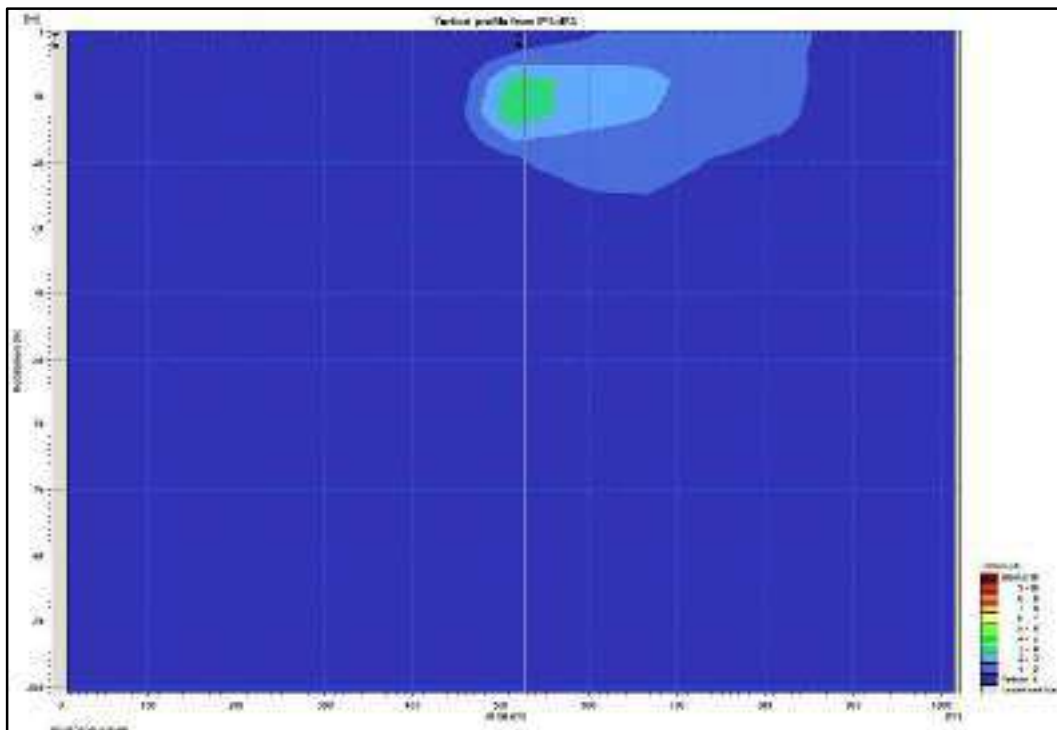


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-1. Lanjutan

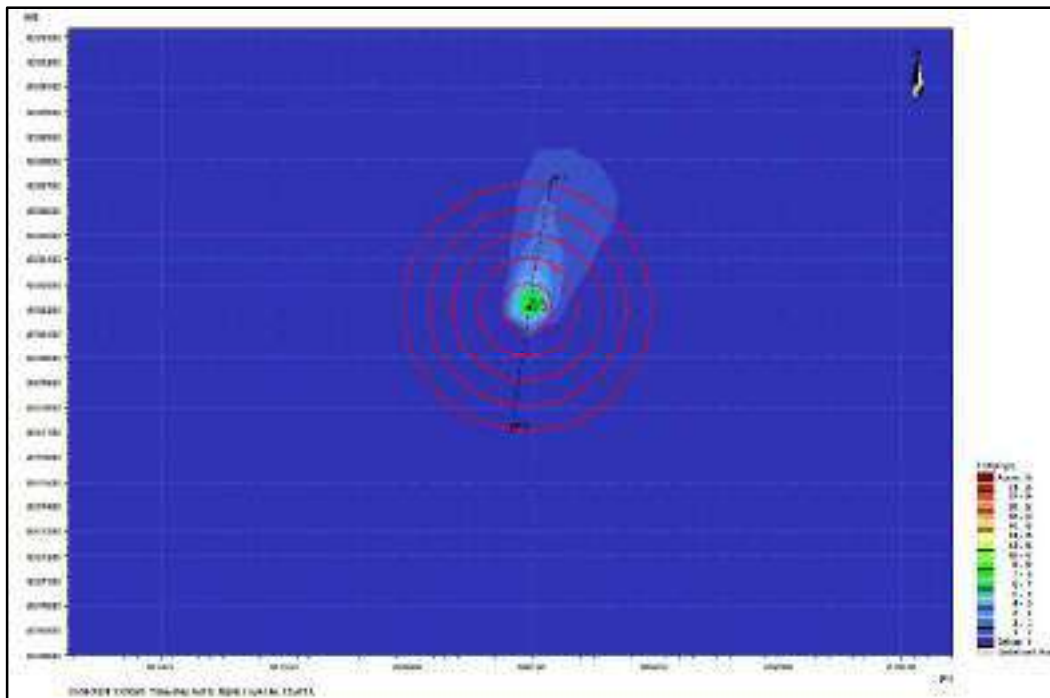


(Section 3) Sebaran horizontal

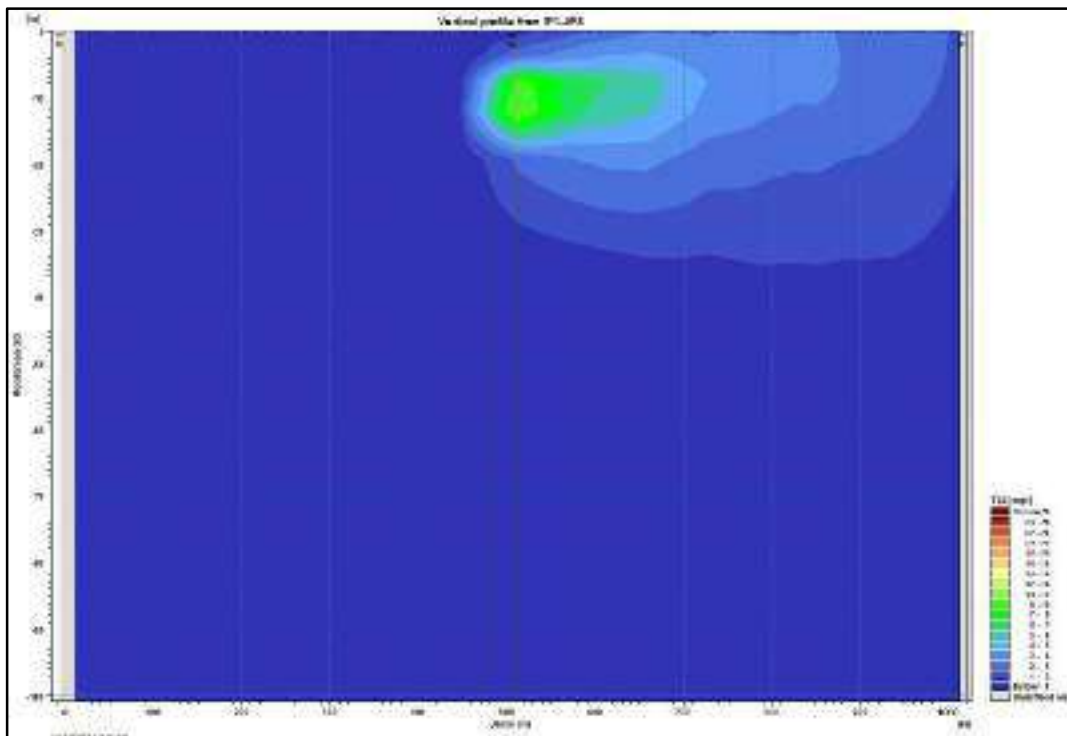


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-1. Lanjutan

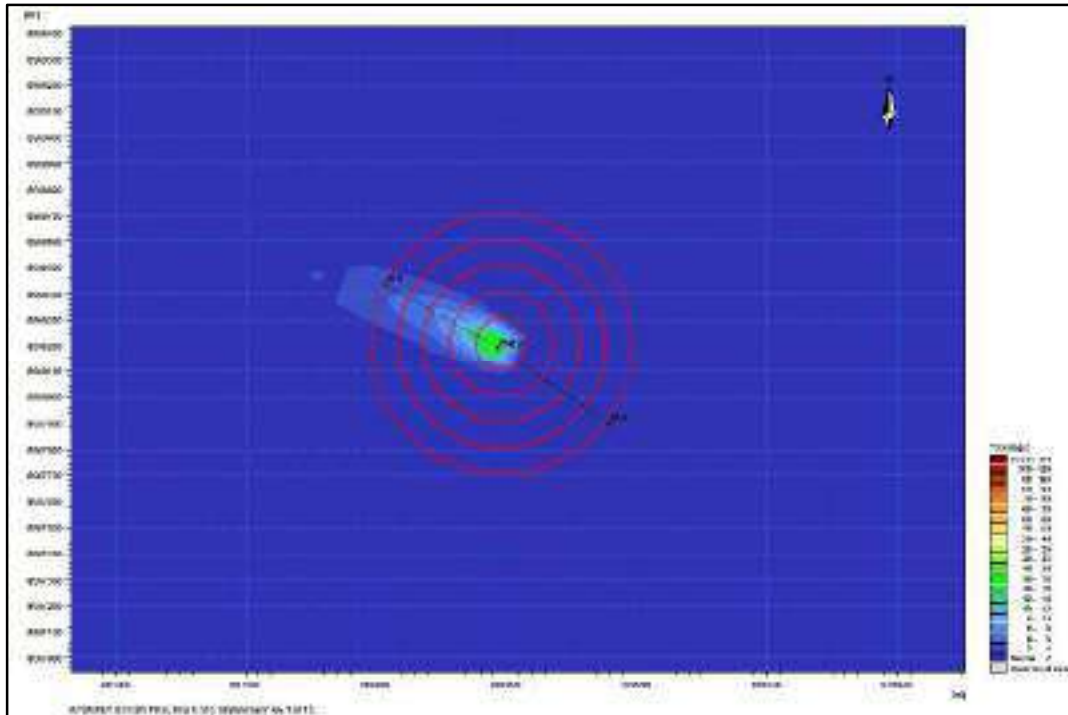


(Section 5) Sebaran horizontal

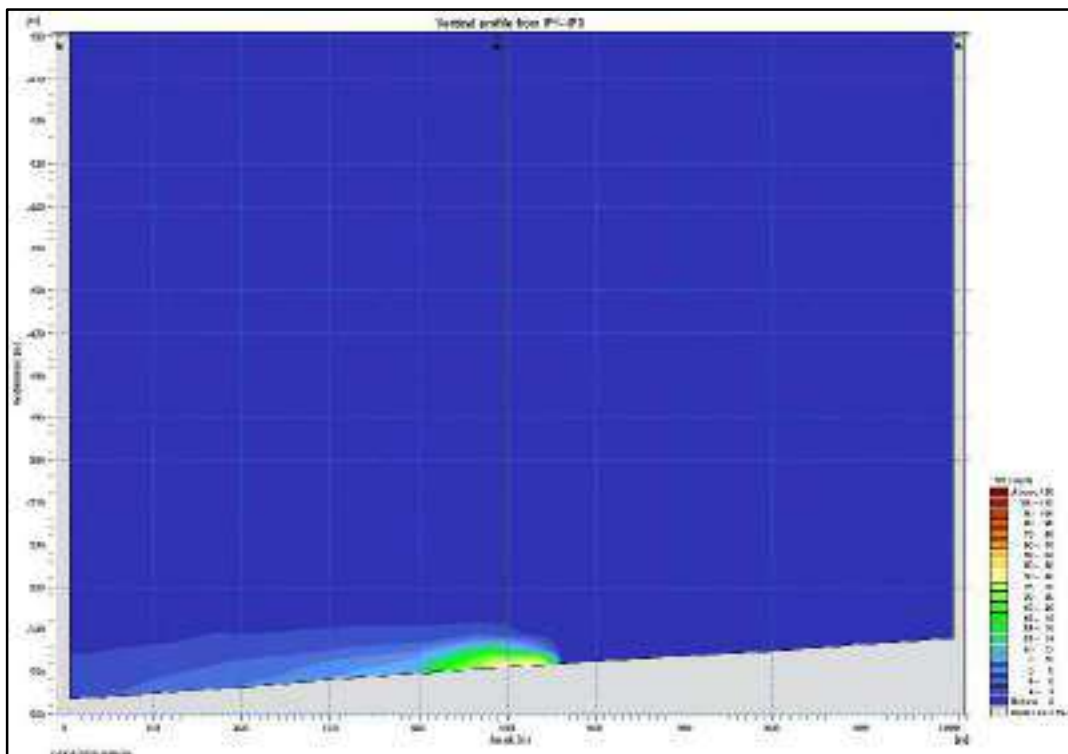


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-2. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-2 saat Musim Peralihan I

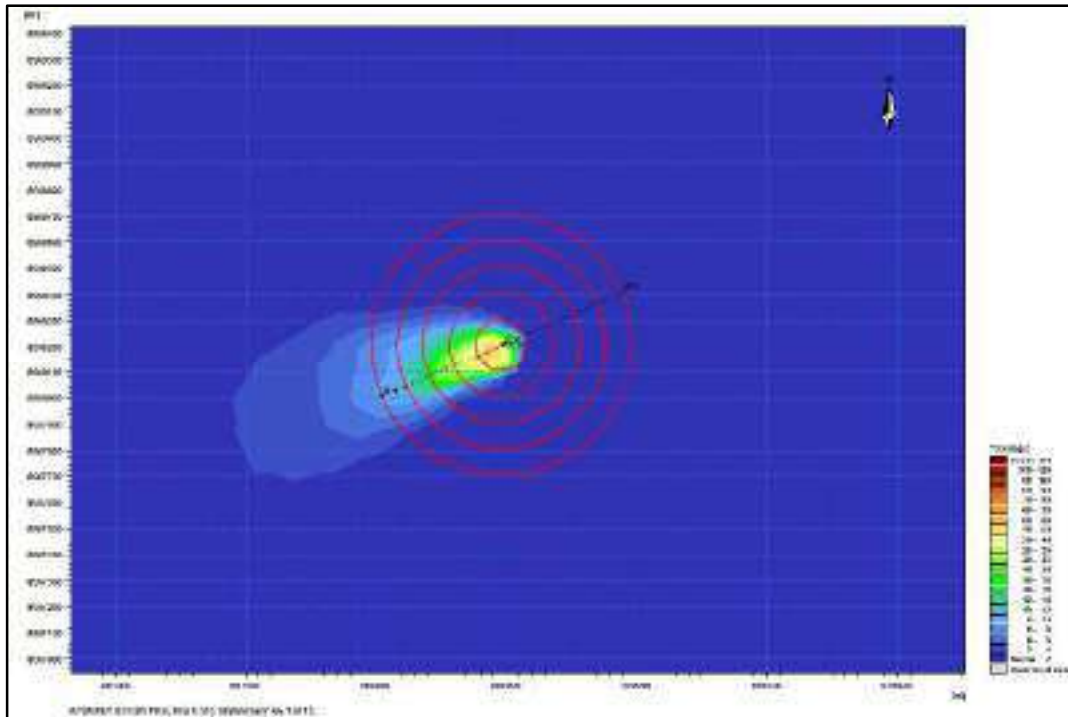


(Section 1) Sebaran horizontal

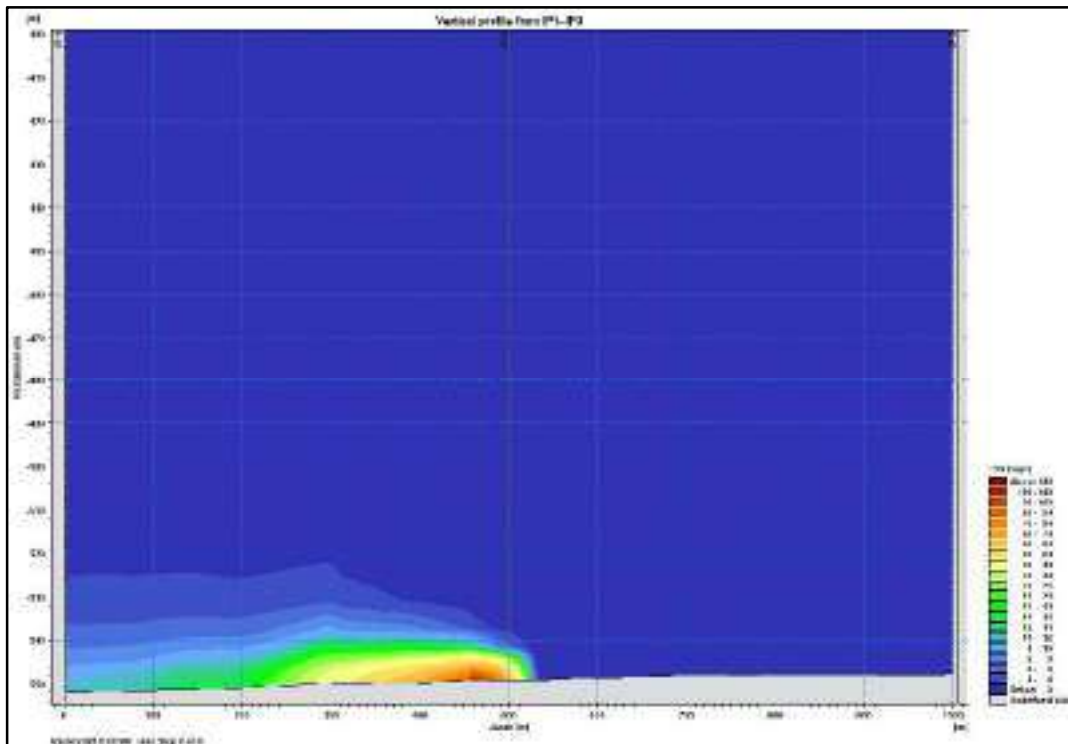


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-2. Lanjutan

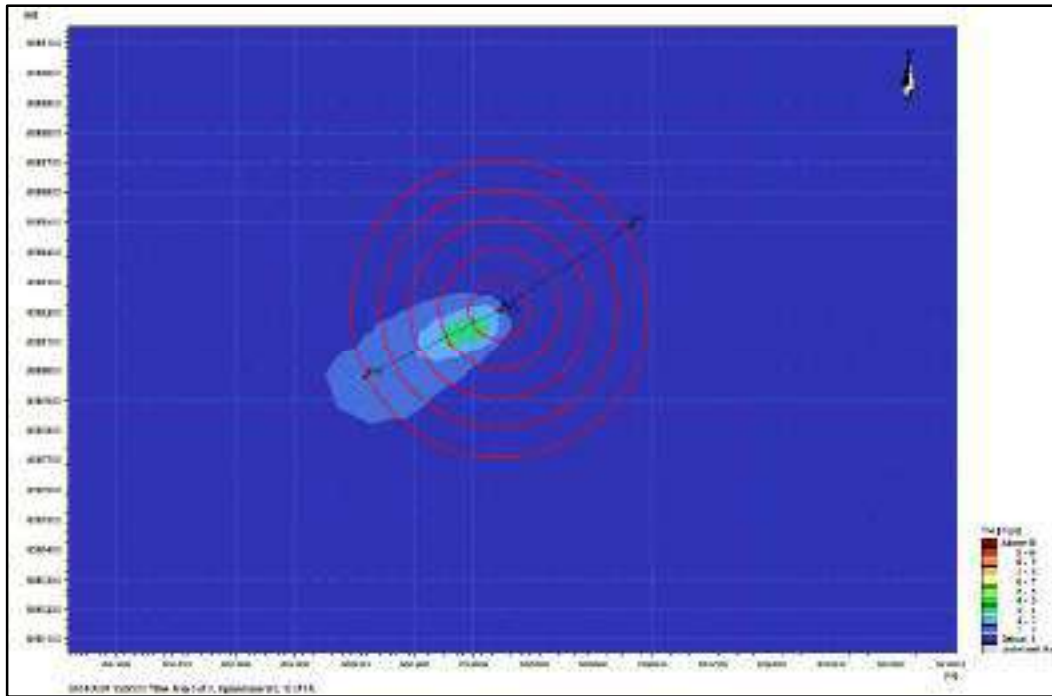


(Section 2) Sebaran horizontal

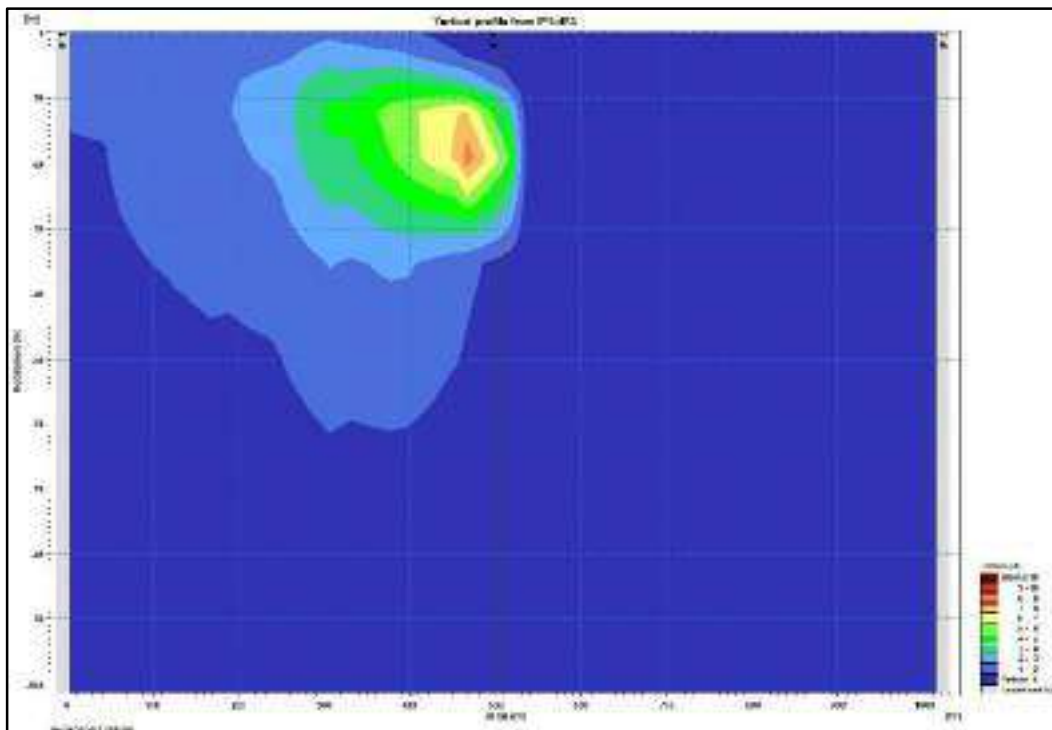


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-2. Lanjutan

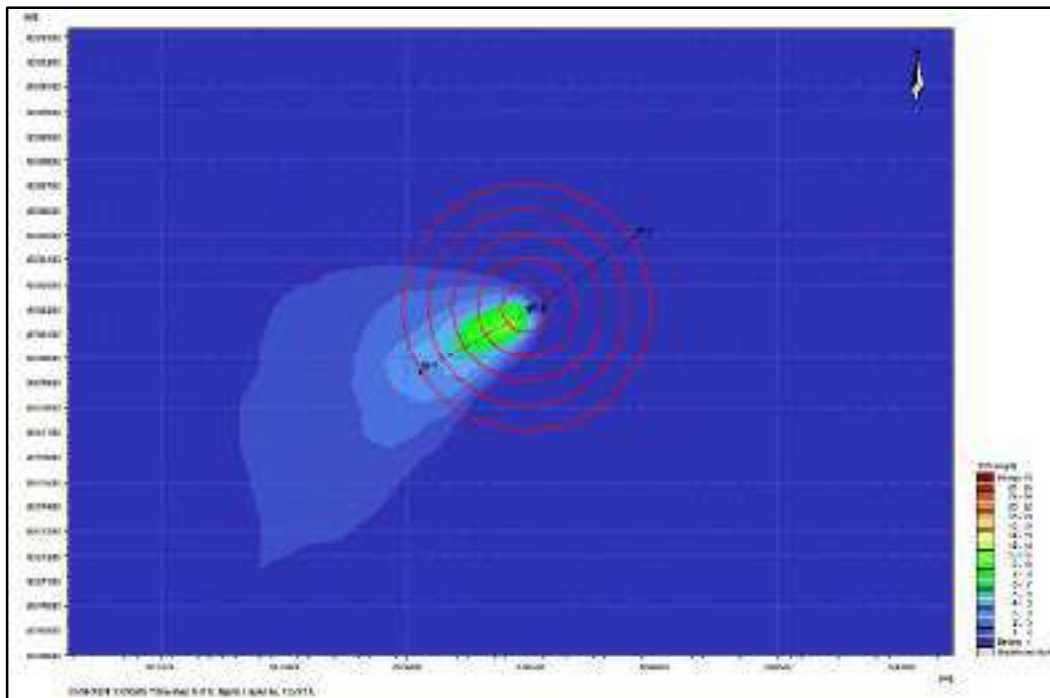


(Section 3) Sebaran horizontal

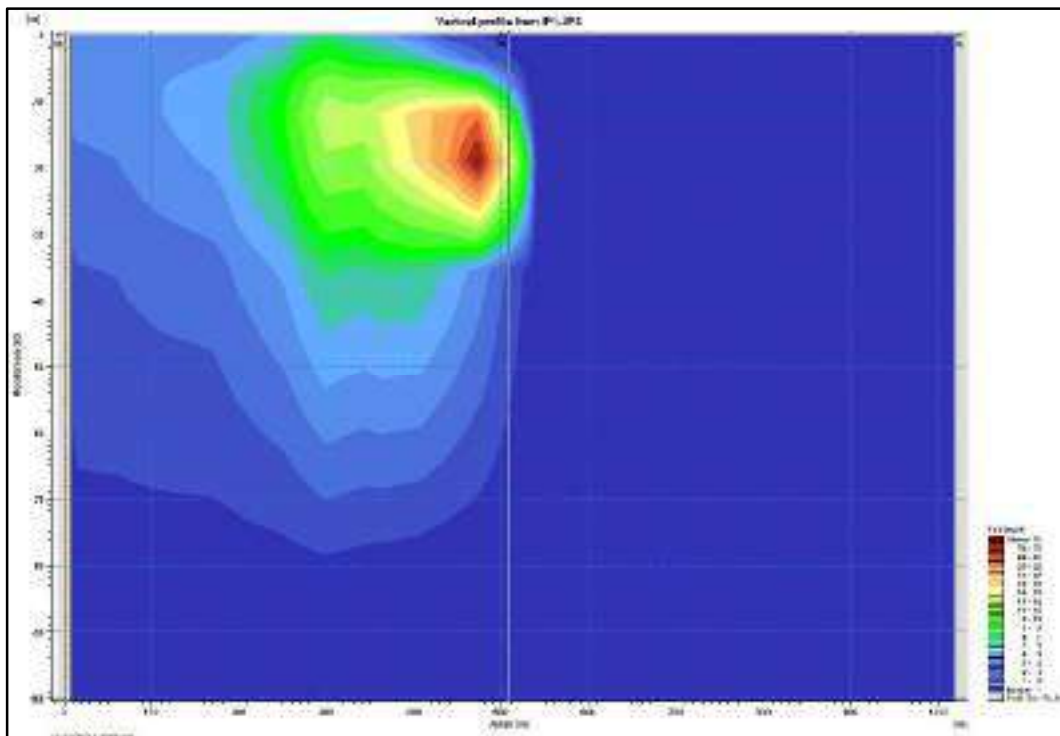


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-2. Lanjutan

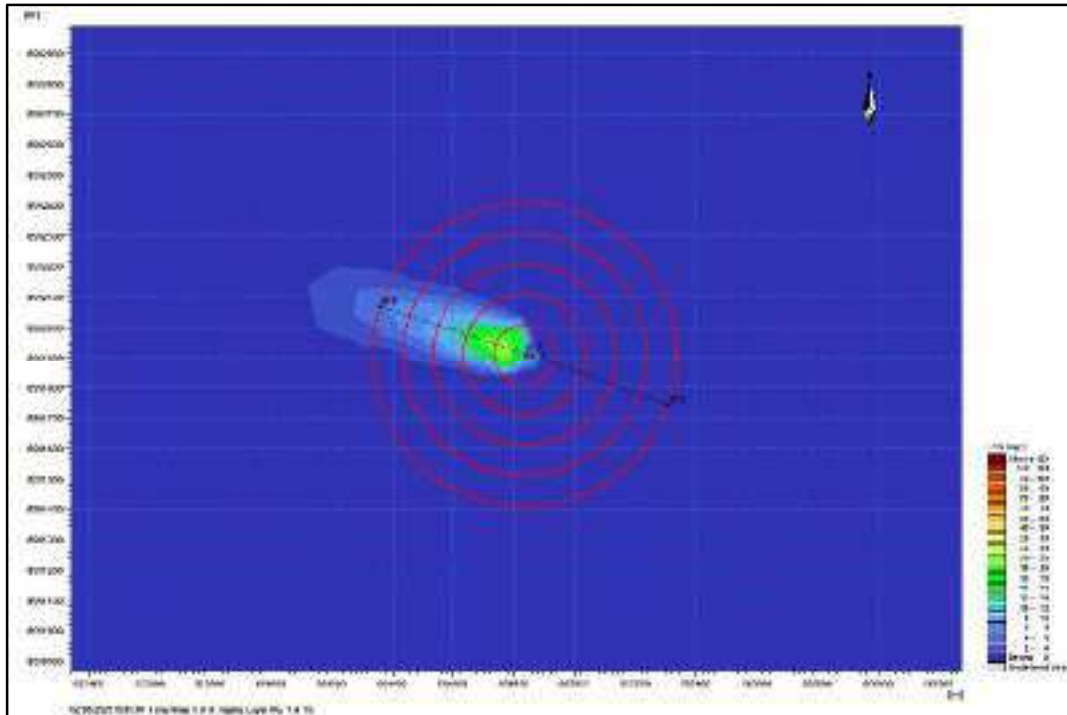


(Section 5) Sebaran horizontal

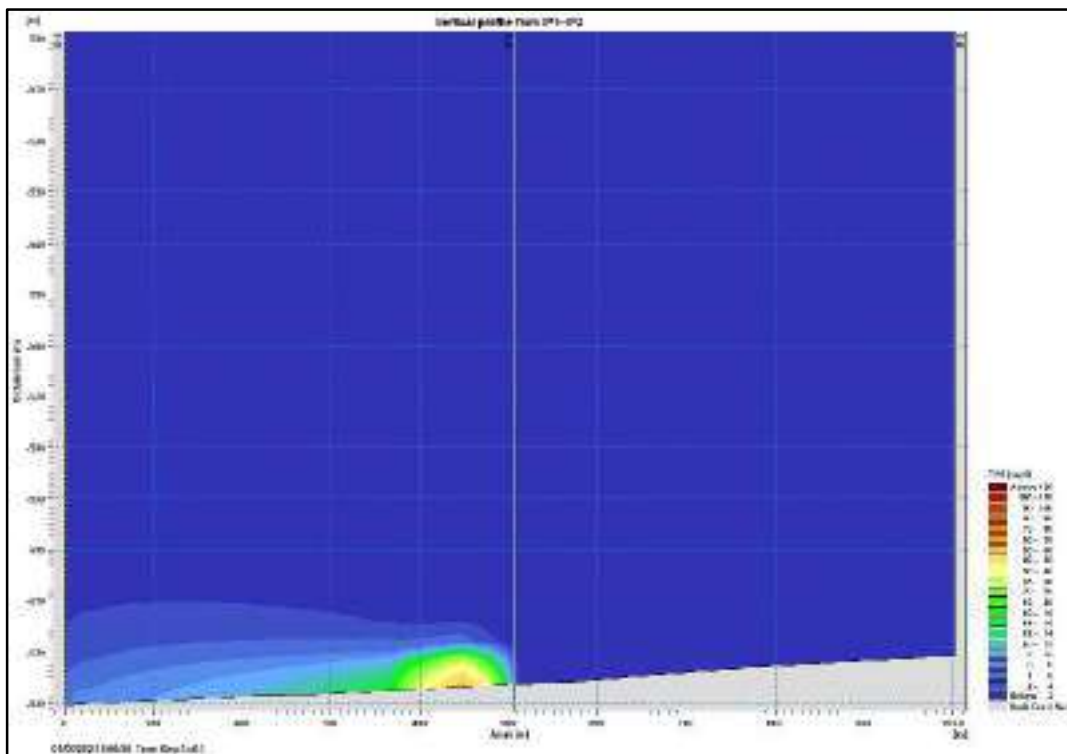


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-3. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-2 saat Musim Timur

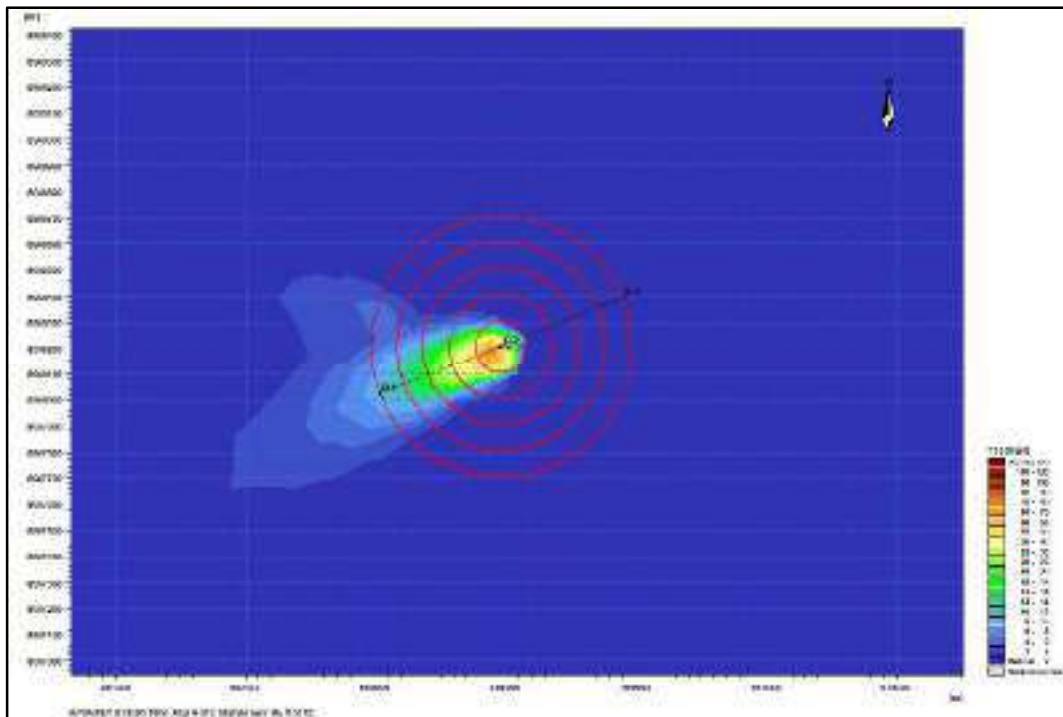


(Section 1) Sebaran horizontal

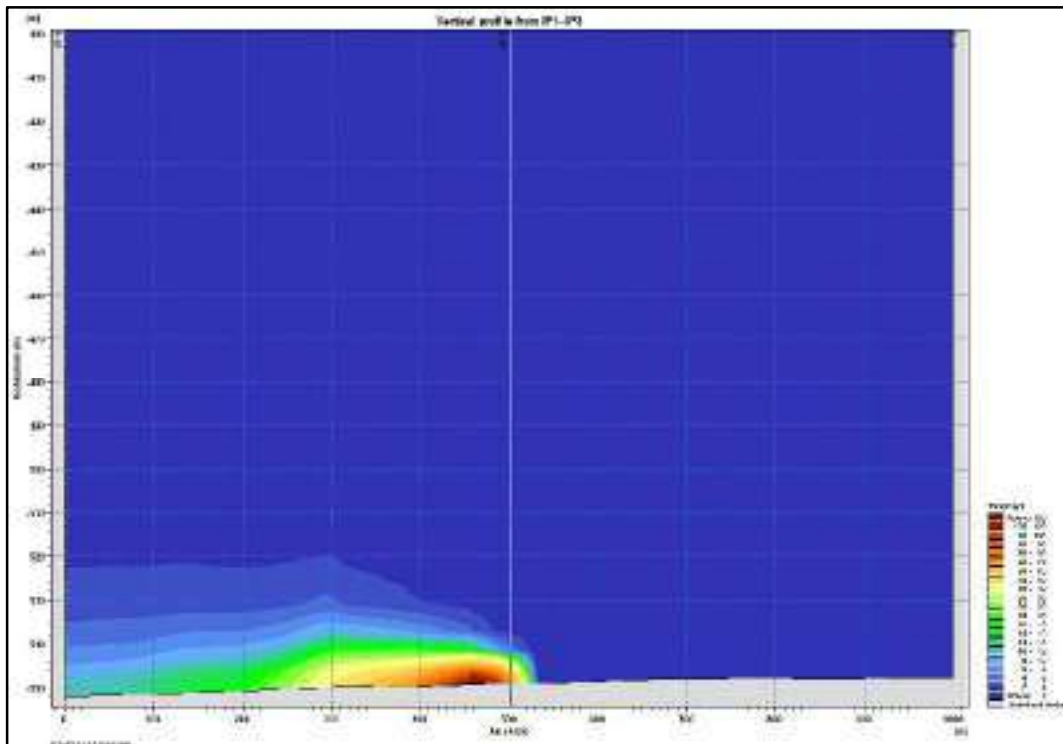


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-3. Lanjutan

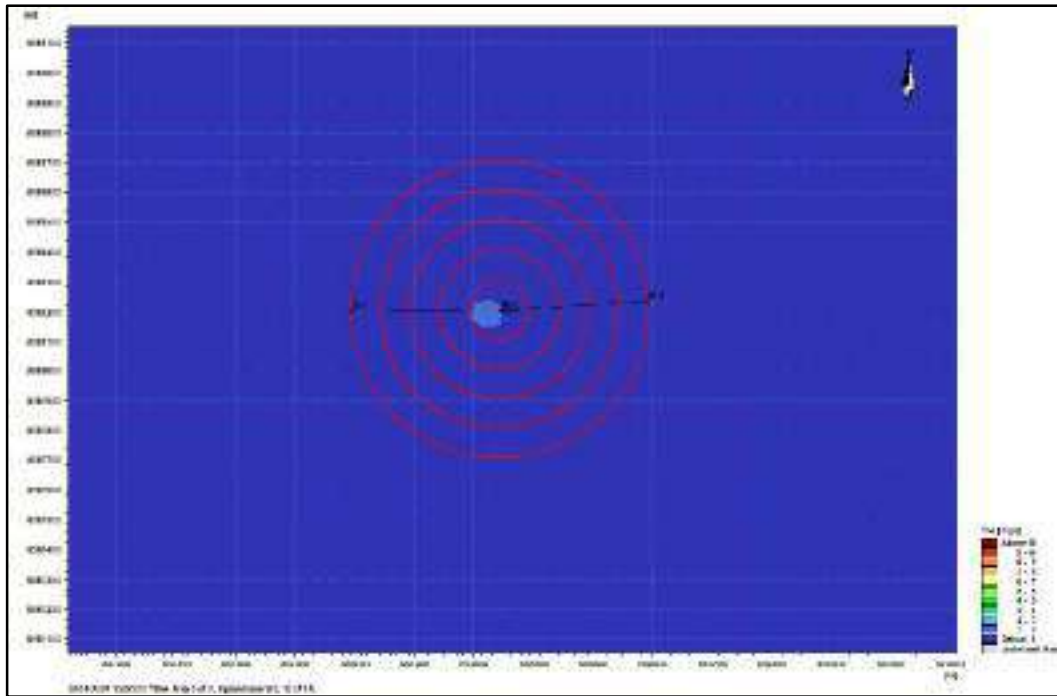


(Section 2) Sebaran horizontal

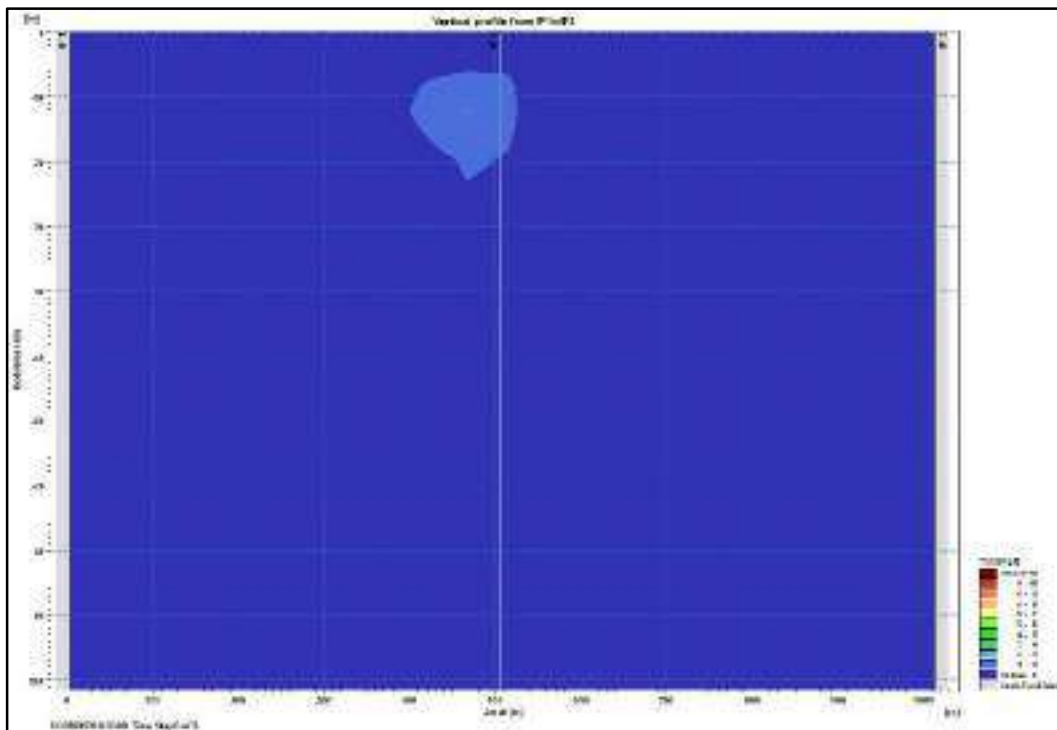


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-3. Lanjutan

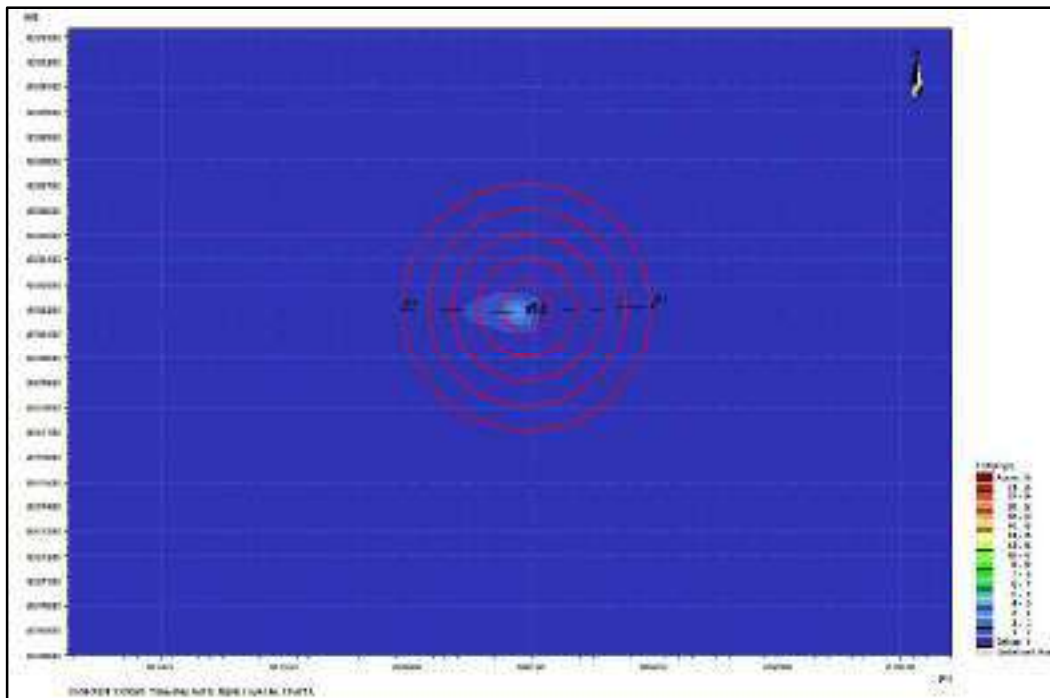


(Section 3) Sebaran horizontal

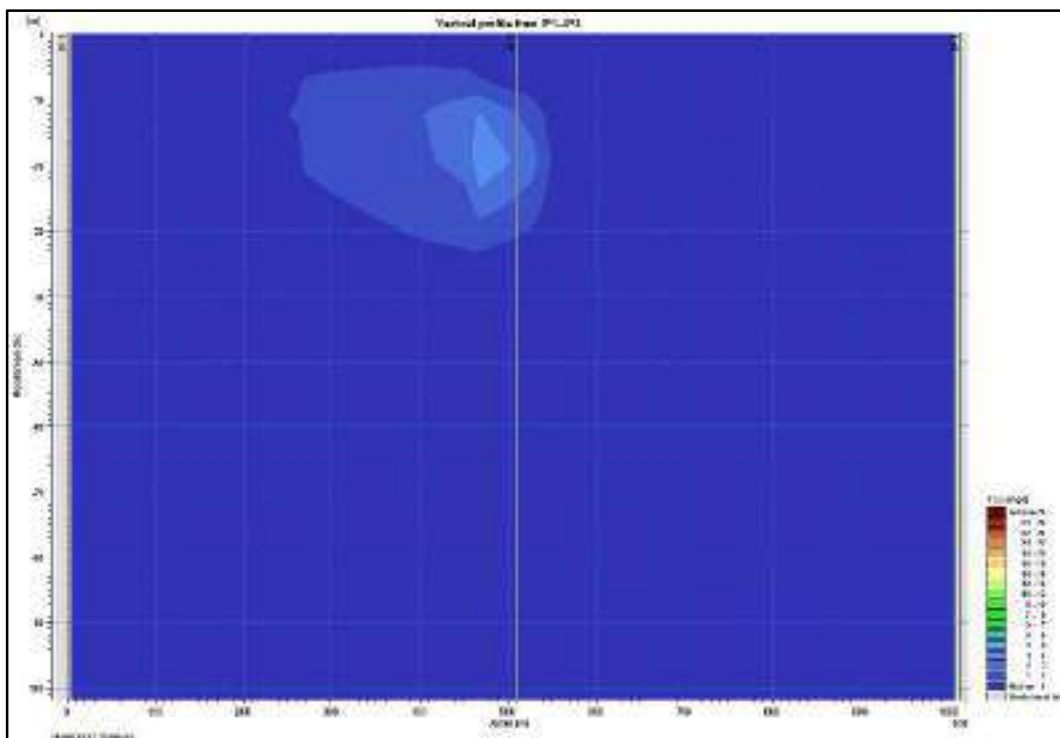


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-3. Lanjutan

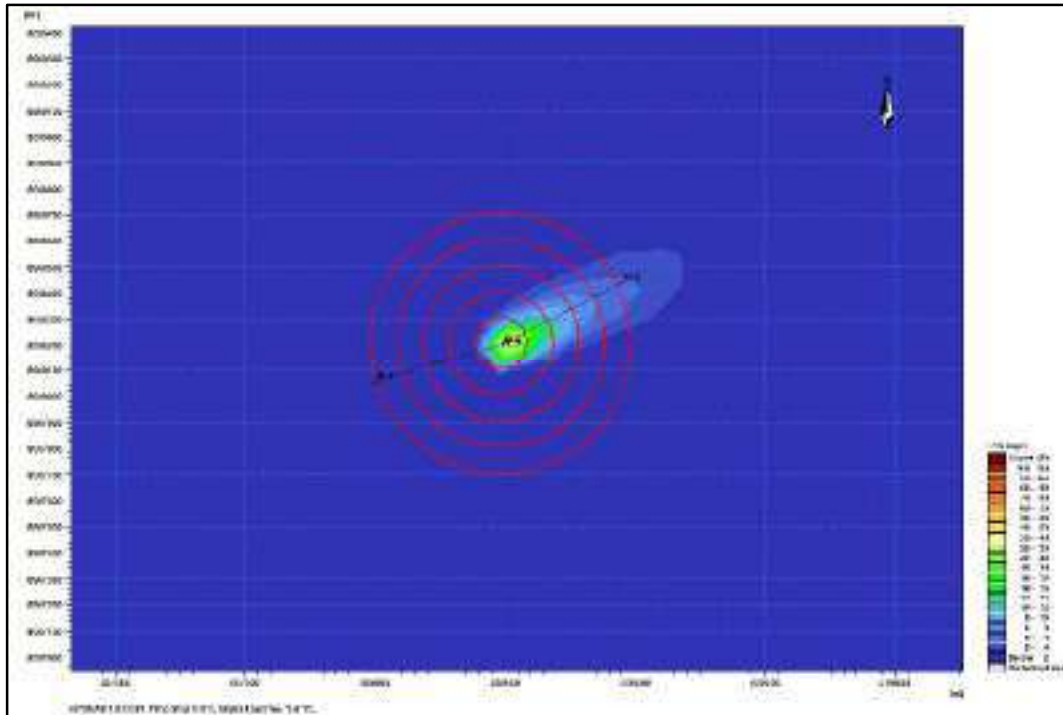


(Section 5) Sebaran horizontal

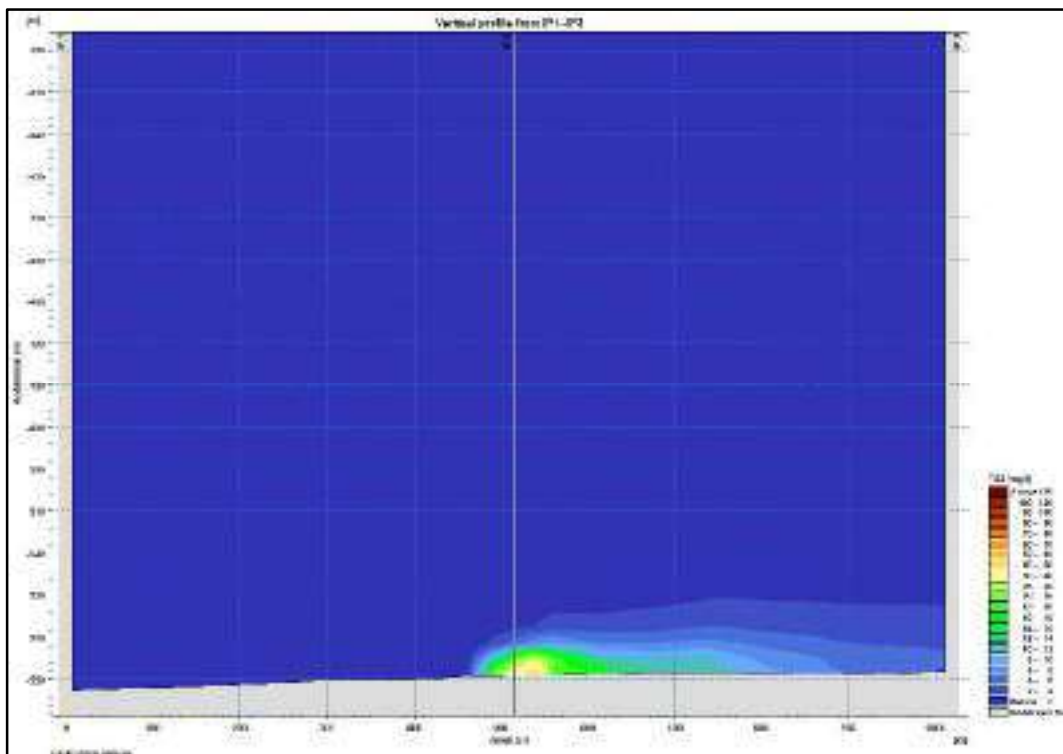


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-4. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-2 Musim Peralihan II

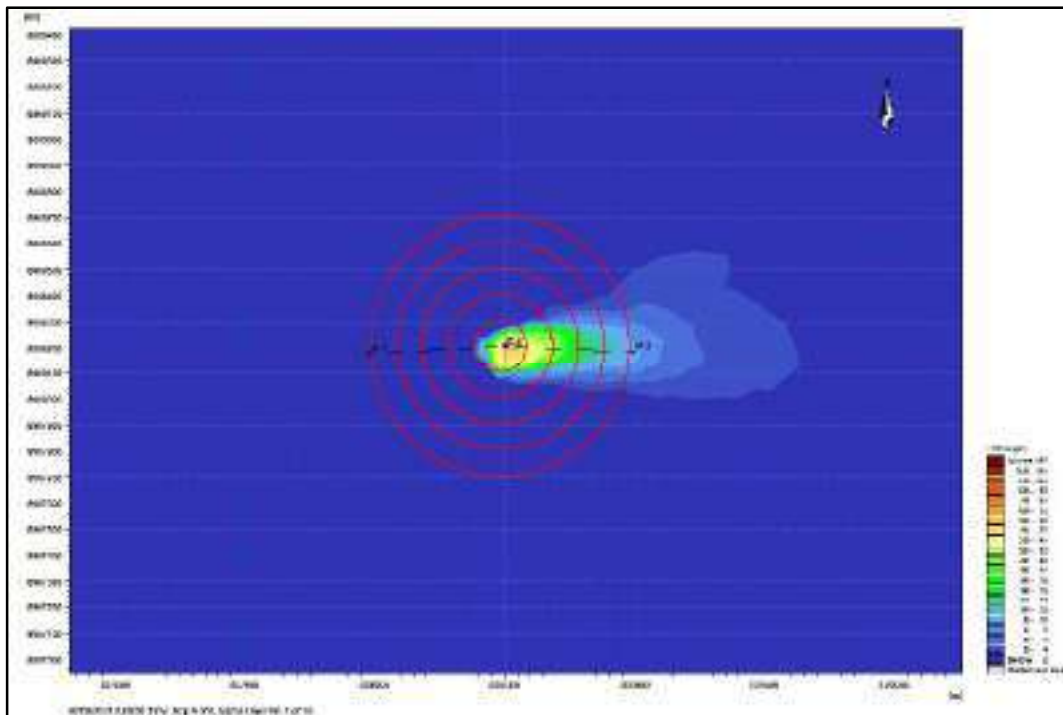


(Section 1) Sebaran horizontal

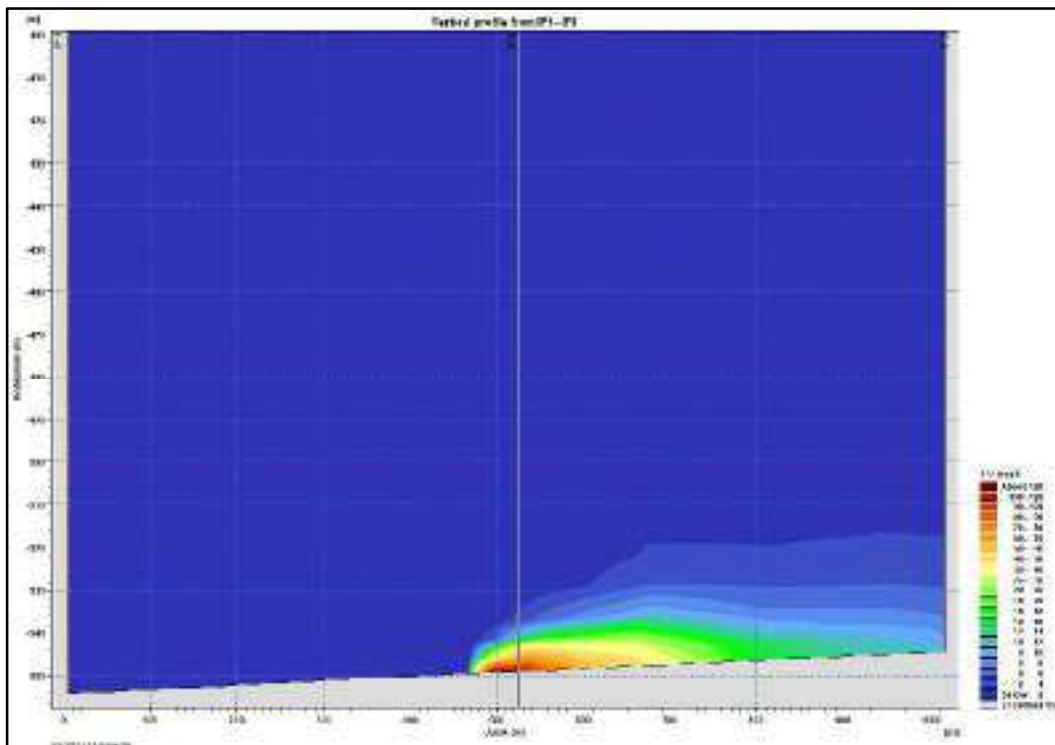


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-4. Lanjutan

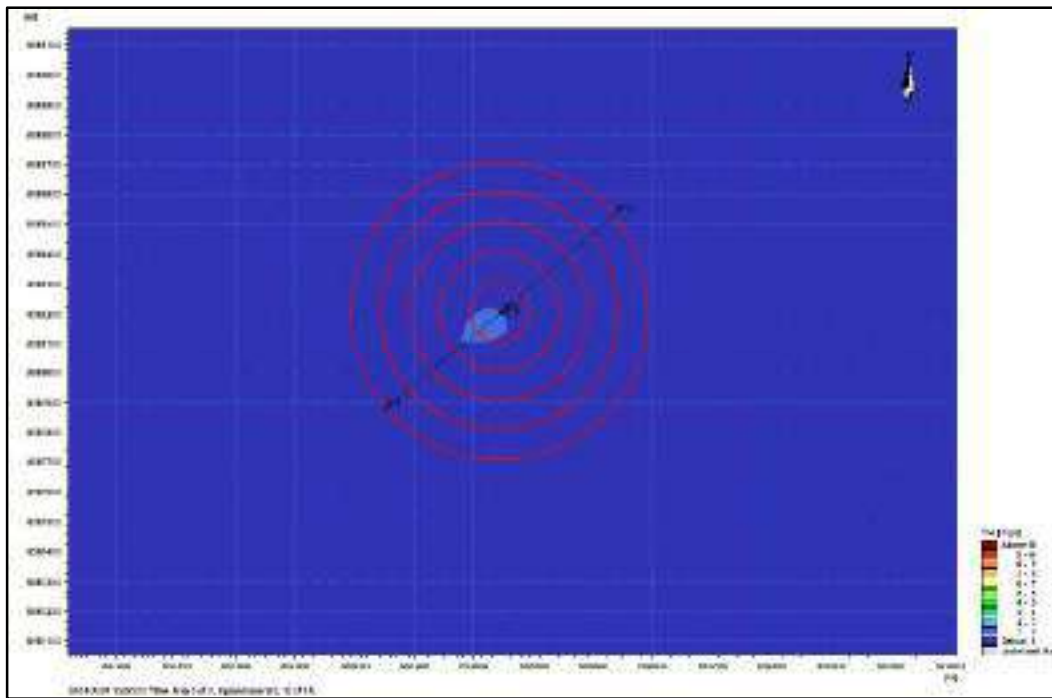


(Section 2) Sebaran horizontal

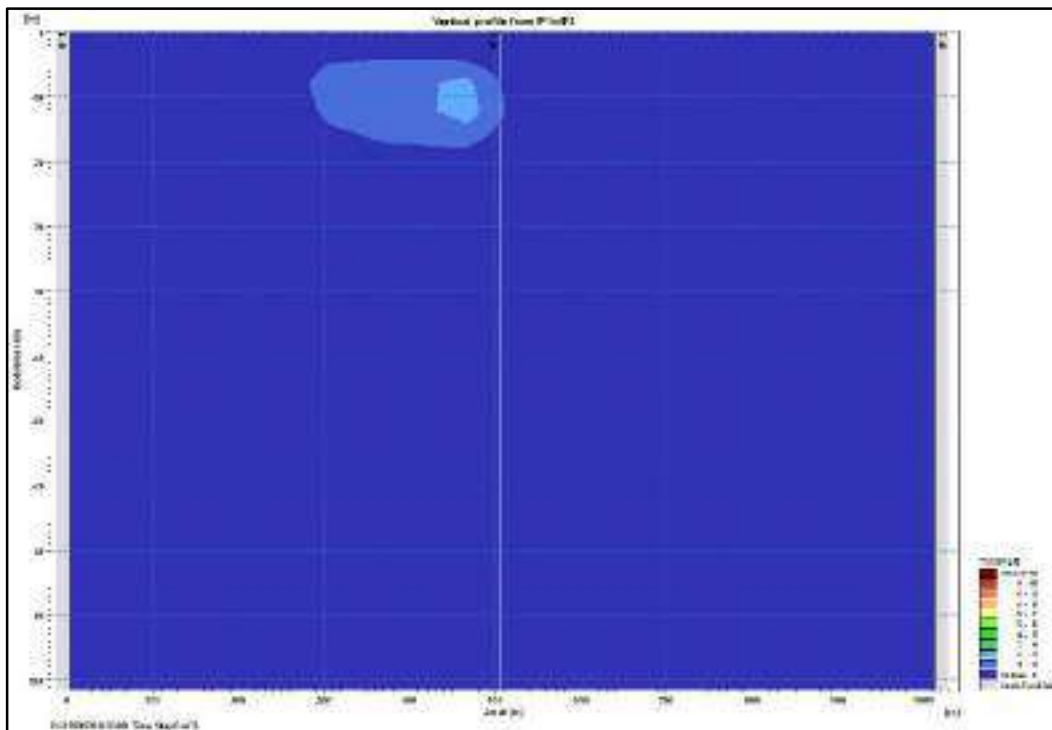


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-4. Lanjutan

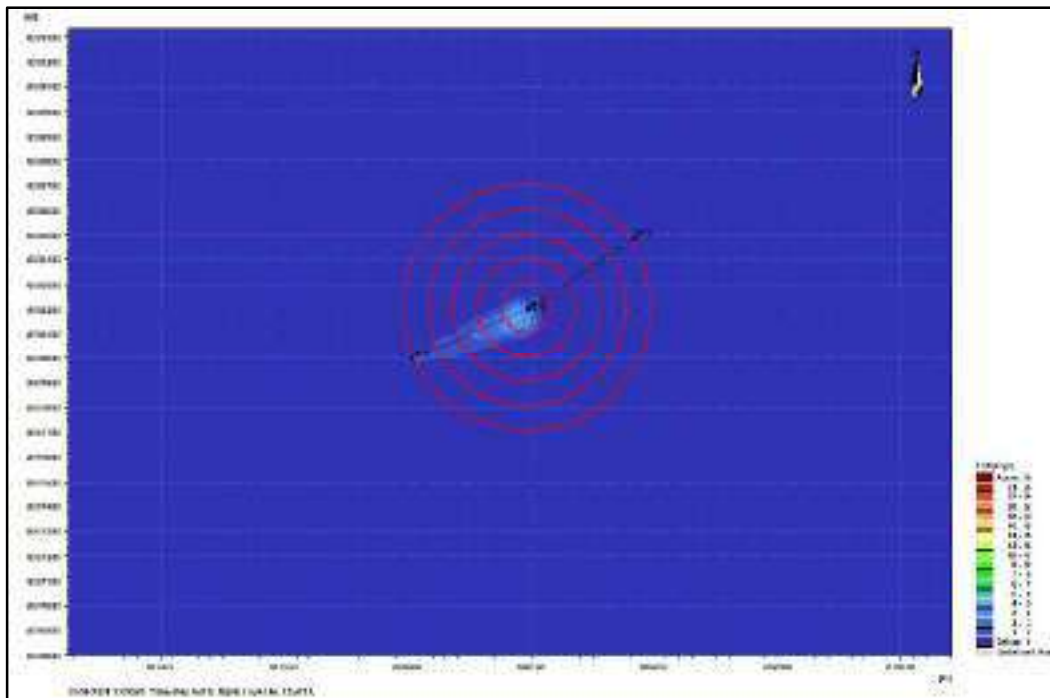


(Section 3) Sebaran horizontal

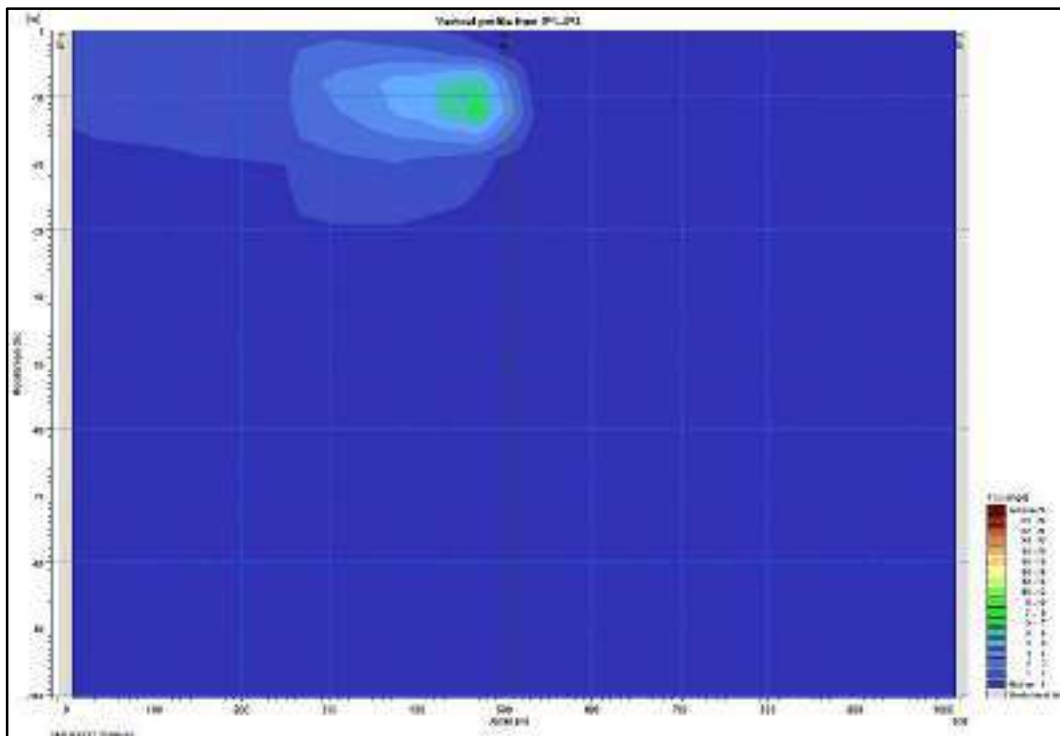


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran B-4. Lanjutan



(Section 5) Sebaran horizontal

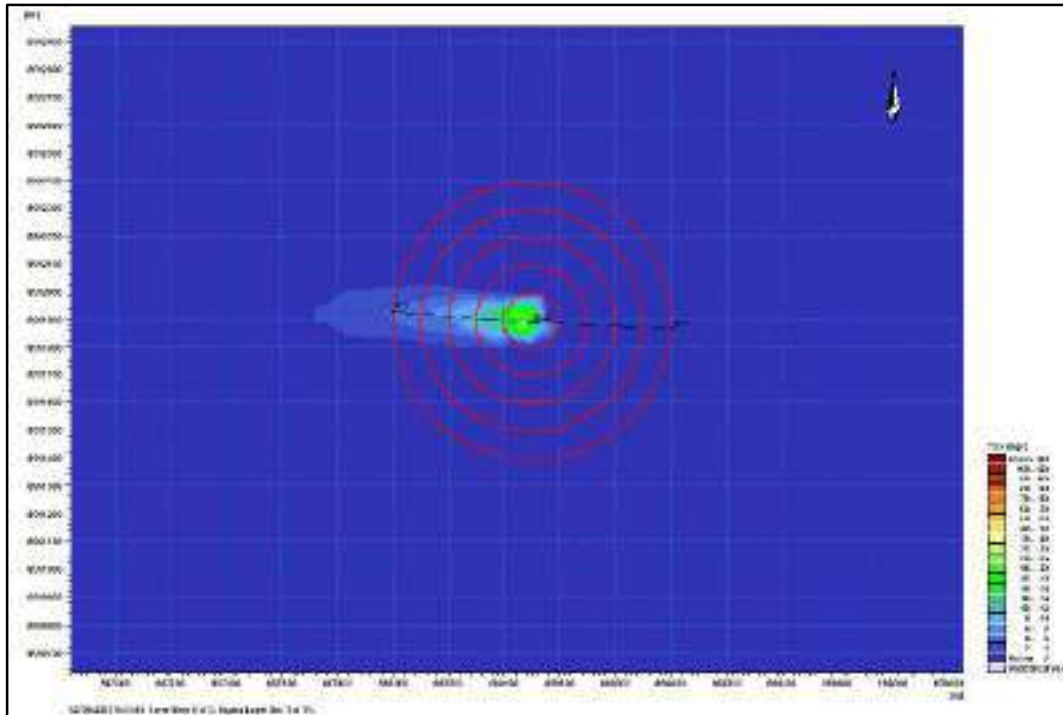


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

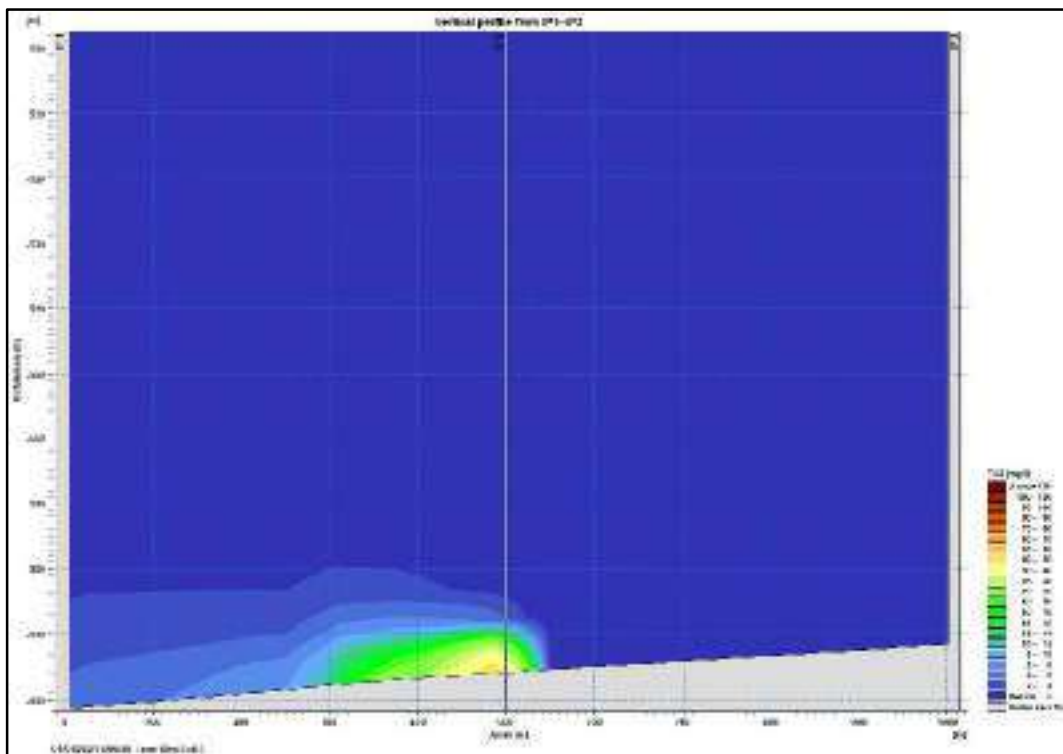
LAMPIRAN C

Lampiran C Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping gabungan lumpur bor dan serbuk bor (section-1 dan section-2) serta hanya akibat dumping lumpur bor (section-3 dan section-5) di sumur DC-3

Lampiran C-1. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-3 saat Musim Barat

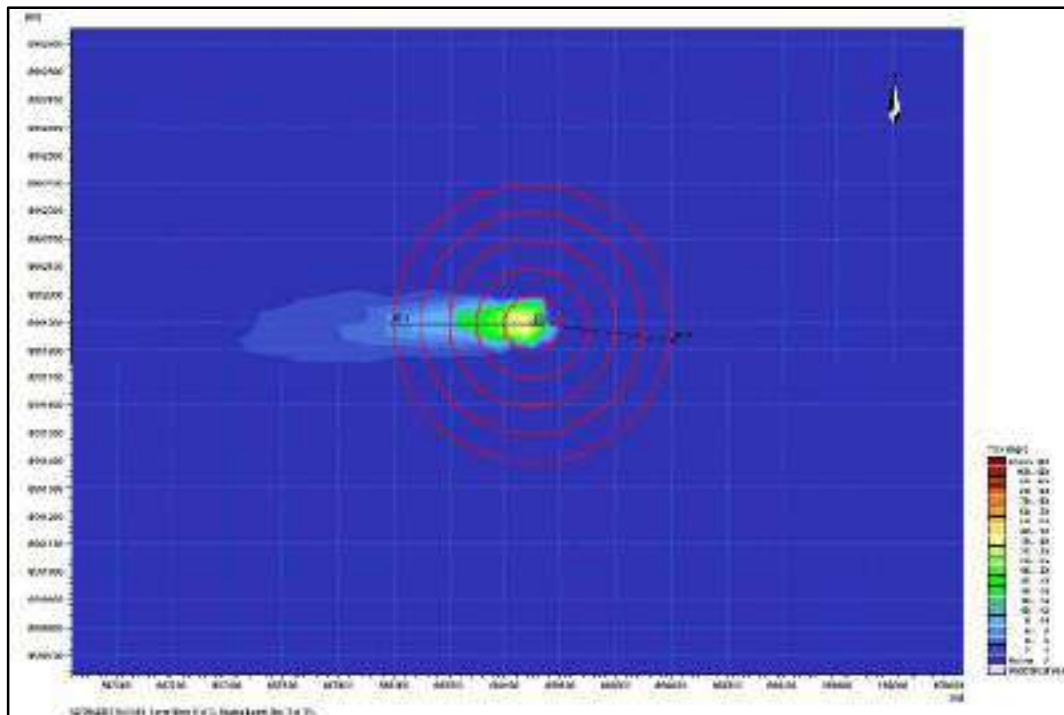


(Section 1) Sebaran horizontal

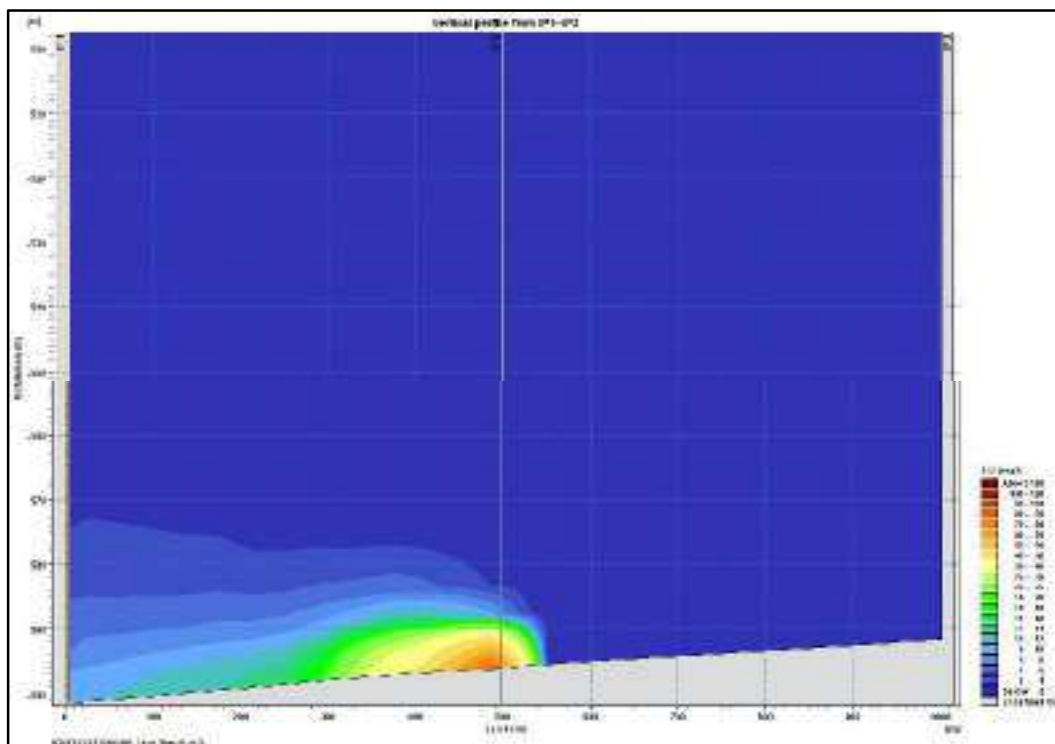


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-1. Lanjutan

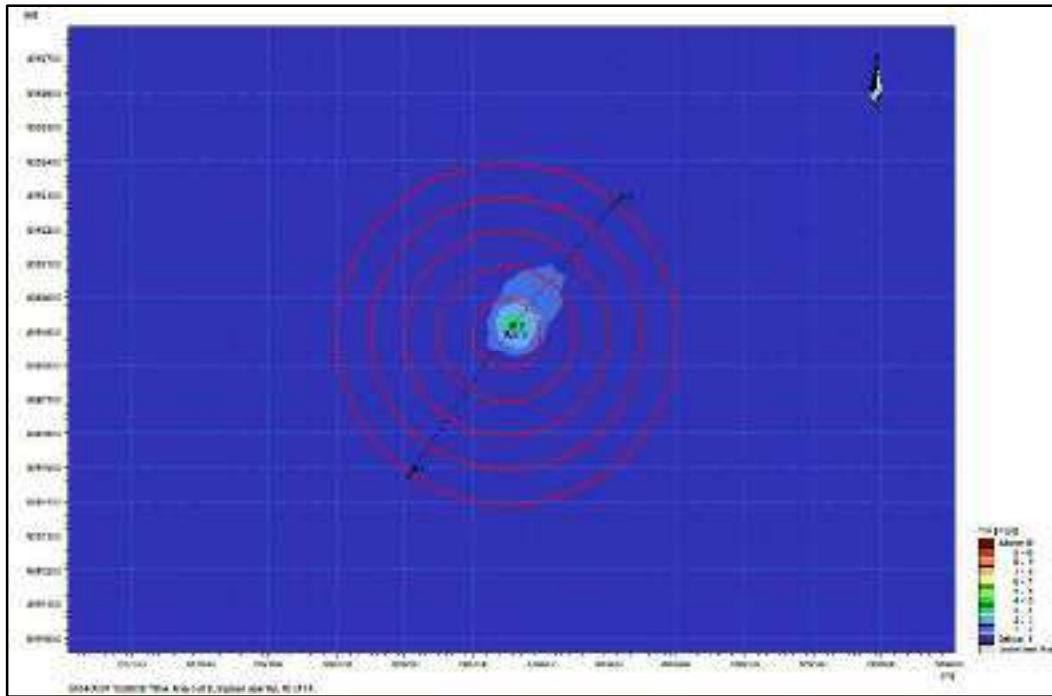


(Section 2) Sebaran horizontal

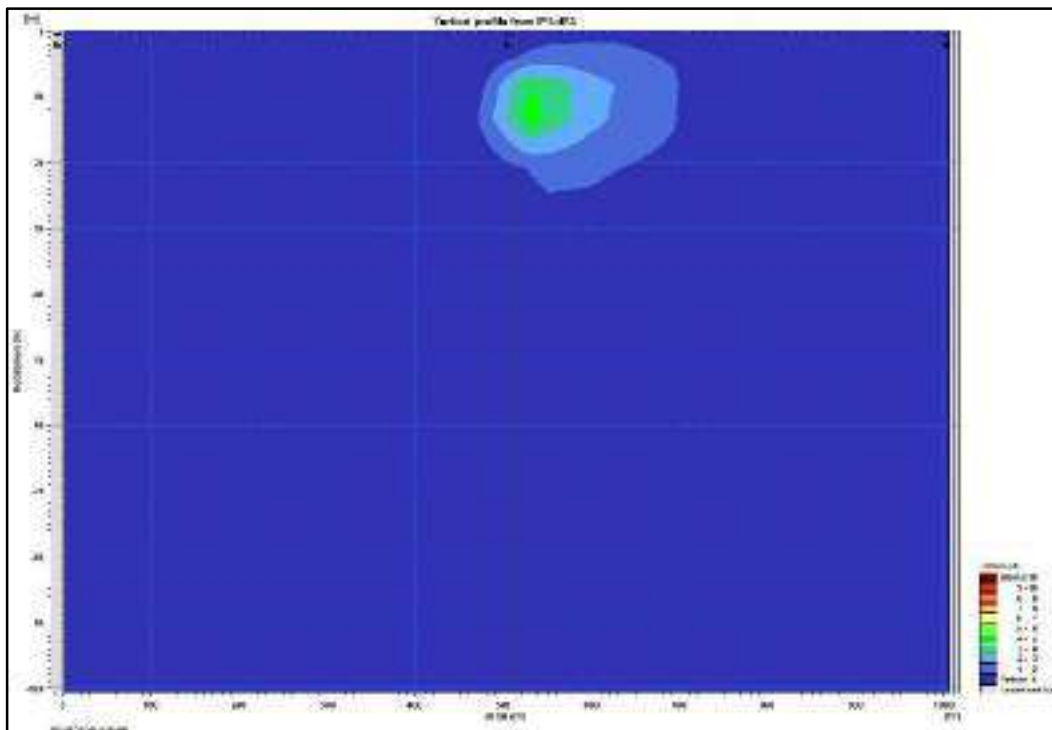


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-1. Lanjutan

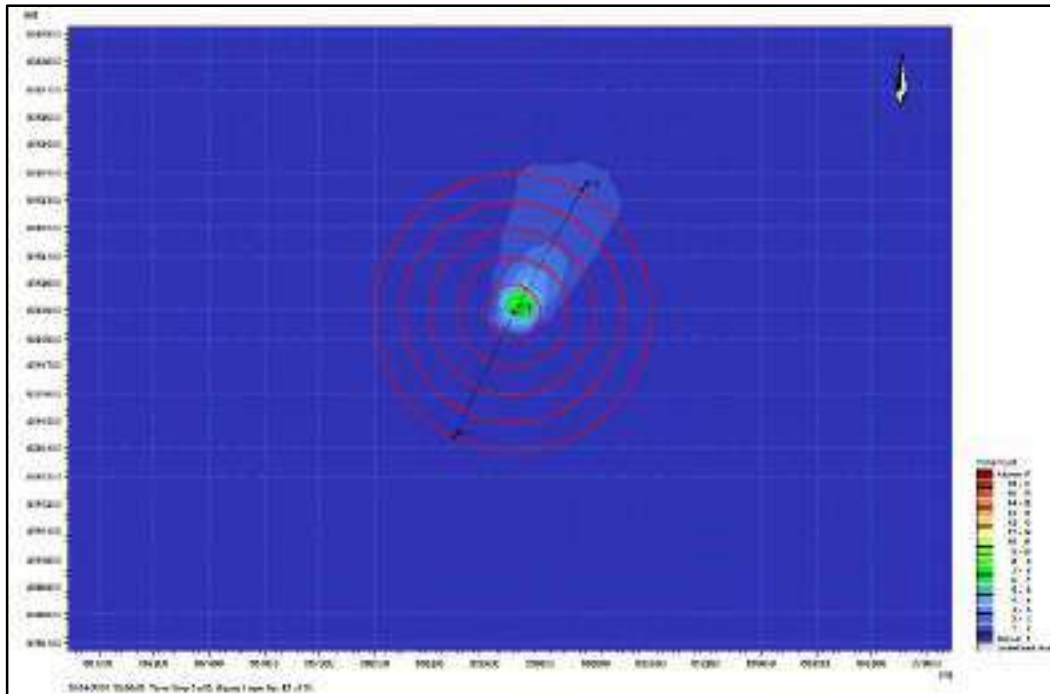


(Section 3) Sebaran horizontal

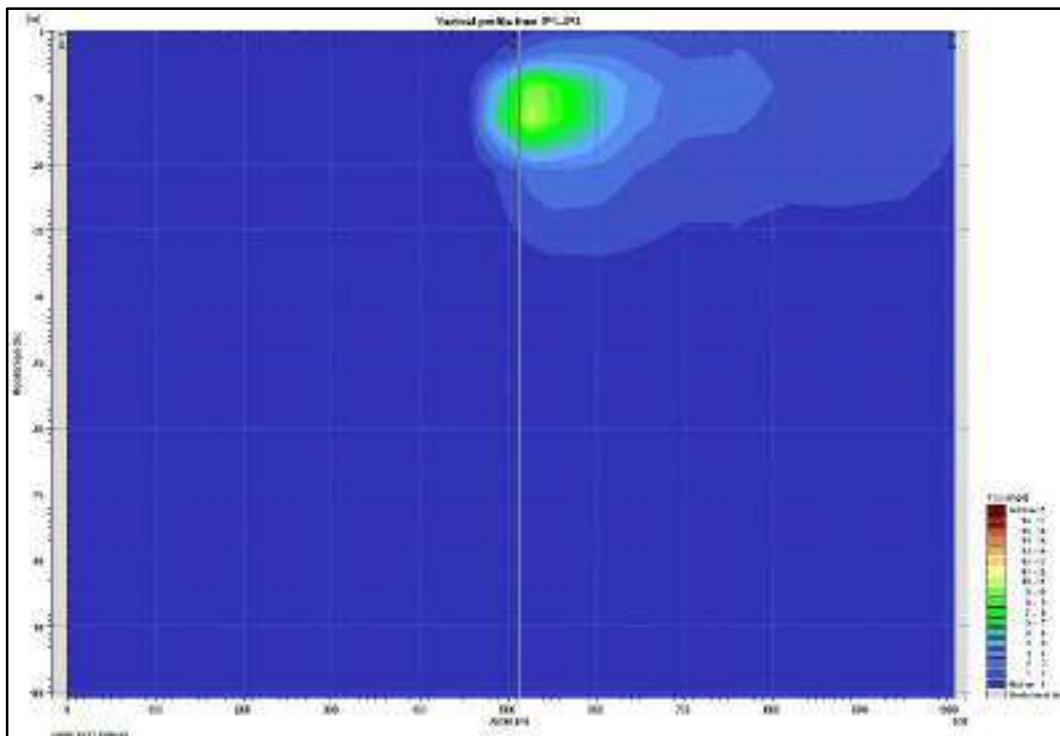


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-1. Lanjutan

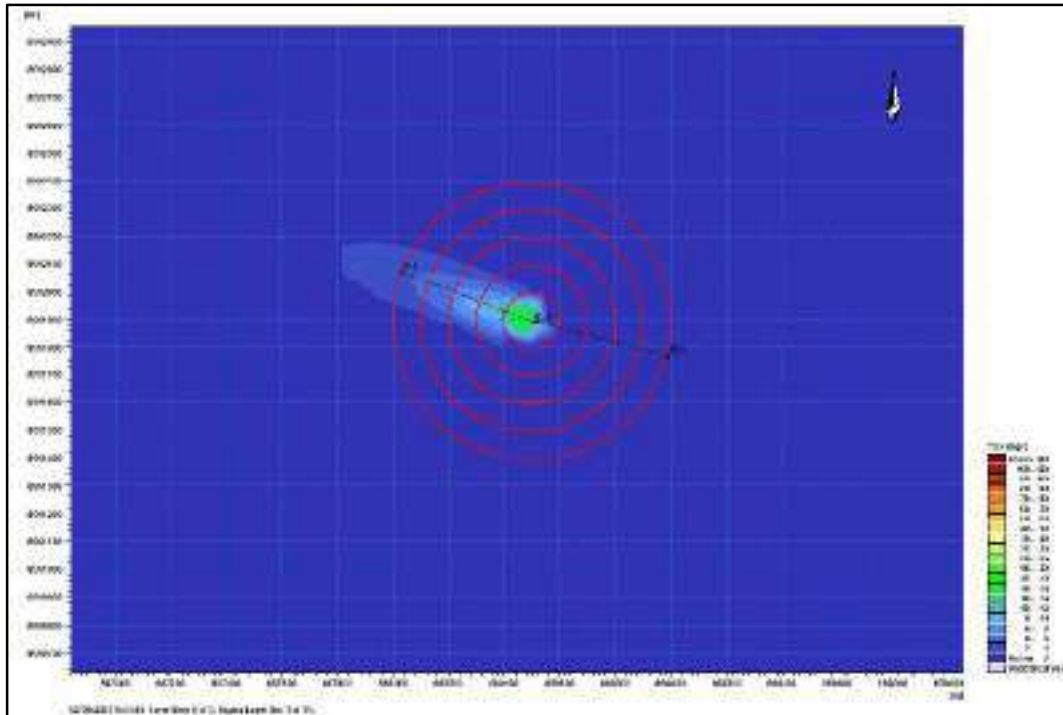


(Section 5) Sebaran horizontal

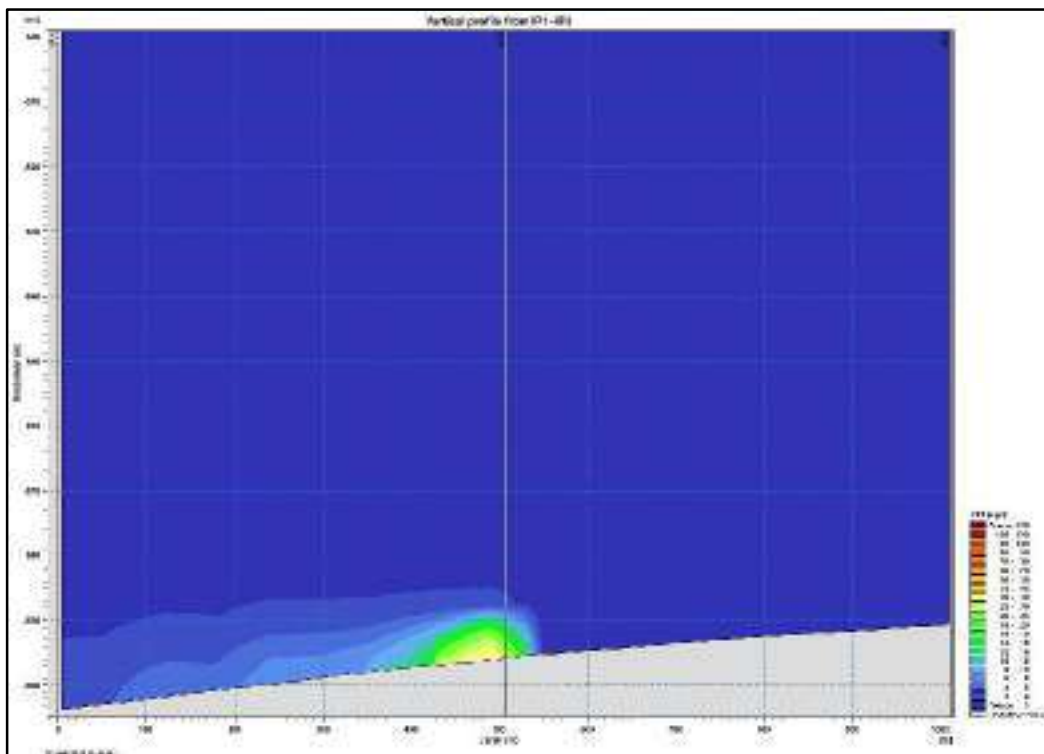


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-2. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-3 saat Musim Peralihan I

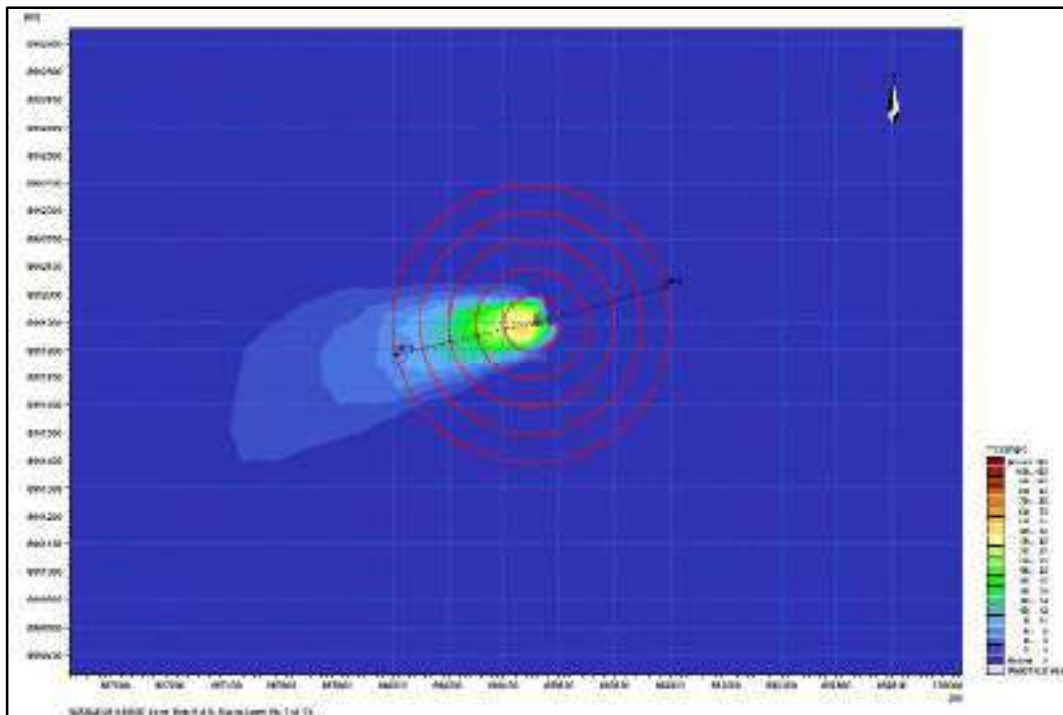


(Section 1) Sebaran horizontal

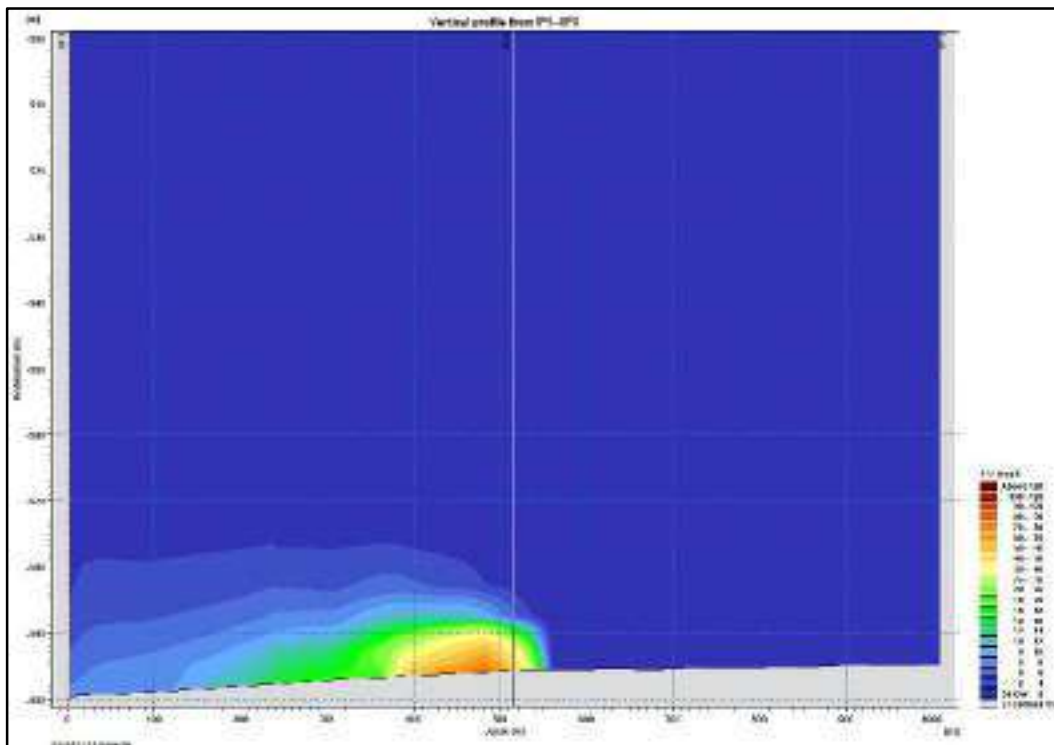


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-2. Lanjutan

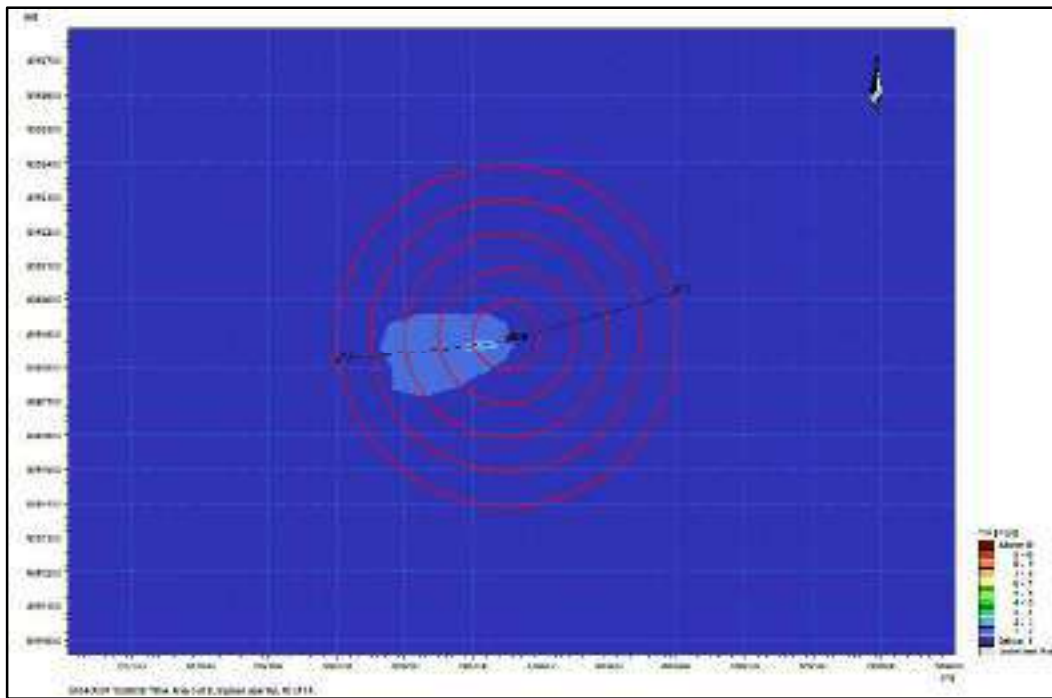


(Section 2) Sebaran horizontal

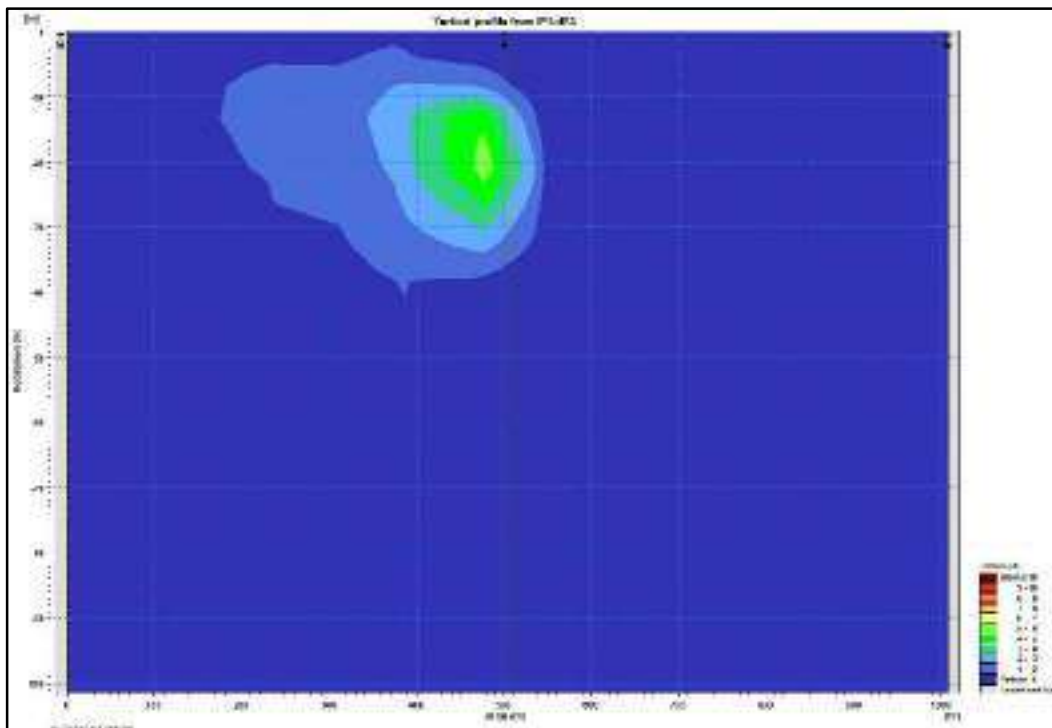


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-2. Lanjutan

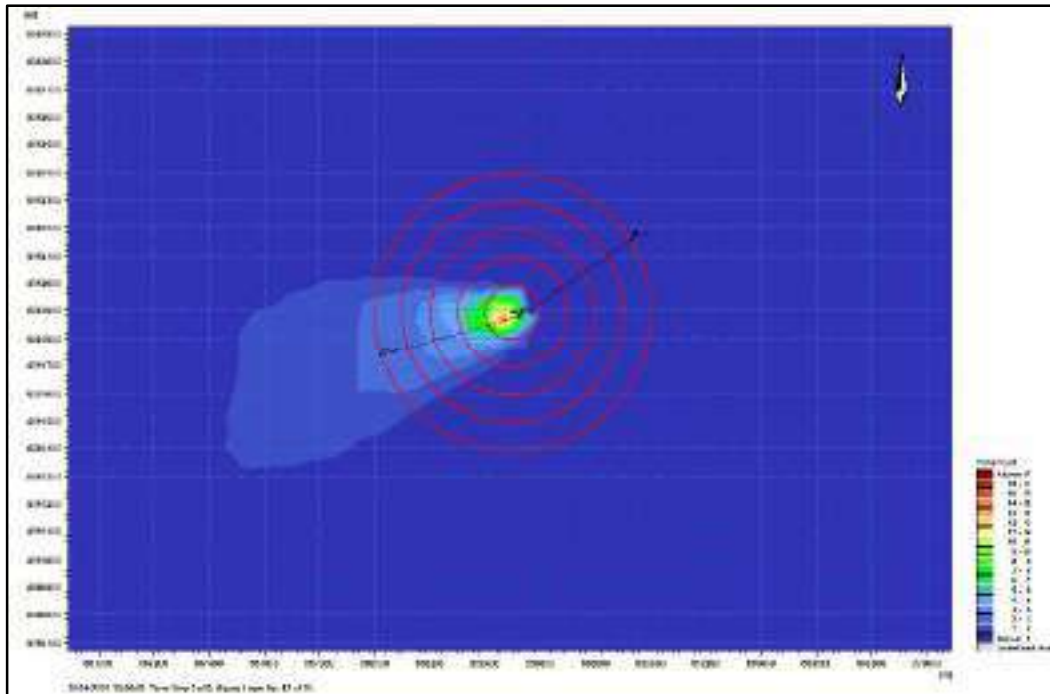


(Section 3) Sebaran horizontal

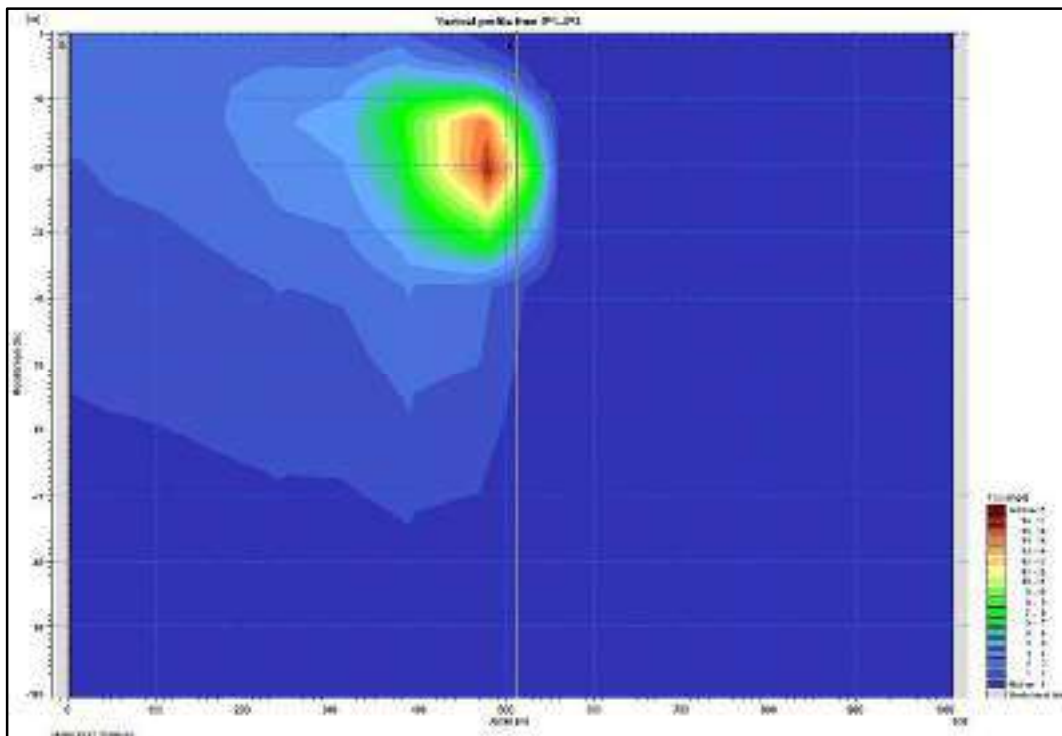


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-2. Lanjutan

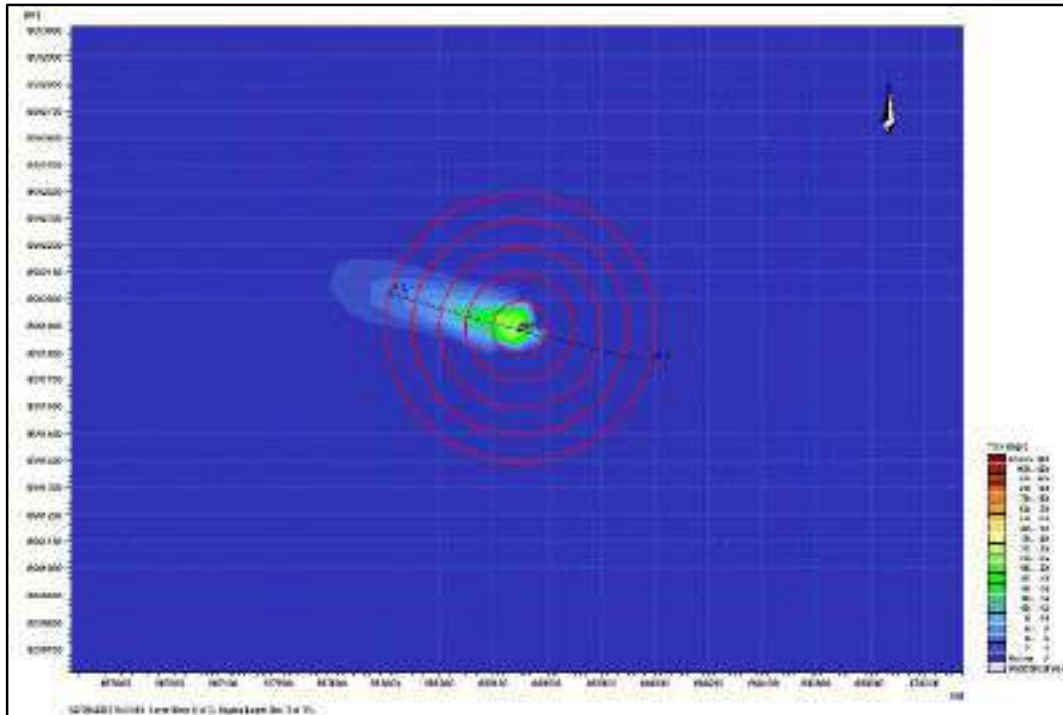


(Section 5) Sebaran horizontal

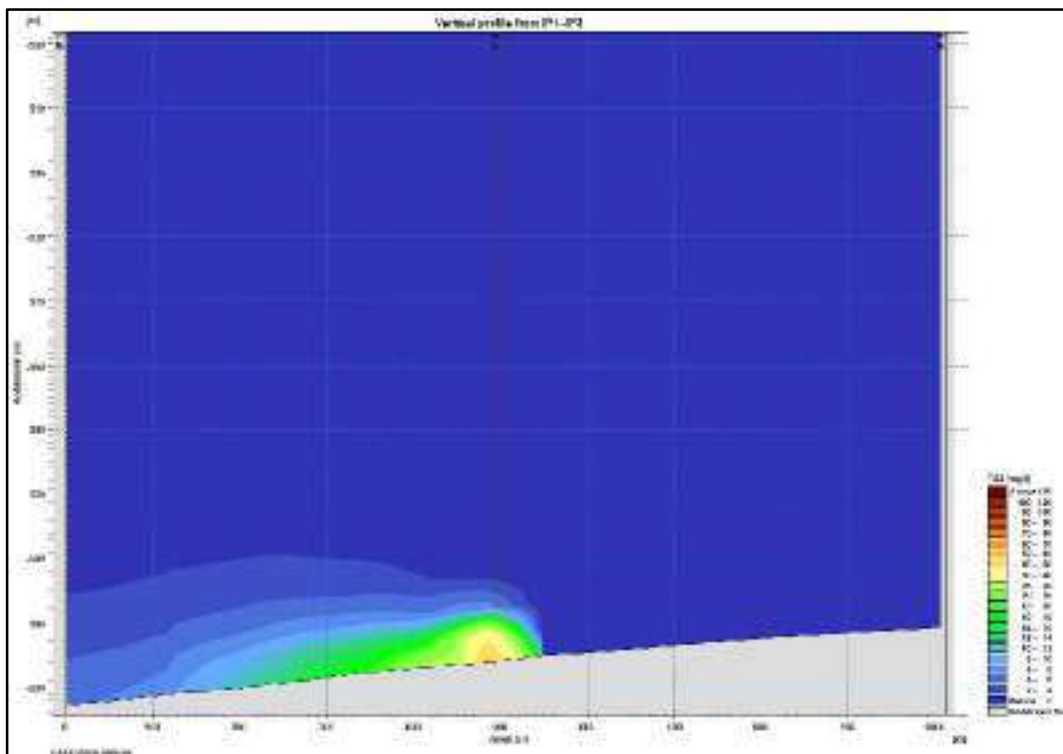


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-3. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-3 saat Musim Timur

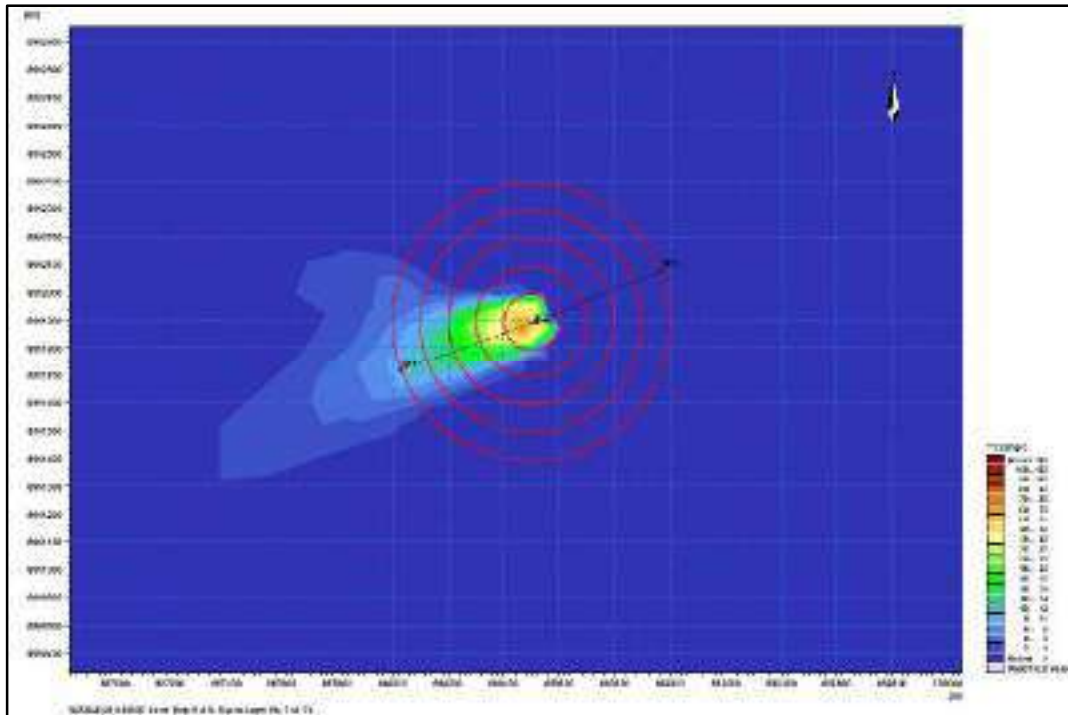


(Section 1) Sebaran horizontal

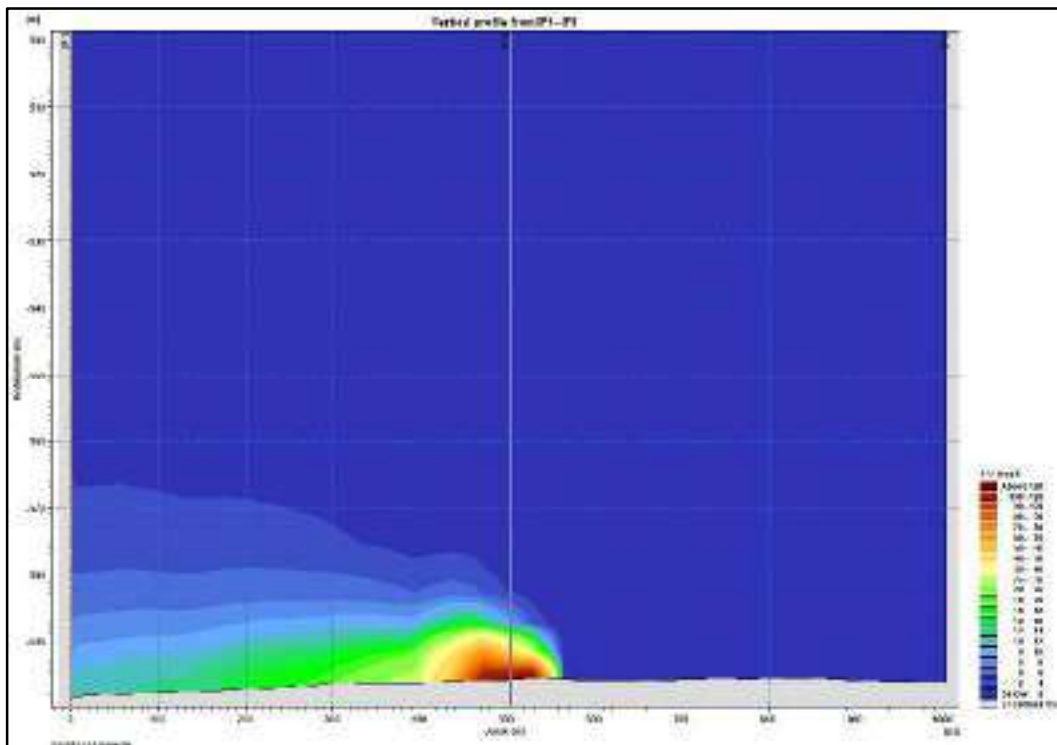


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-3. Lanjutan

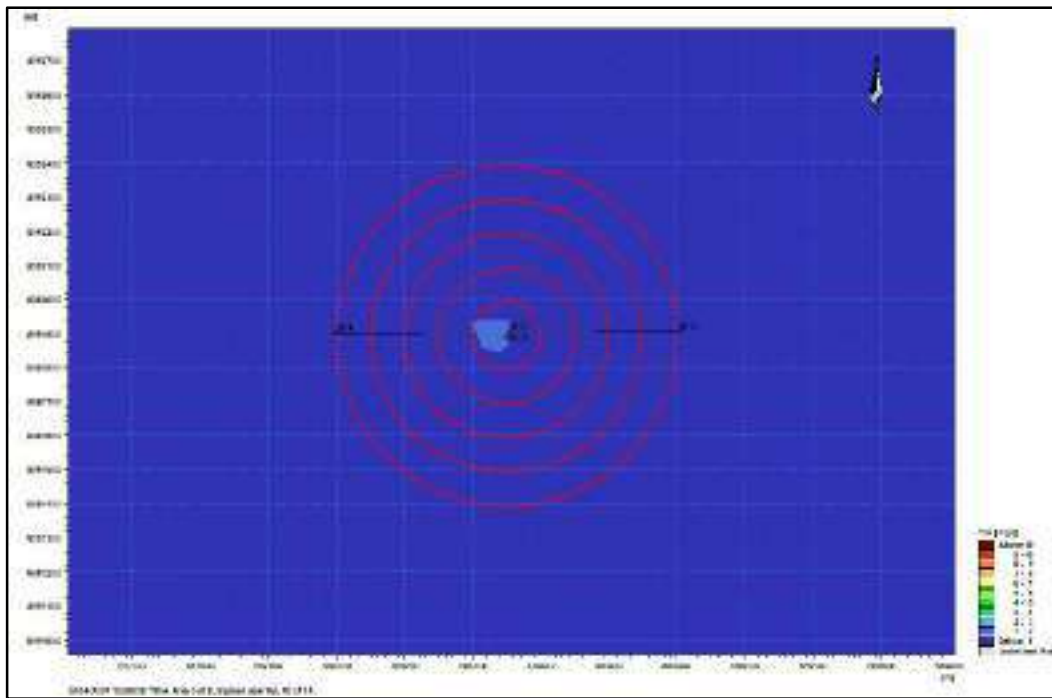


(Section 2) Sebaran horizontal

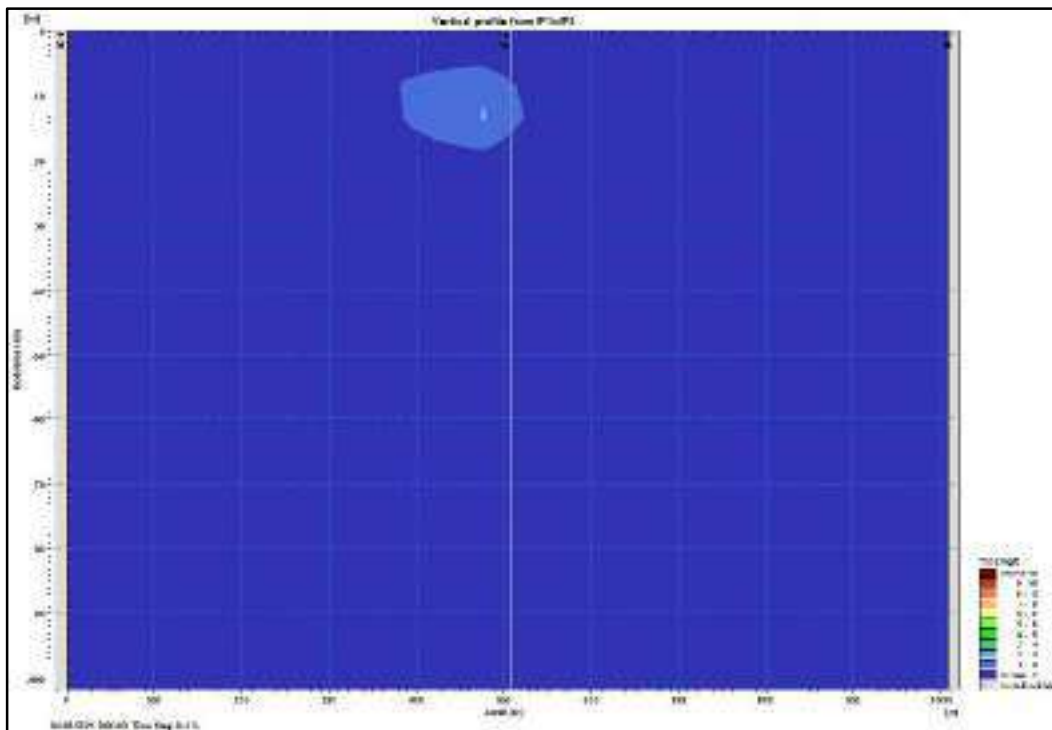


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-3. Lanjutan

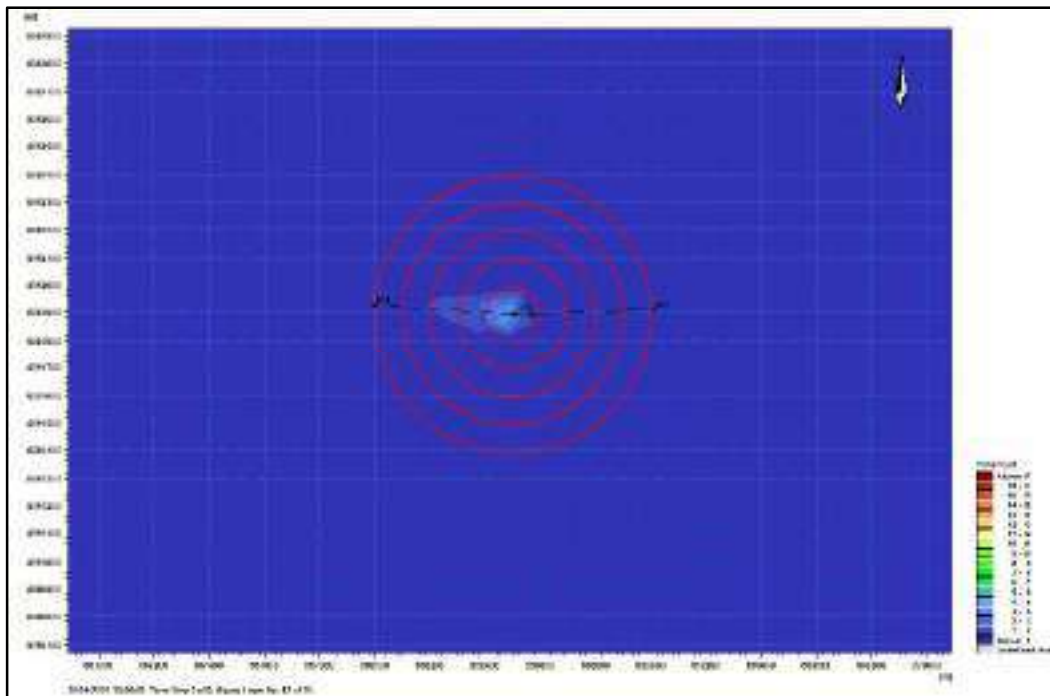


(Section 3) Sebaran horizontal

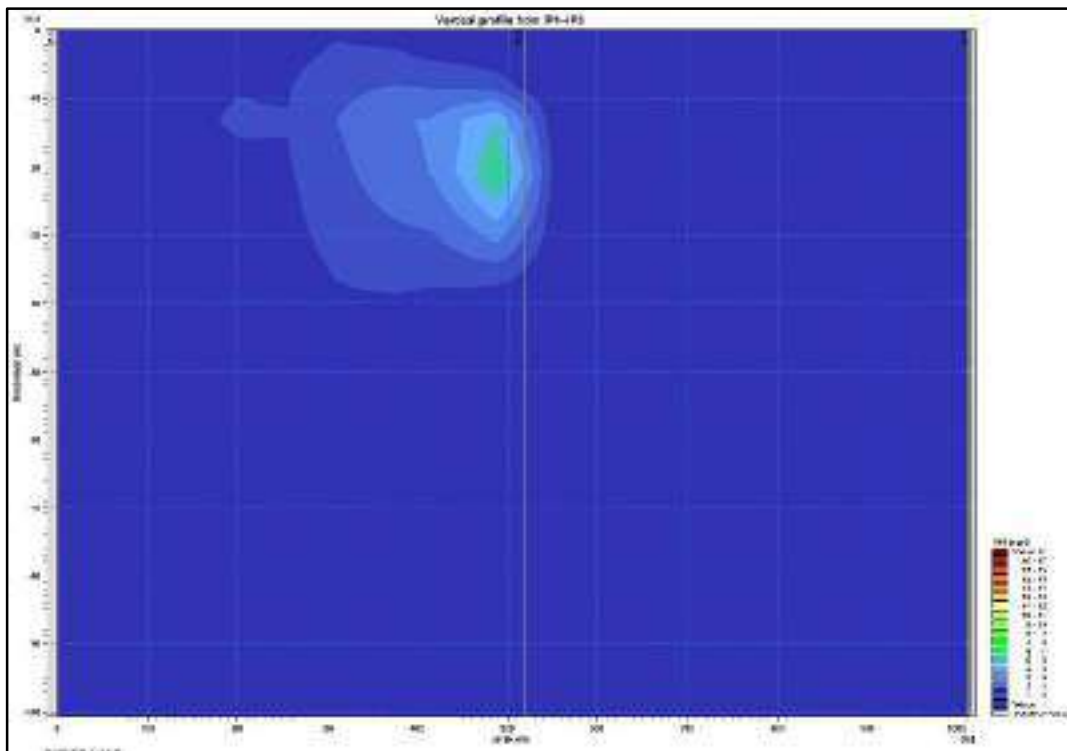


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-3. Lanjutan

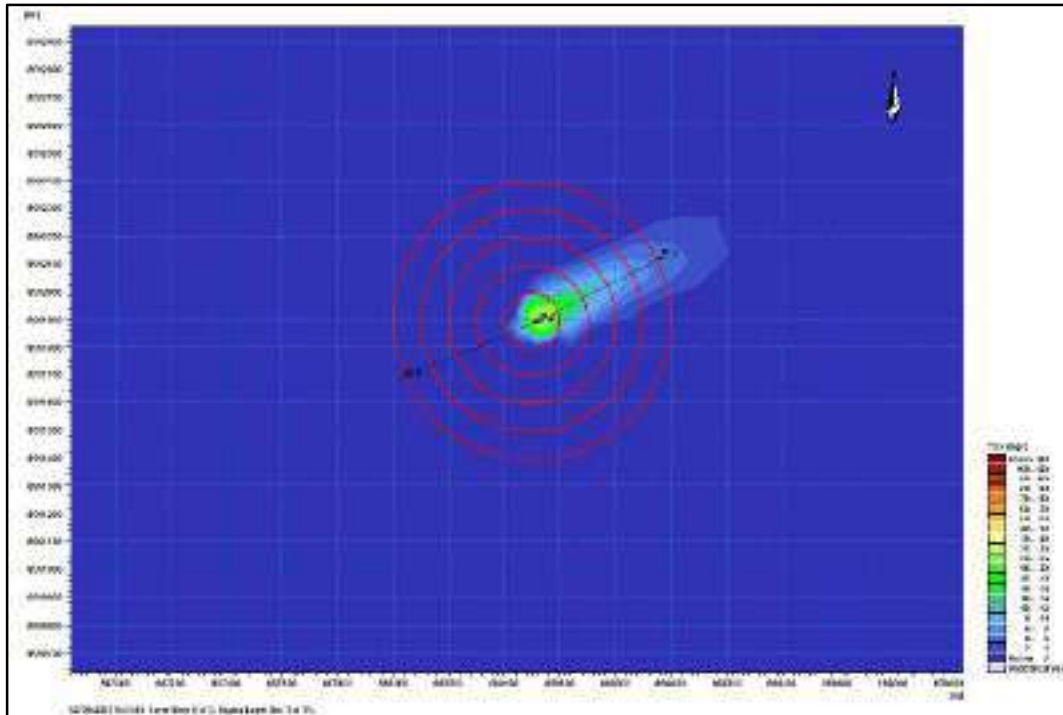


(Section 5) Sebaran horizontal

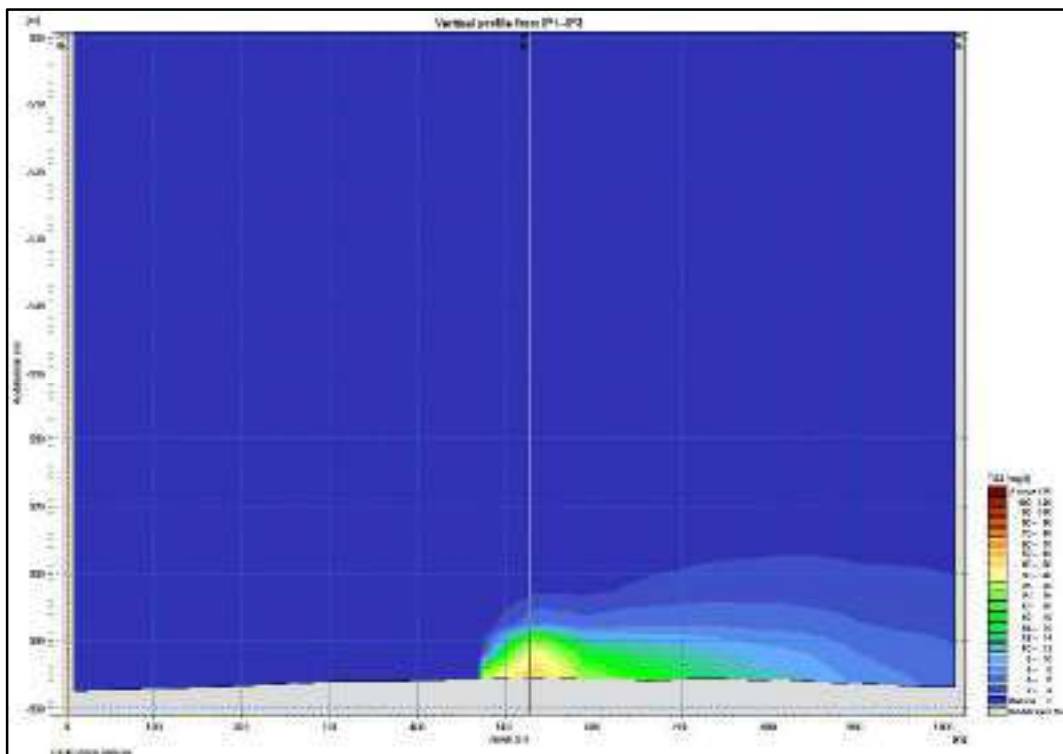


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-4. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-3 saat Musim Peralihan II

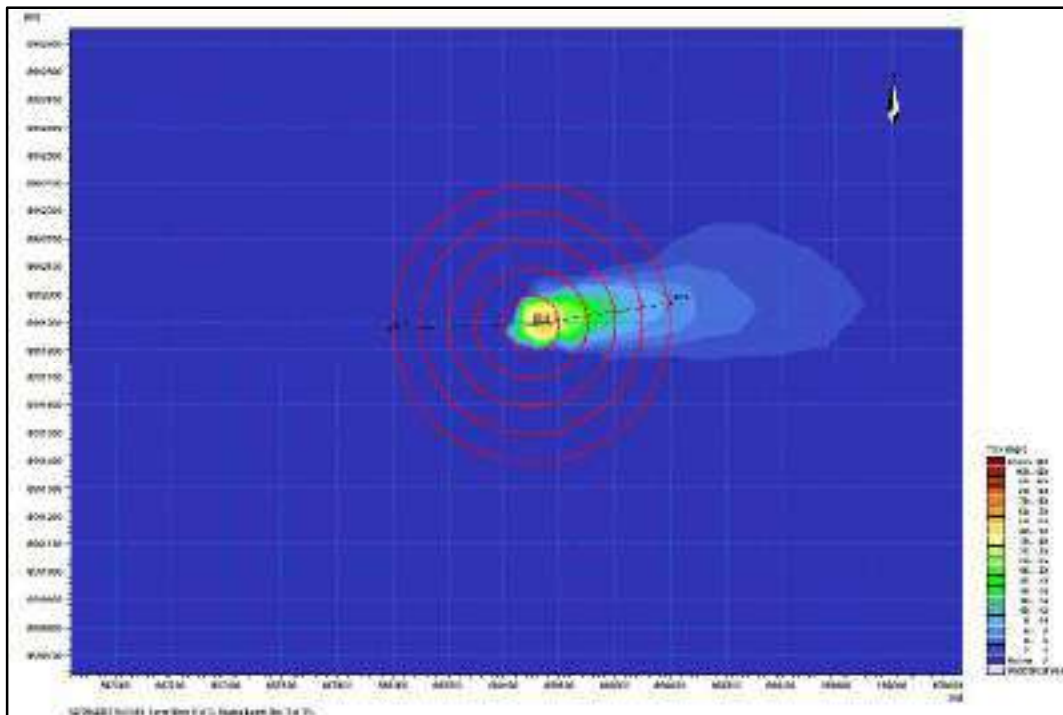


(Section 1) Sebaran horizontal

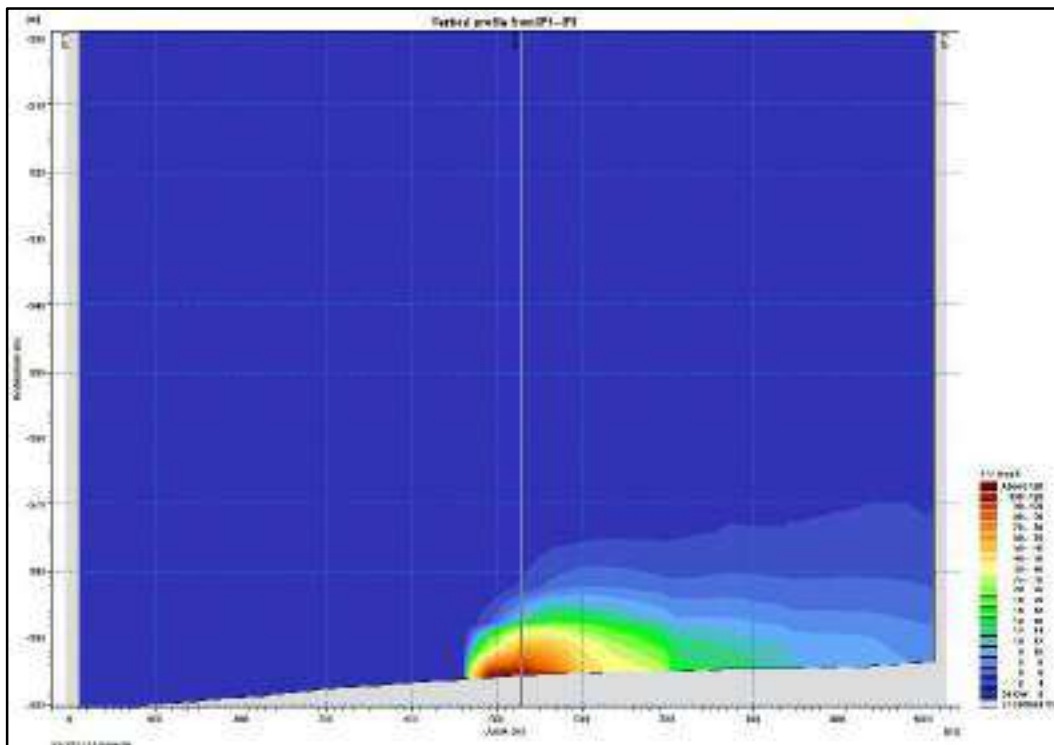


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-4. Lanjutan

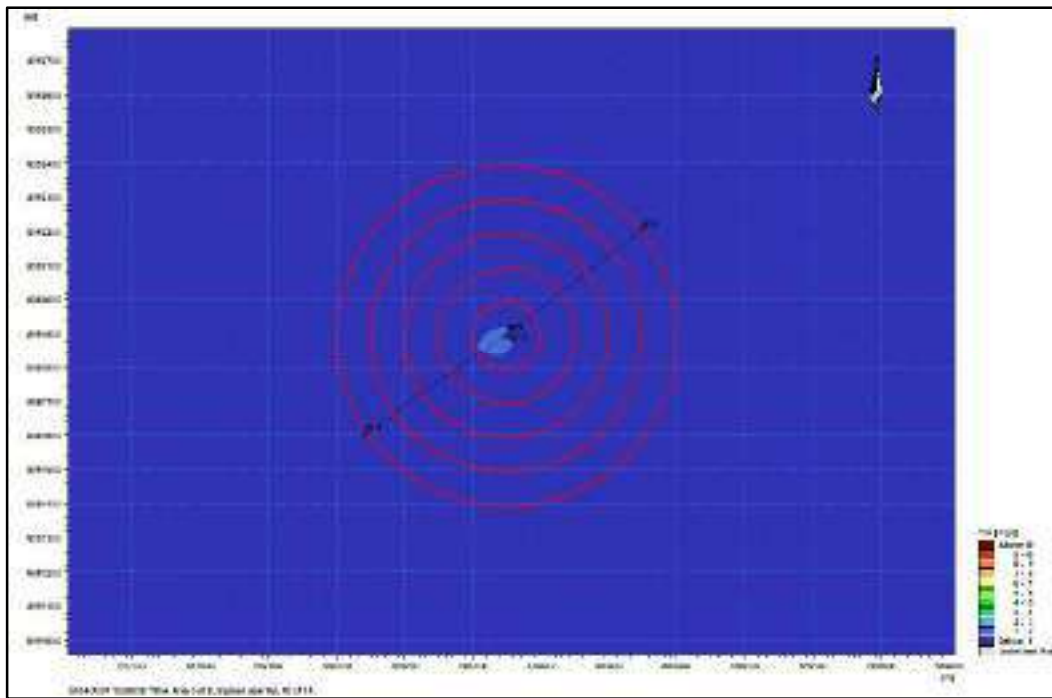


(Section 2) Sebaran horizontal

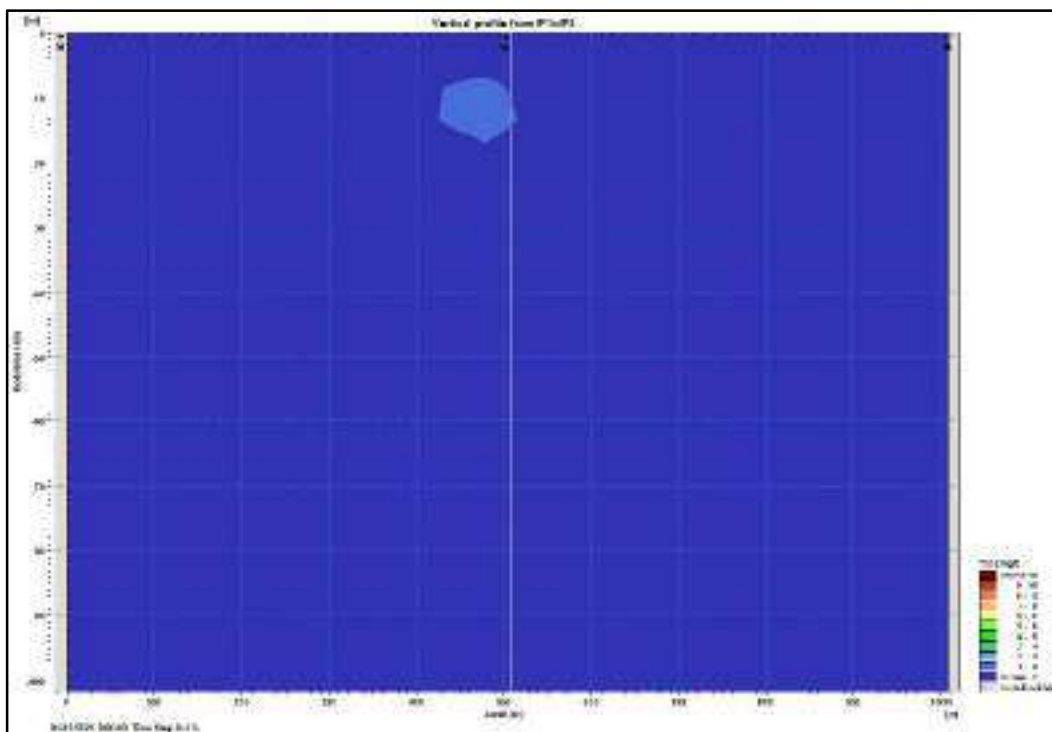


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-4. Lanjutan

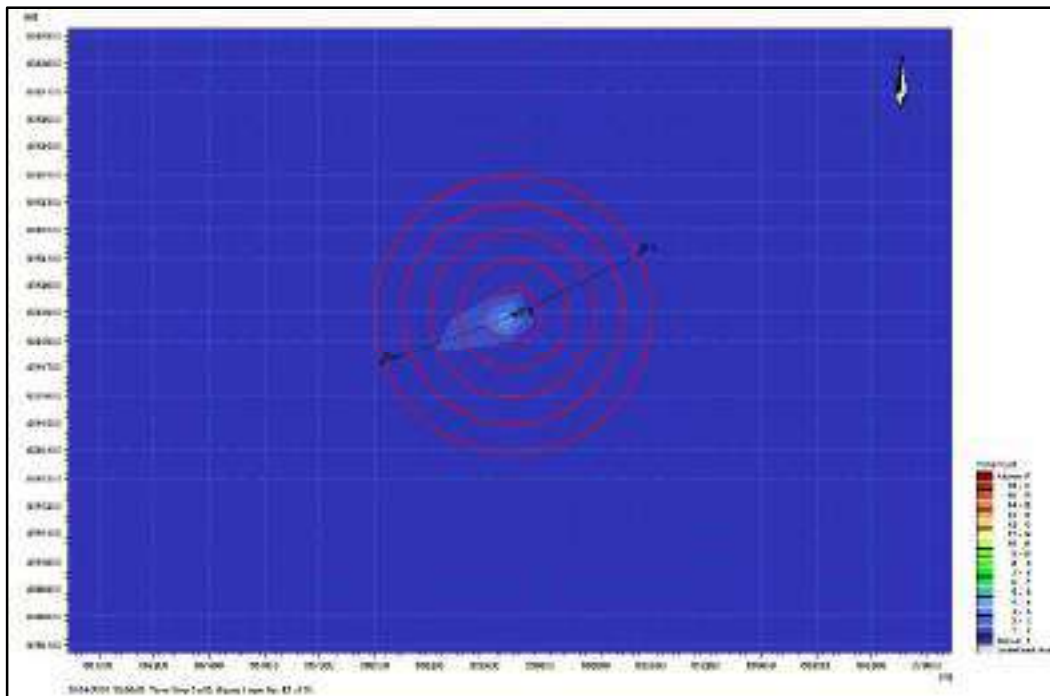


(Section 3) Sebaran horizontal

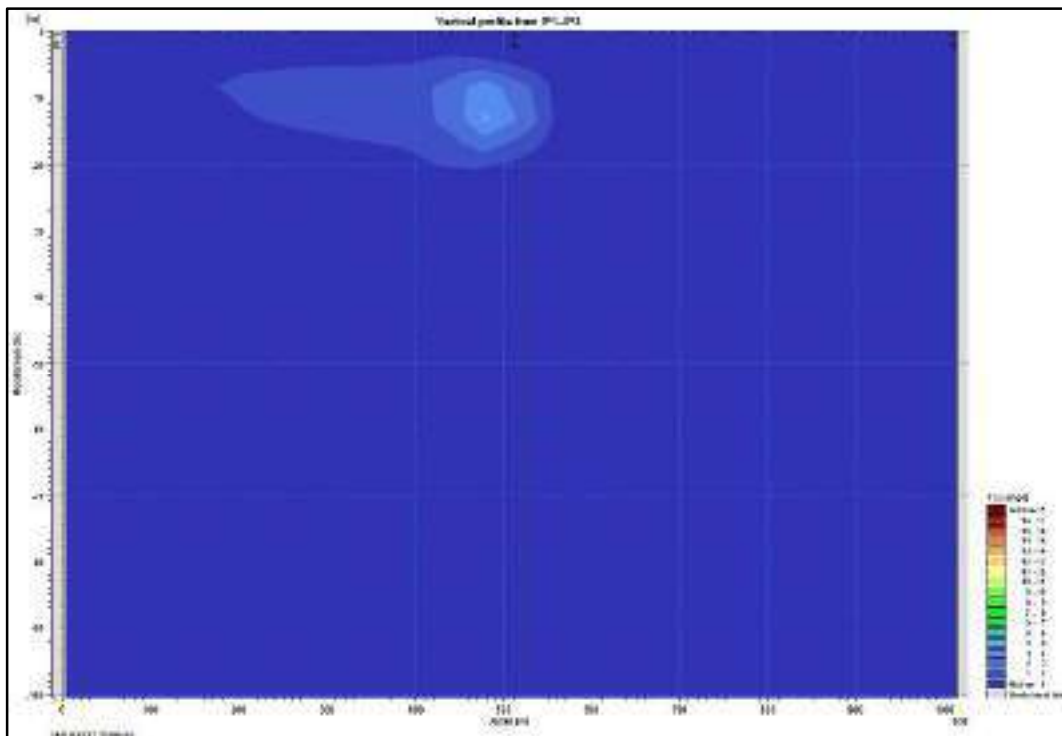


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran C-4. Lanjutan



(Section 5) Sebaran horizontal

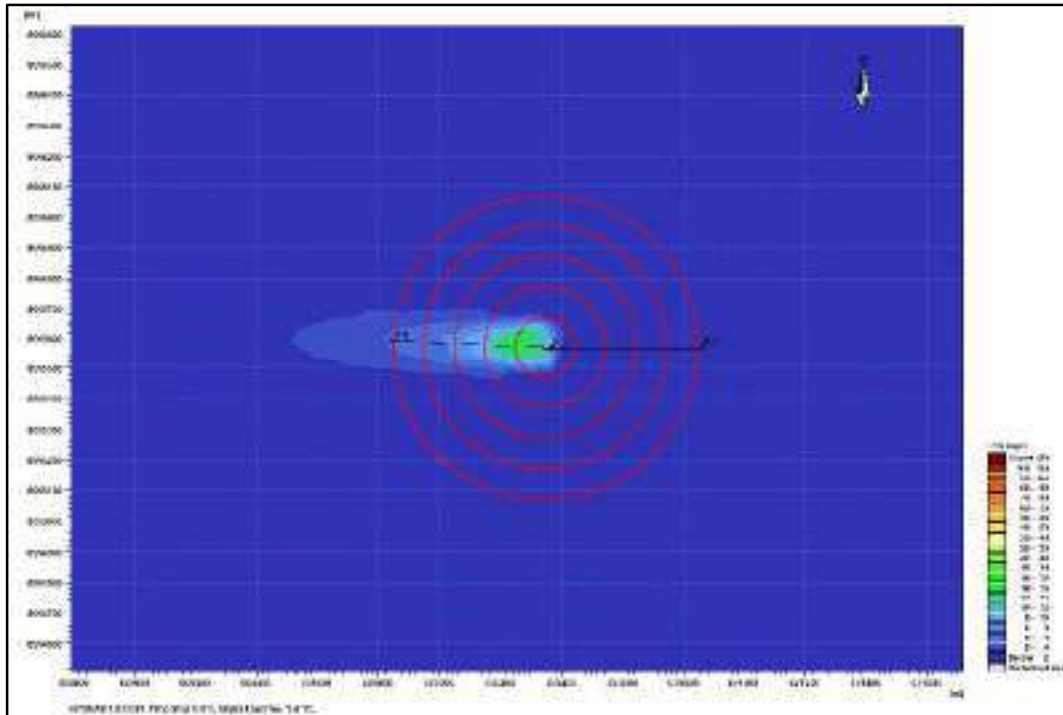


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

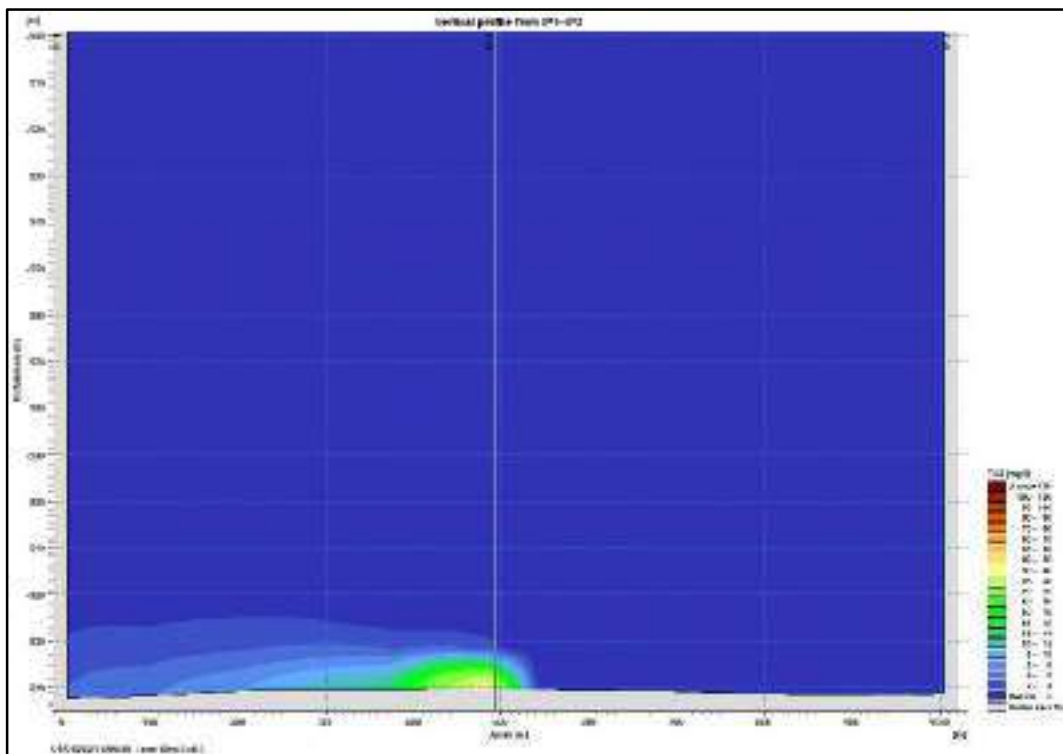
LAMPIRAN D

Lampiran D Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping gabungan lumpur bor dan serbuk bor (section-1 dan section-2) serta hanya akibat dumping lumpur bor (section-3 dan section-5) di sumur DC-4

Lampiran D-1. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-4 saat Musim Barat

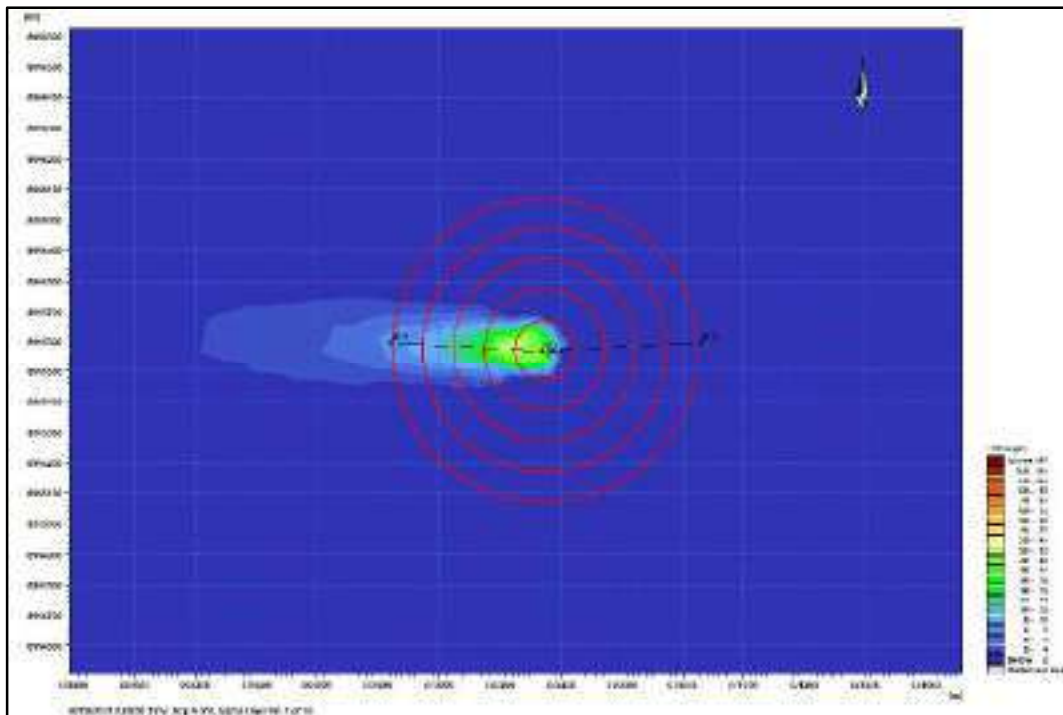


(Section 1) Sebaran horizontal

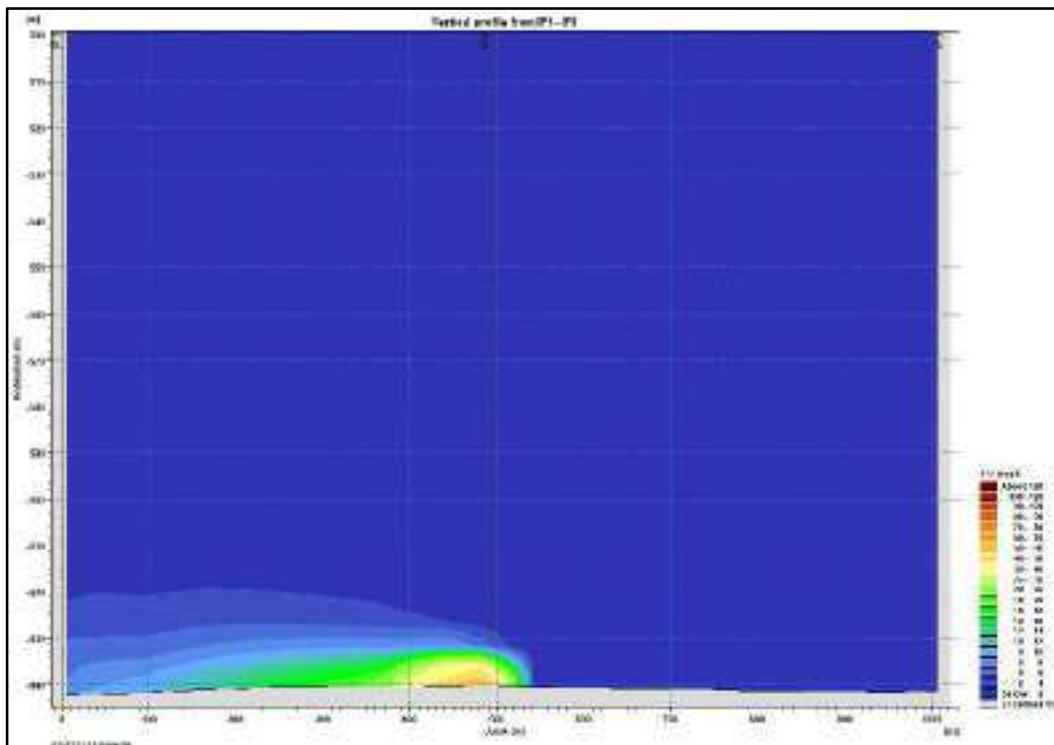


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-1. Lanjutan

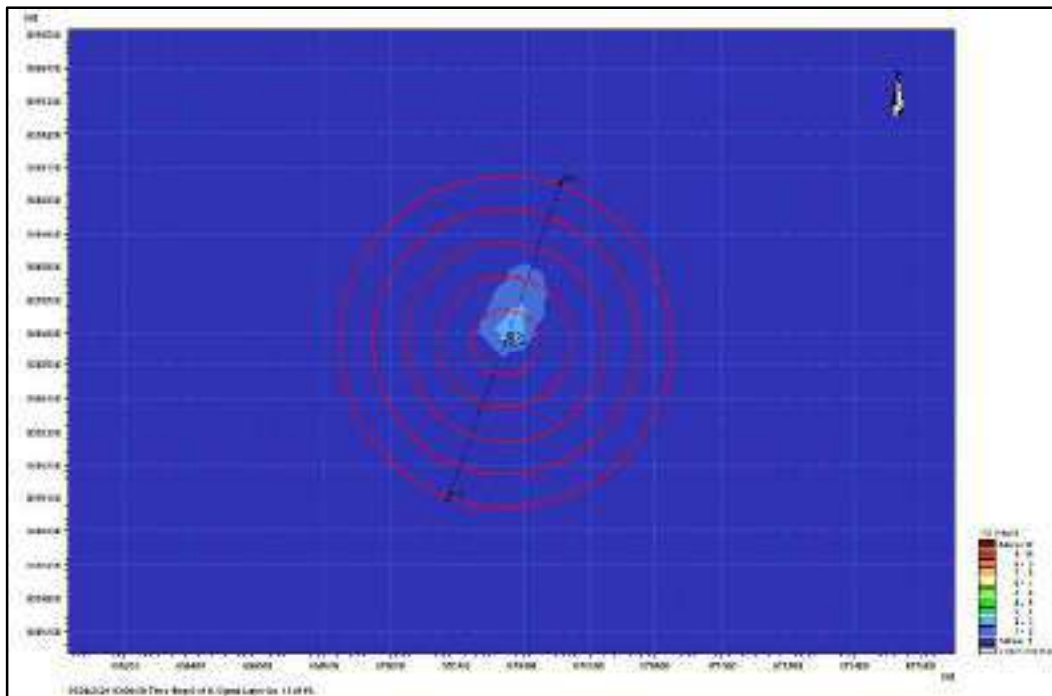


(Section 2) Sebaran horizontal

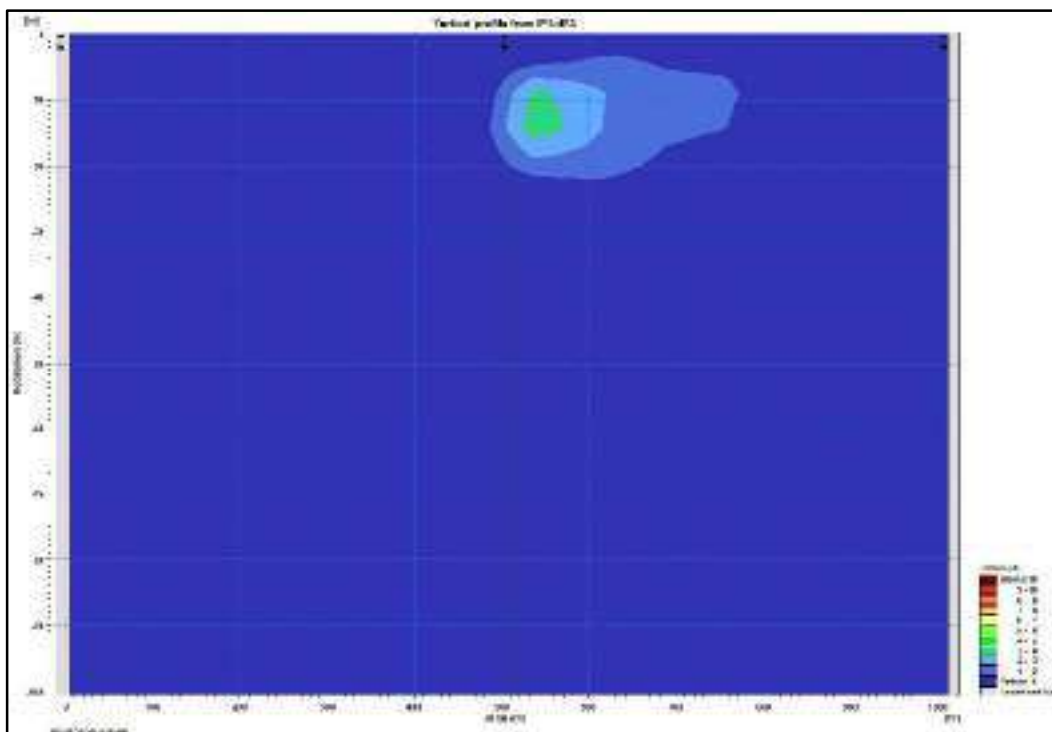


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-1. Lanjutan

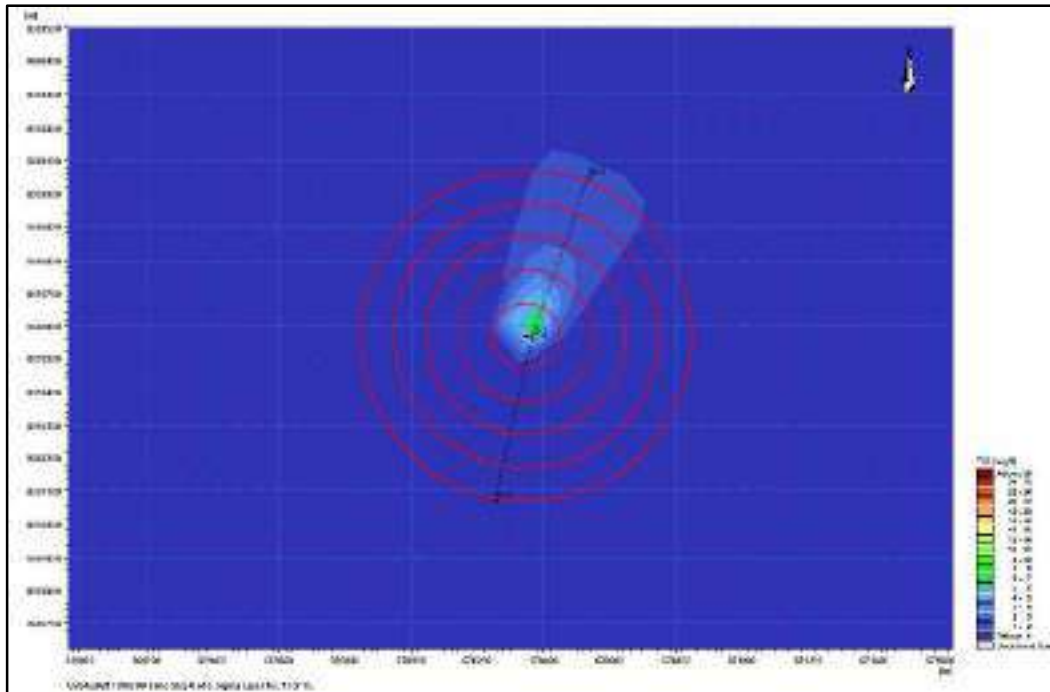


(Section 3) Sebaran horizontal

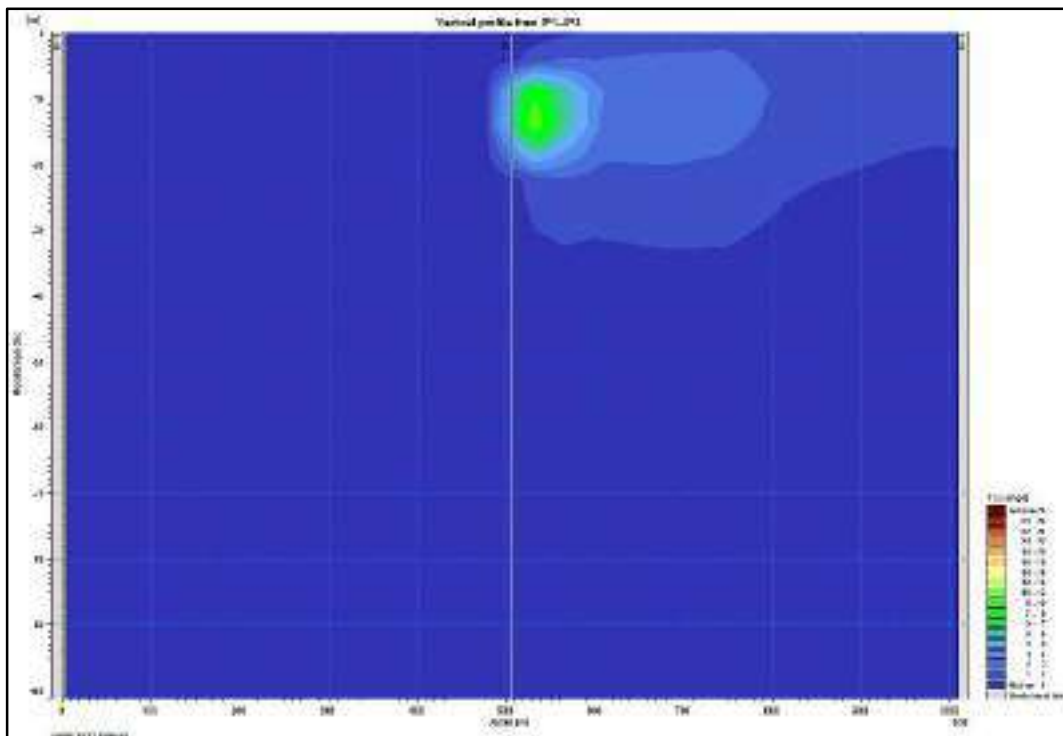


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-1. Lanjutan

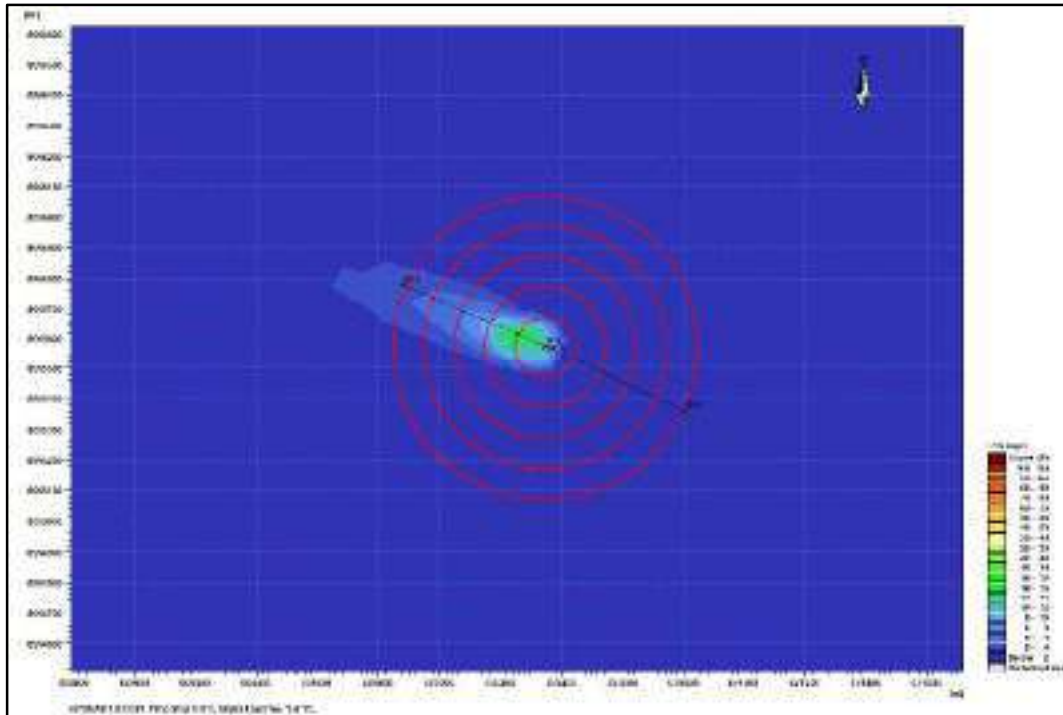


(Section 5) Sebaran horizontal

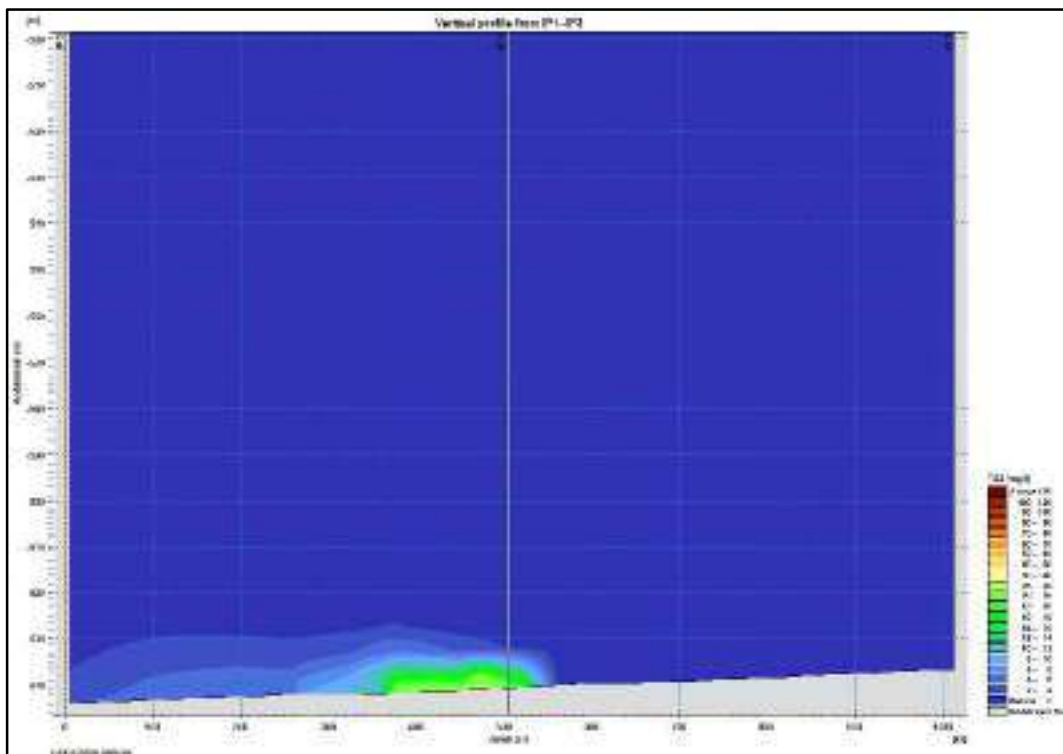


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-2. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-4 saat Musim Peralihan I

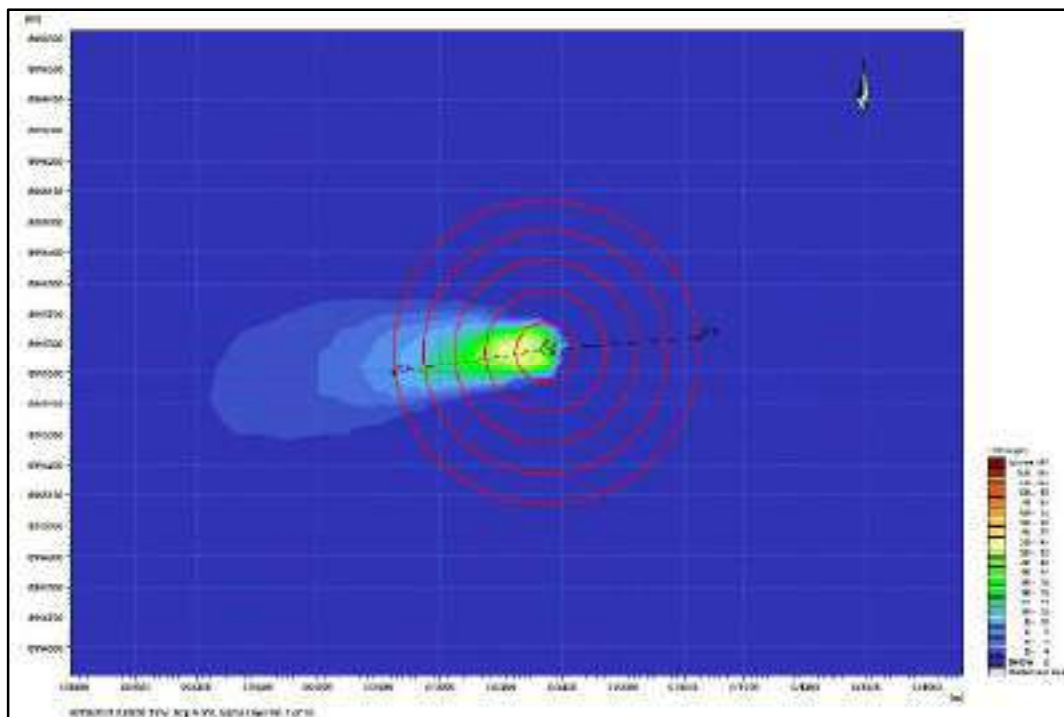


(Section 1) Sebaran horizontal

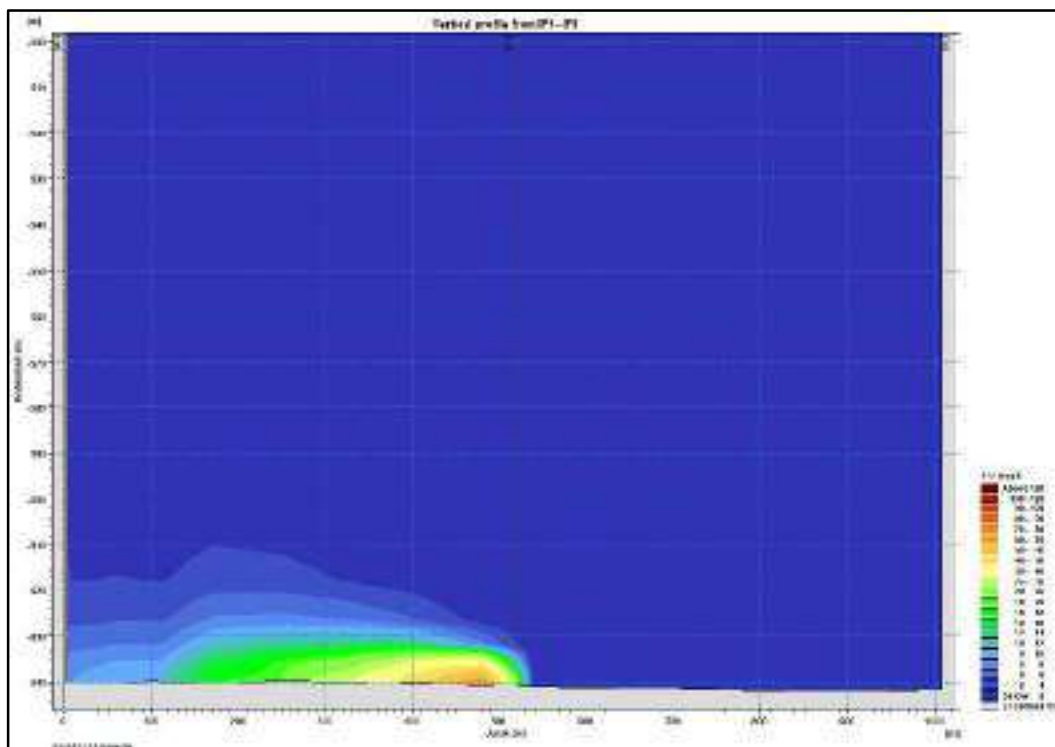


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-2. Lanjutan

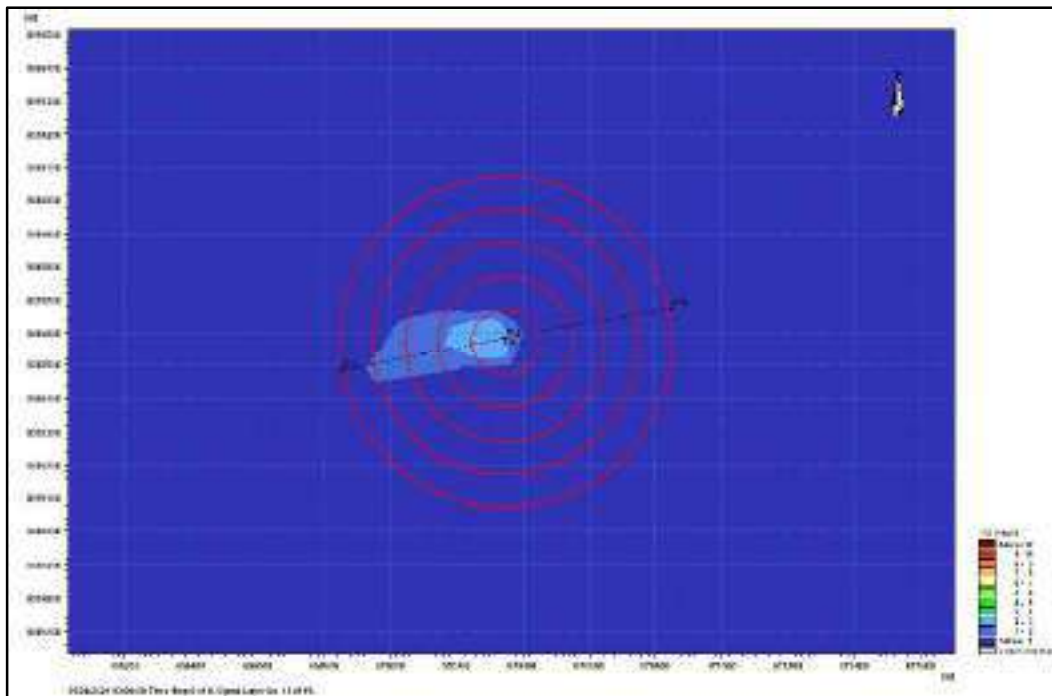


(Section 2) Sebaran horizontal

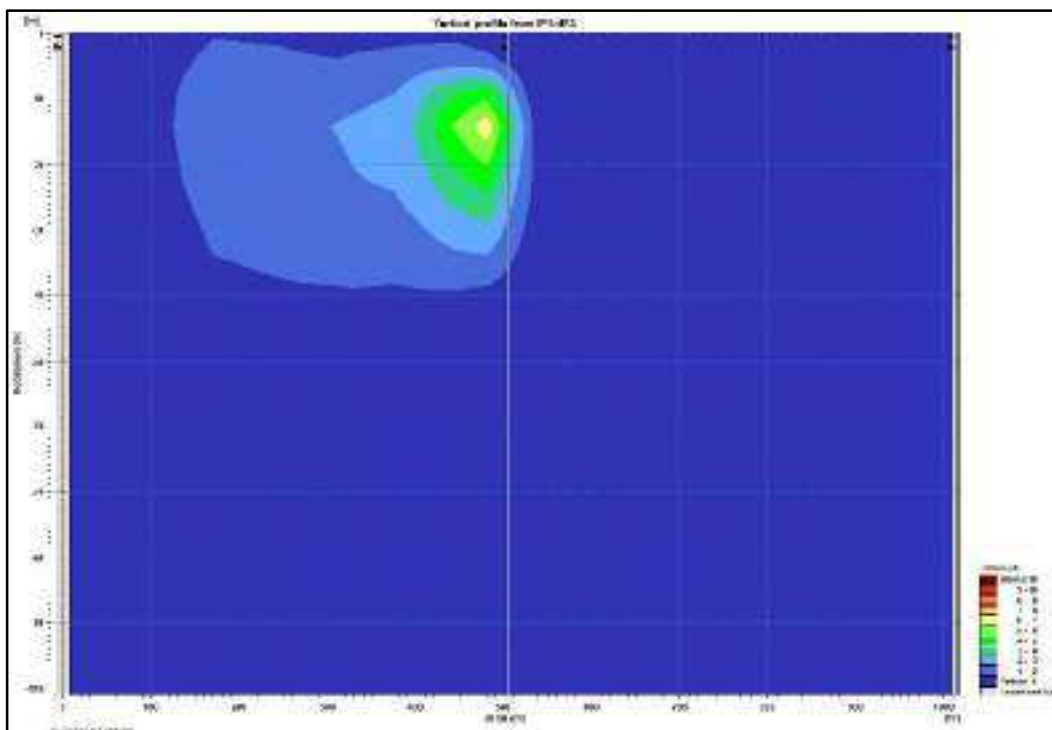


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-2. Lanjutan

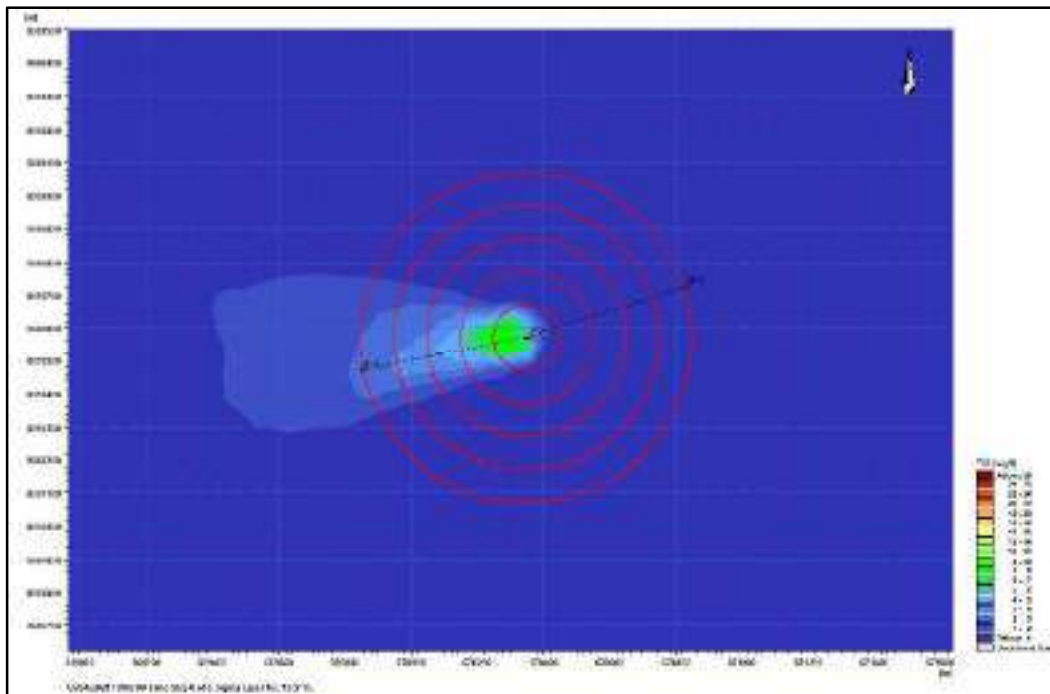


(Section 3) Sebaran horizontal

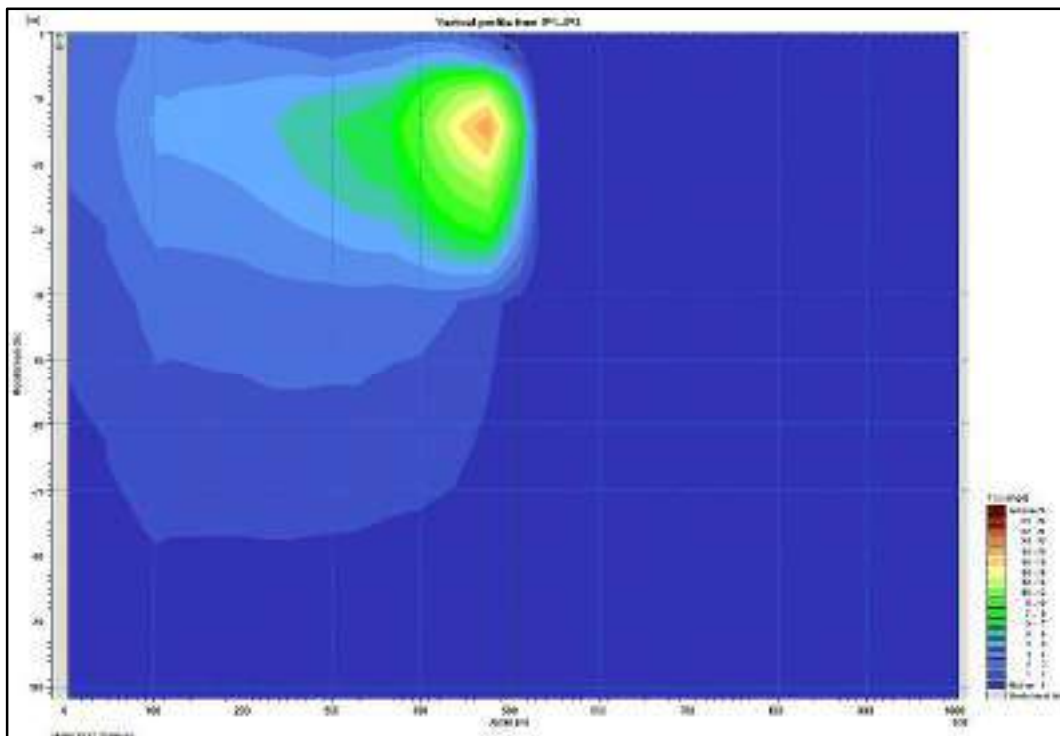


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-2. Lanjutan

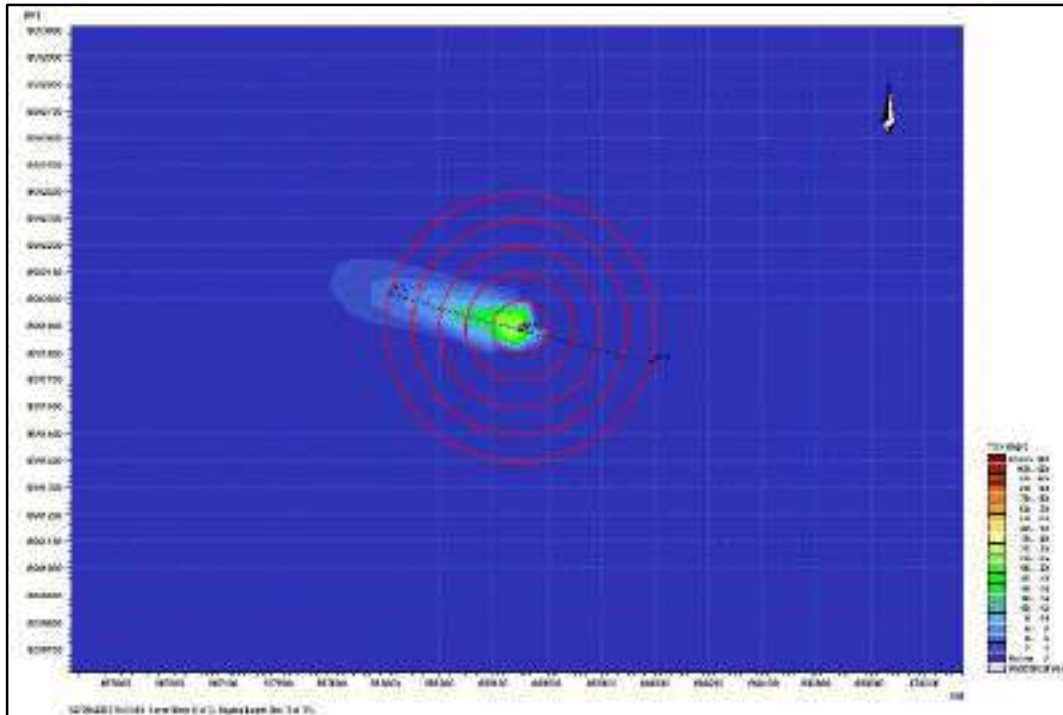


(Section 5) Sebaran horizontal

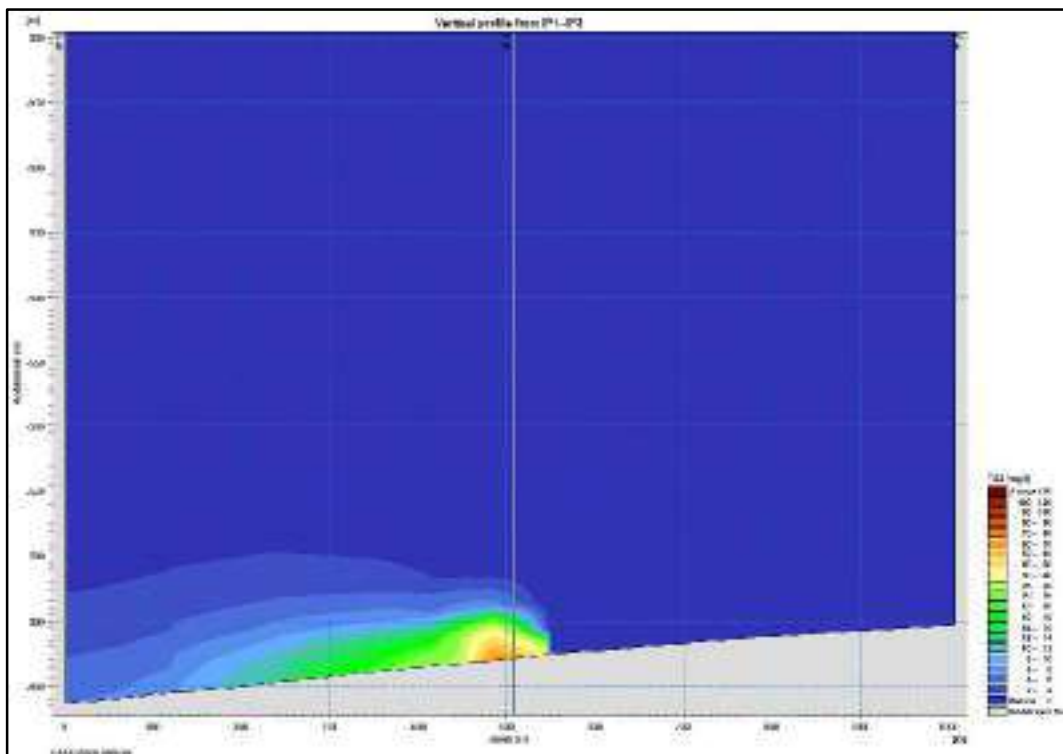


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-3. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-4 saat Musim Timur

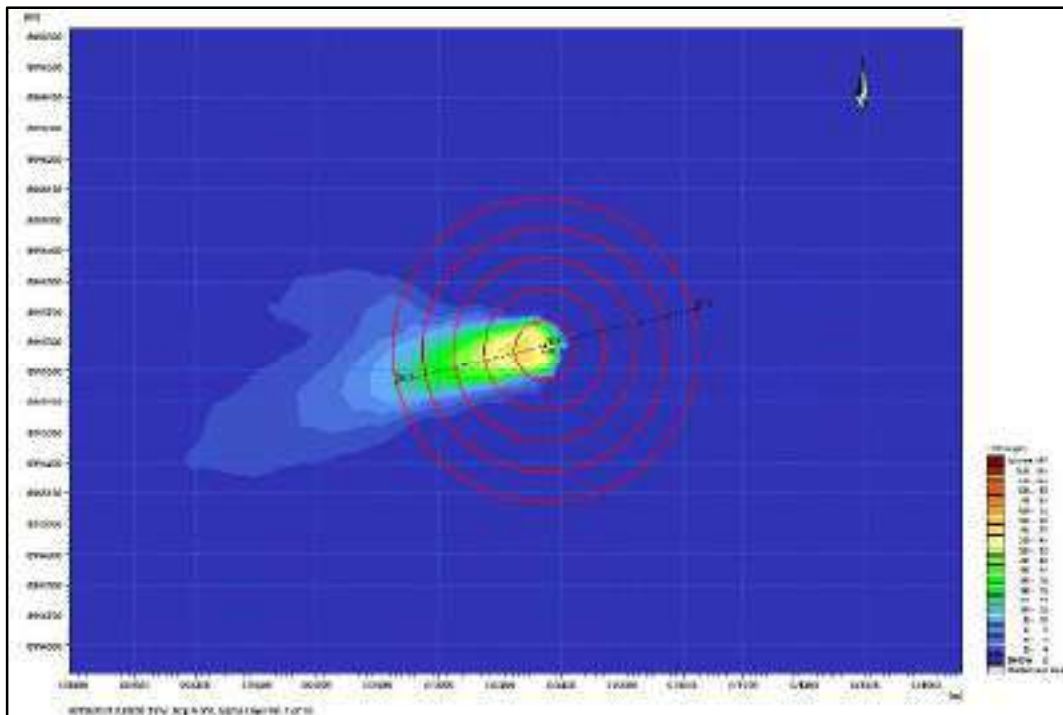


(Section 1) Sebaran horizontal

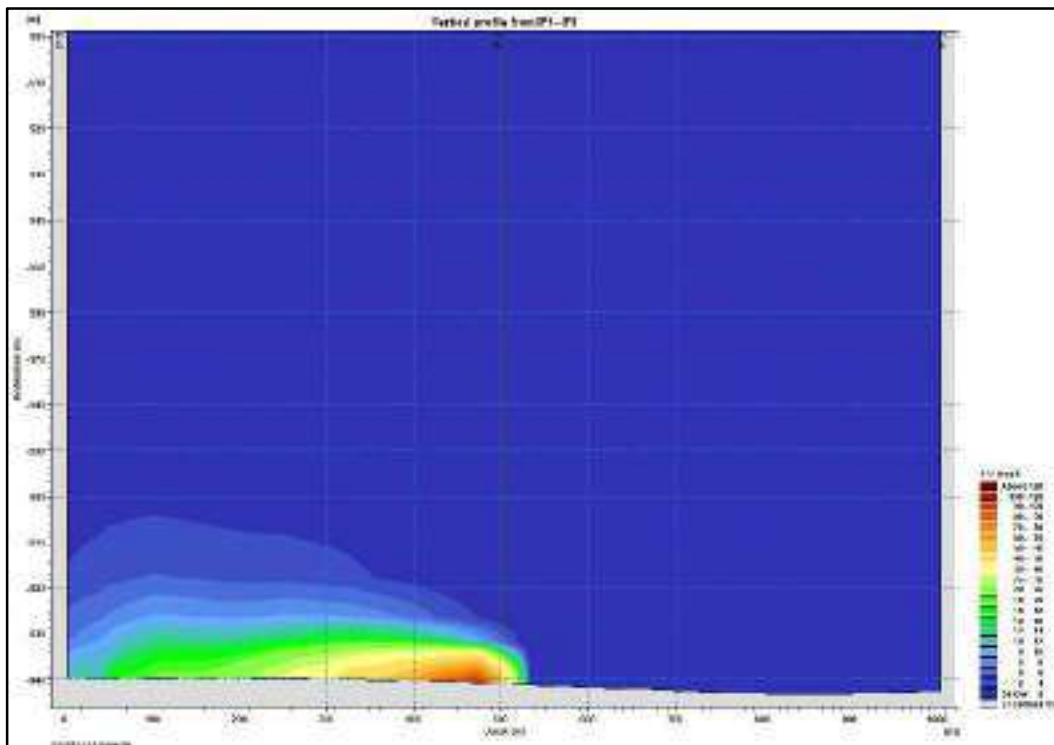


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-3. Lanjutan

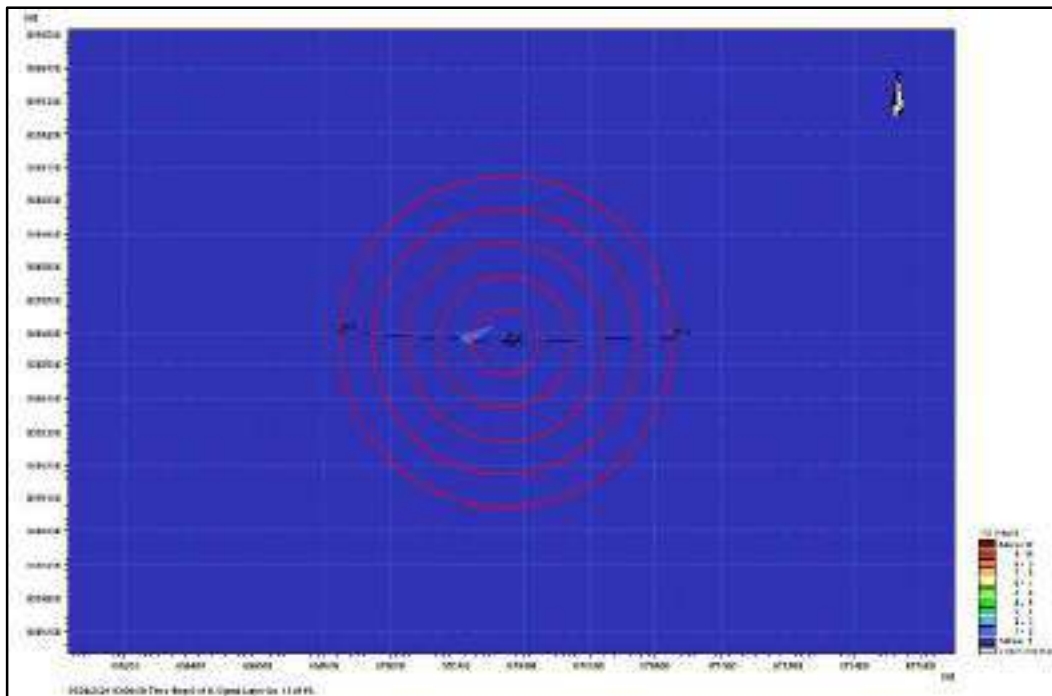


(Section 2) Sebaran horizontal

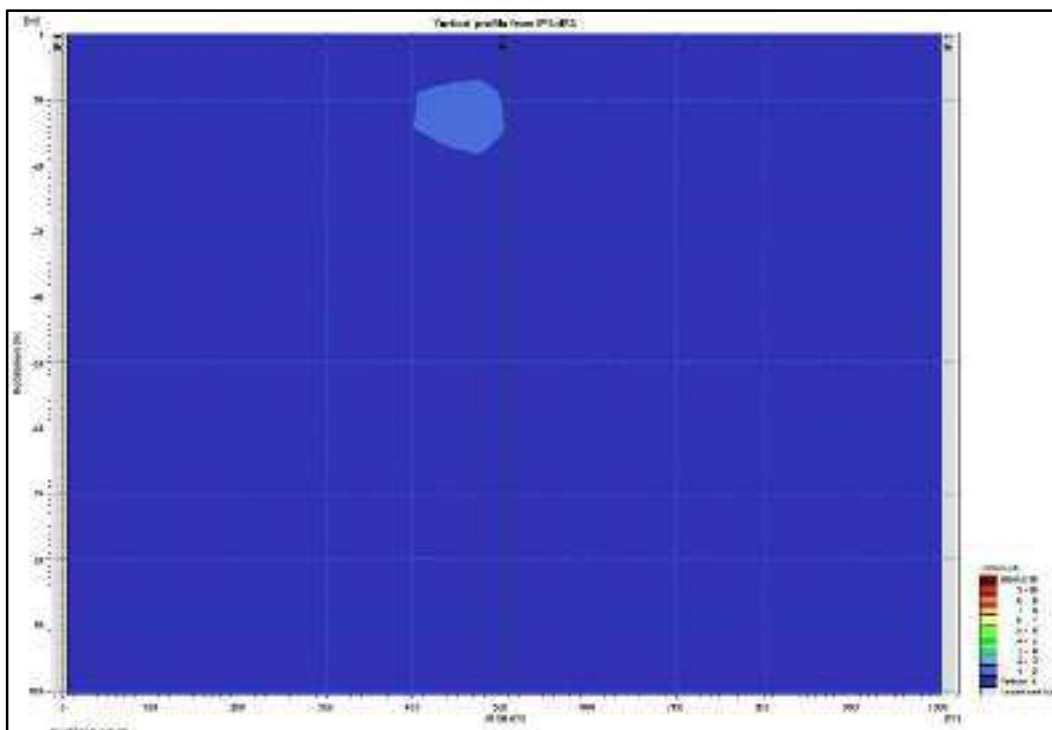


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-3. Lanjutan

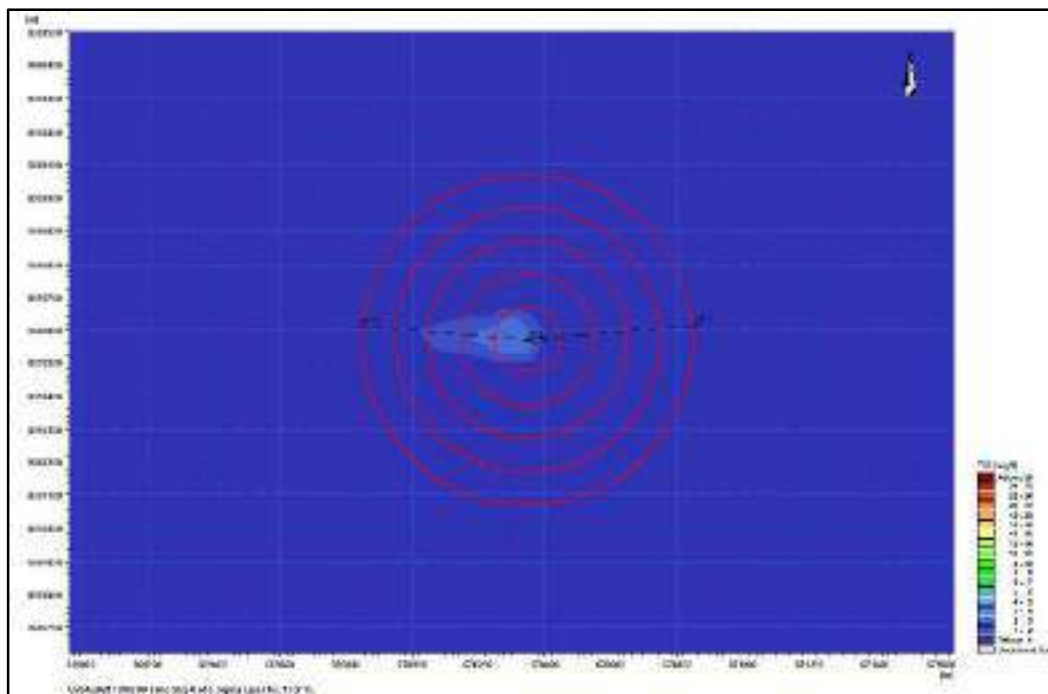


(Section 3) Sebaran horizontal

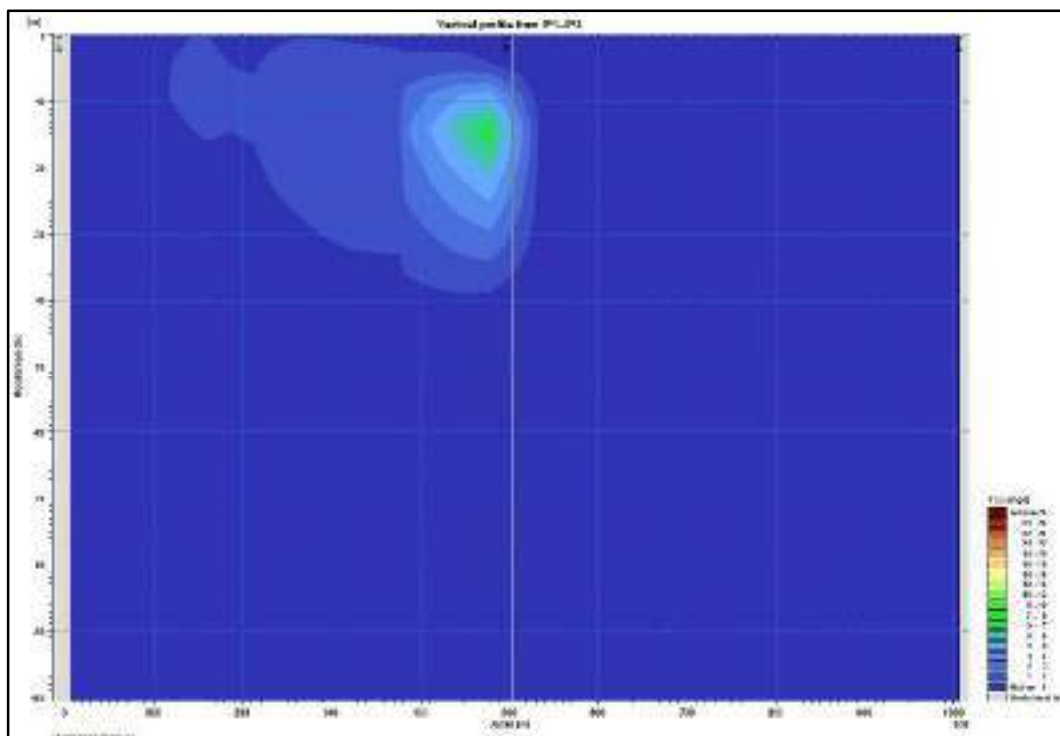


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-3. Lanjutan

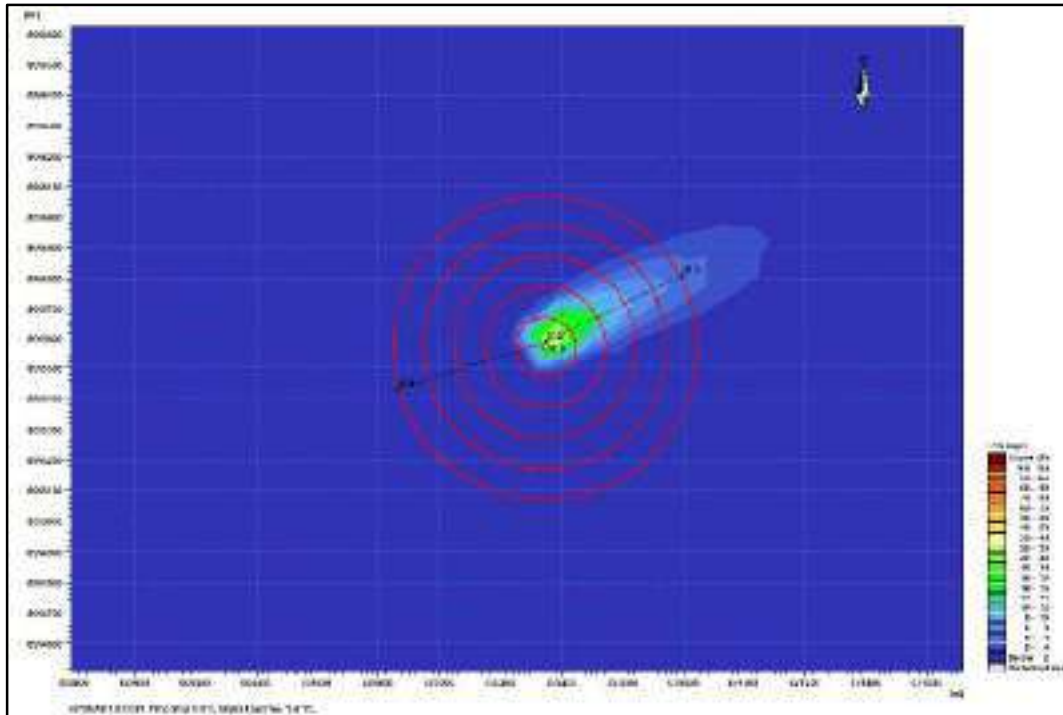


(Section 5) Sebaran horizontal

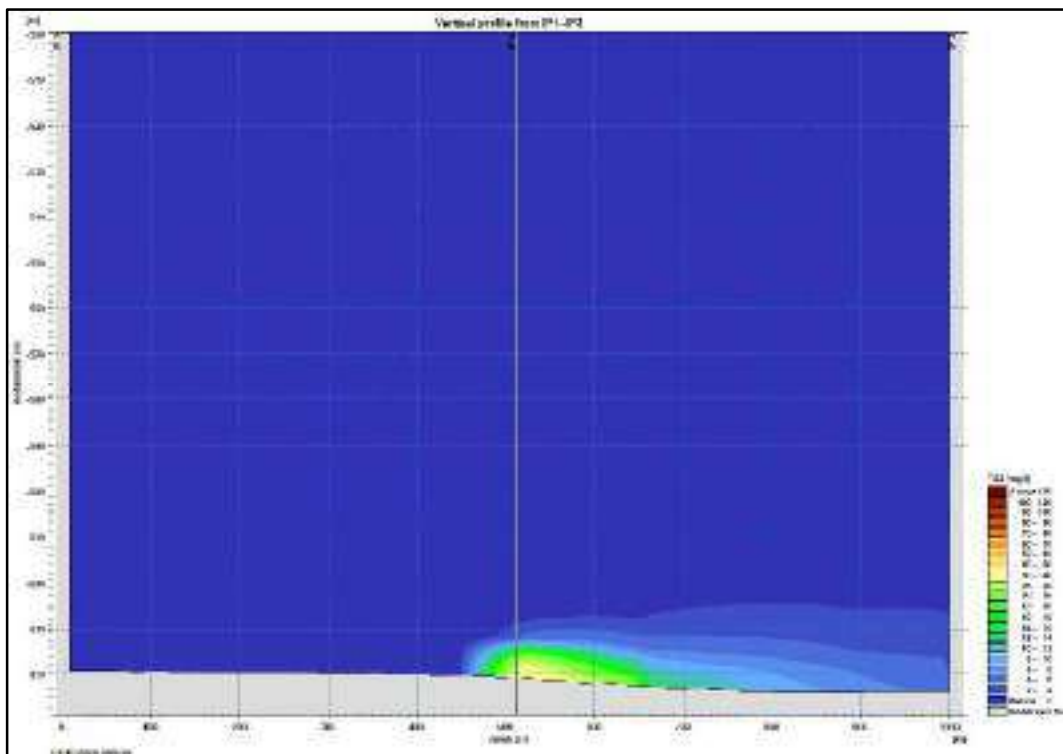


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-4. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping lumpur bor dan serbuk bor di sumur DC-4 saat Musim Peralihan II

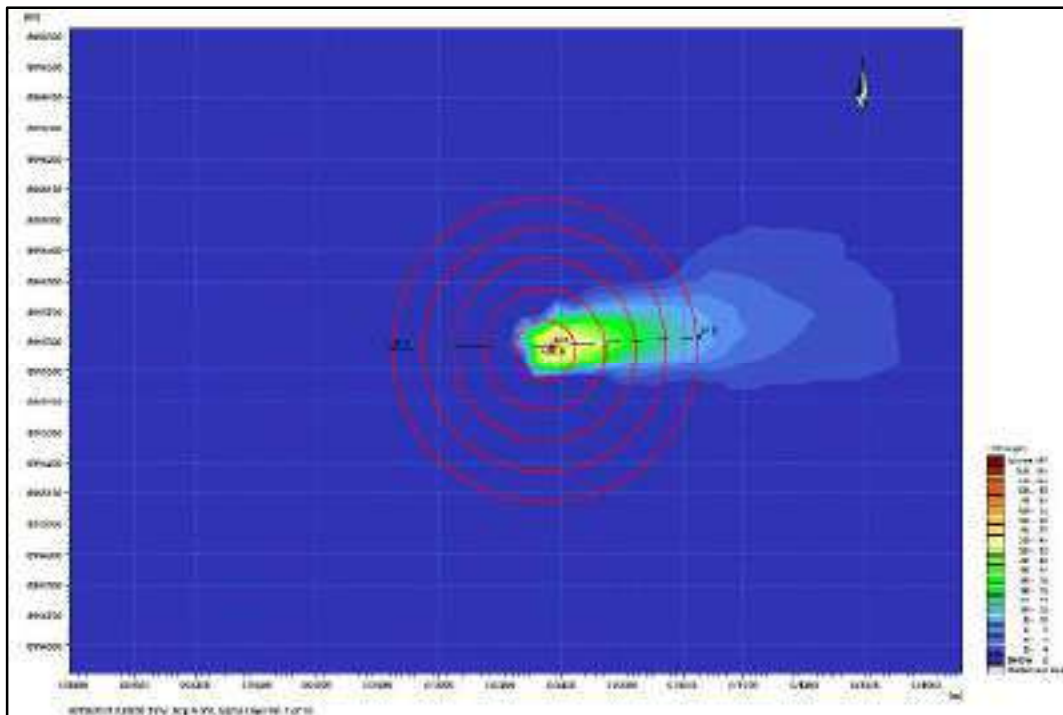


(Section 1) Sebaran horizontal

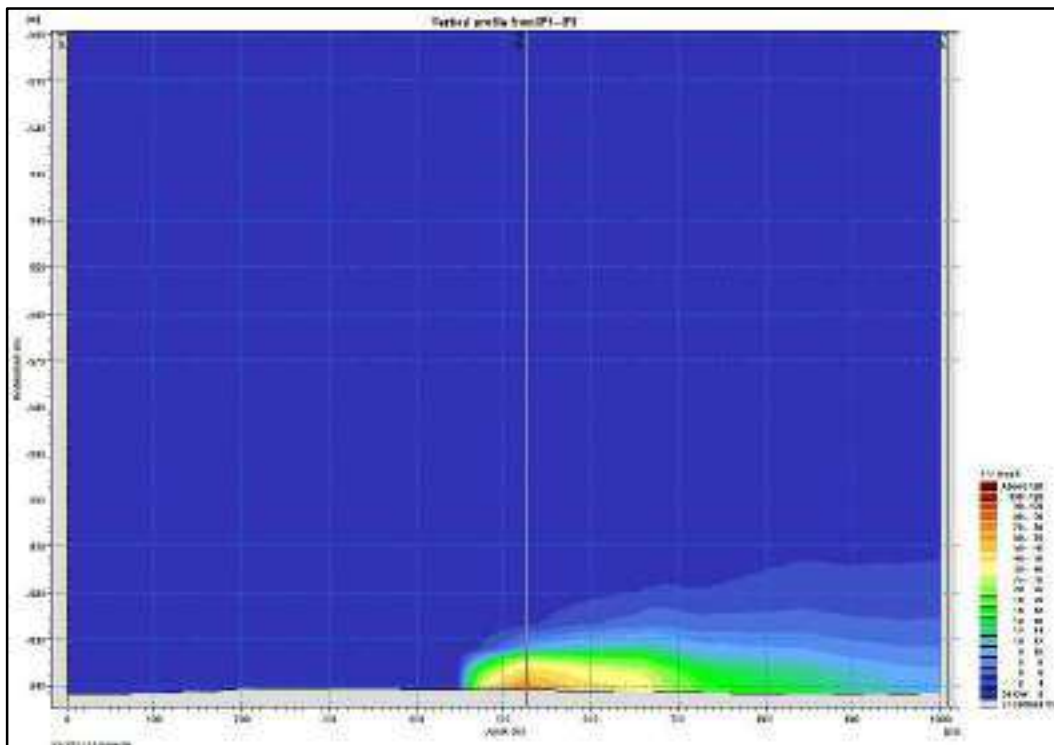


(Section 1) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-4. Lanjutan

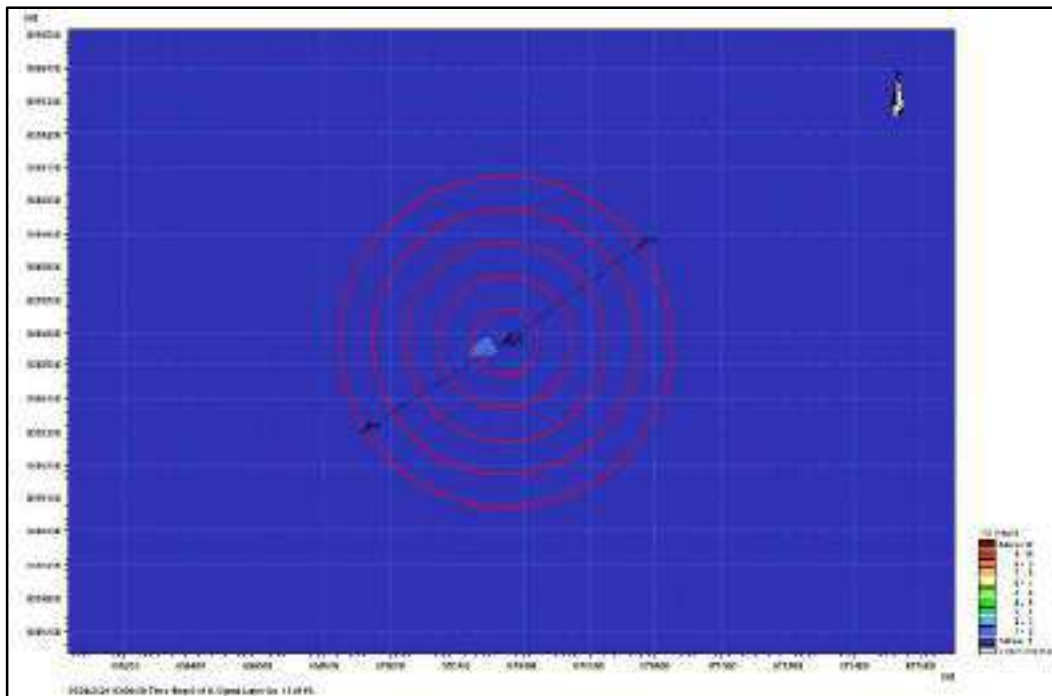


(Section 2) Sebaran horizontal

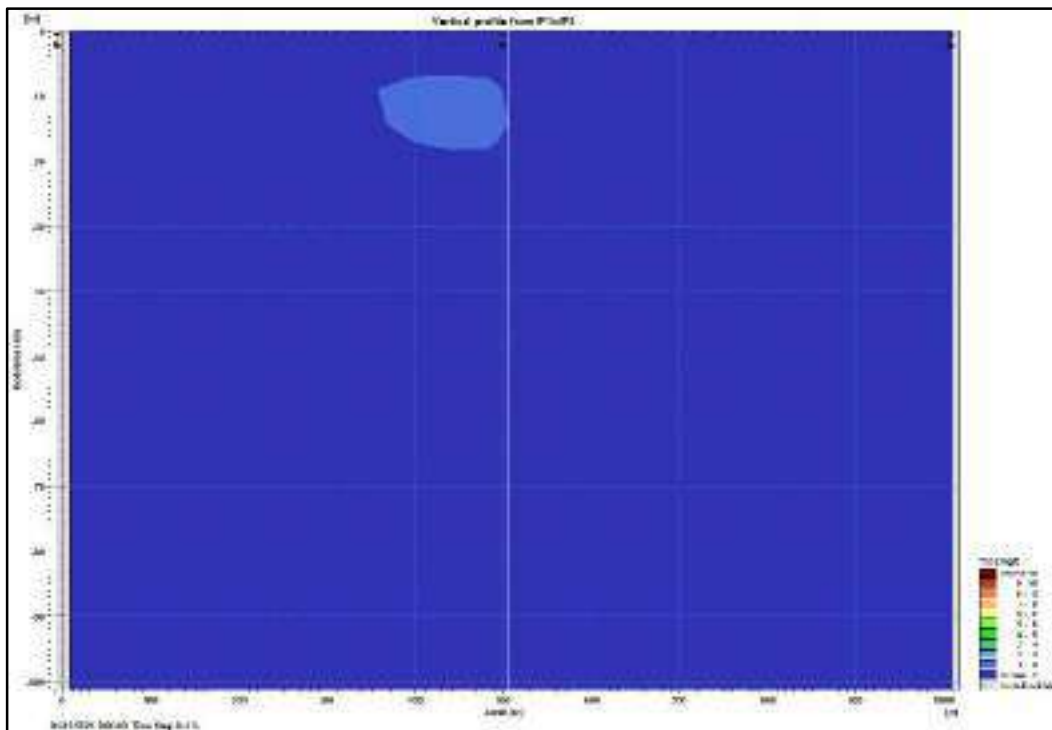


(Section 2) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-4. Lanjutan

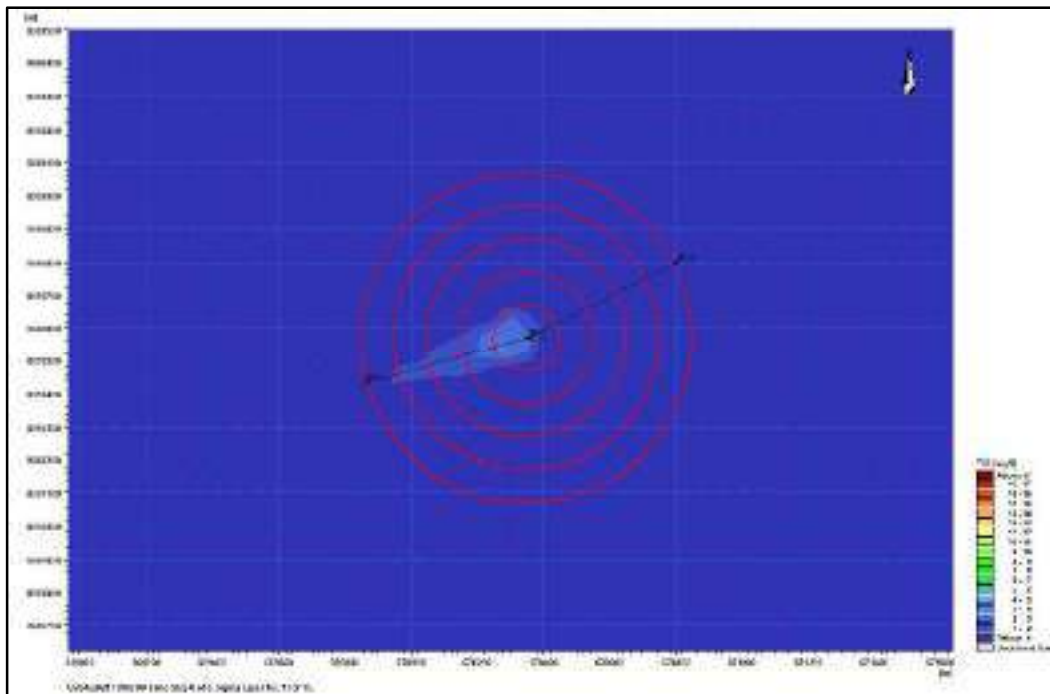


(Section 3) Sebaran horizontal

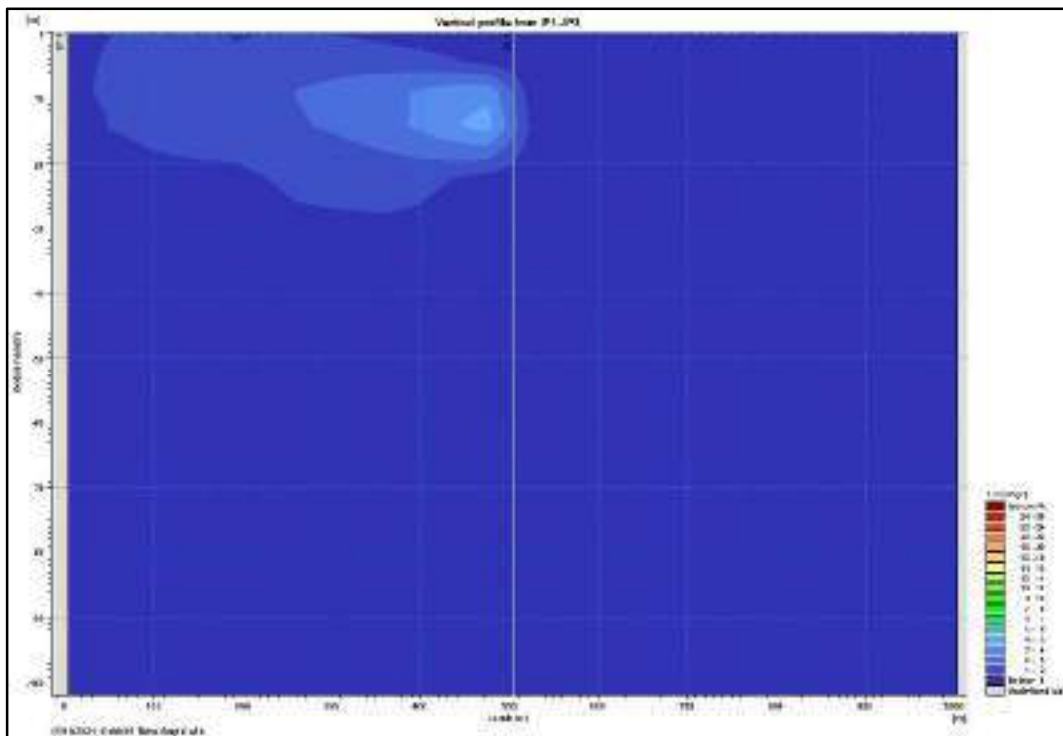


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran D-4. Lanjutan



(Section 5) Sebaran horizontal

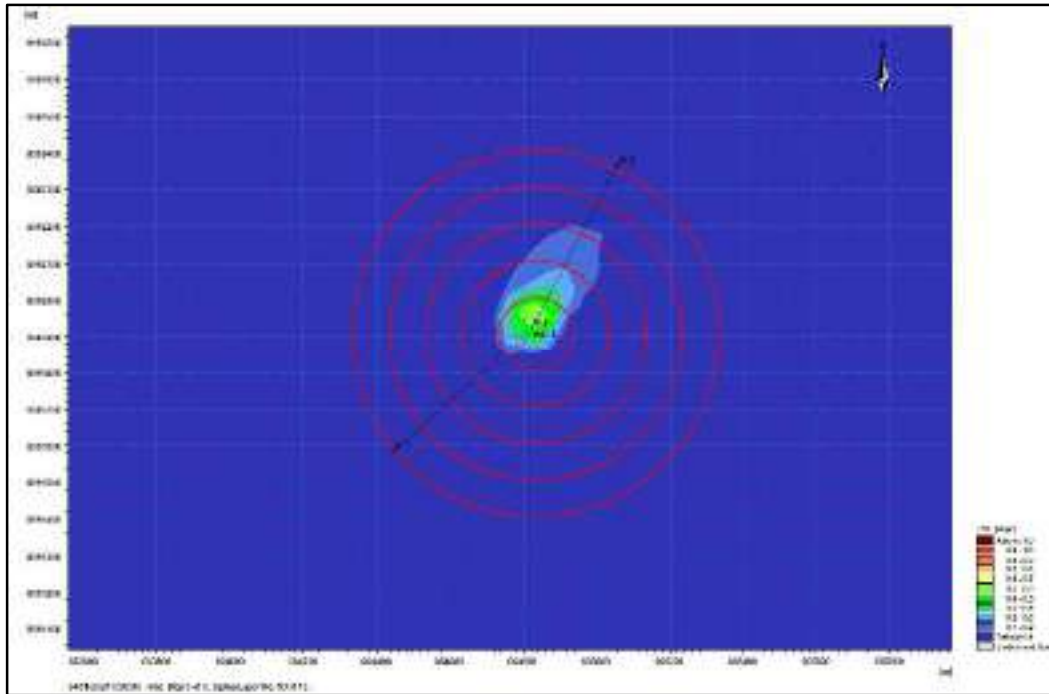


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

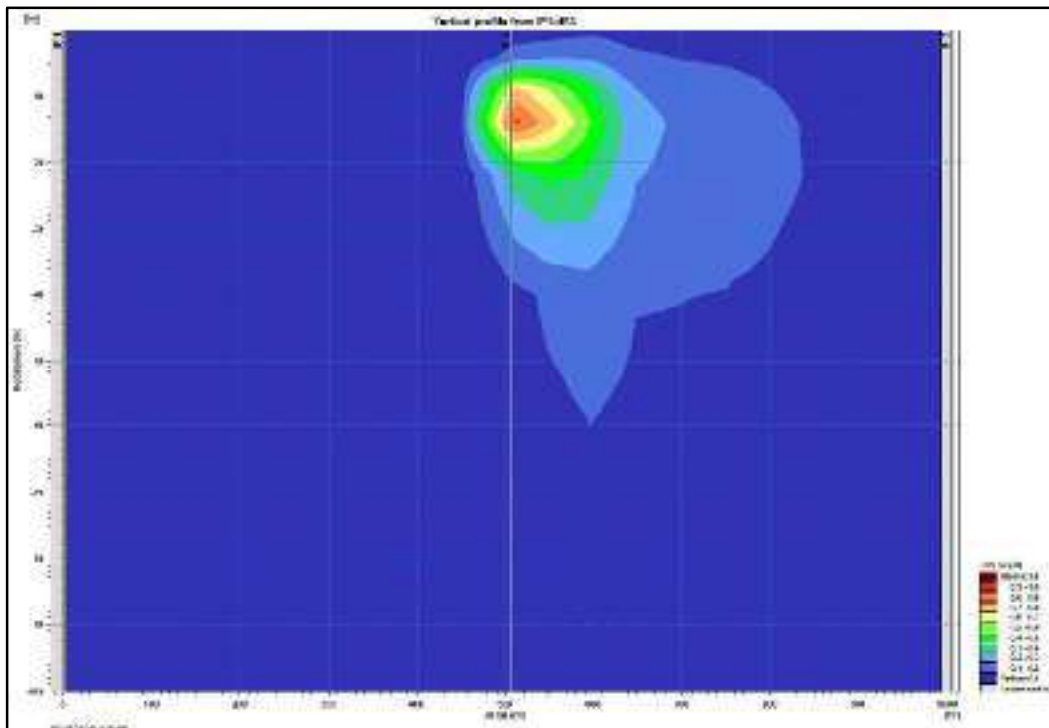
LAMPIRAN E

Lampiran E Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping serbuk bor (*cutting*) di sumur DC-1

Lampiran E-1. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping serbuk bor di sumur DC-1 saat Musim Barat

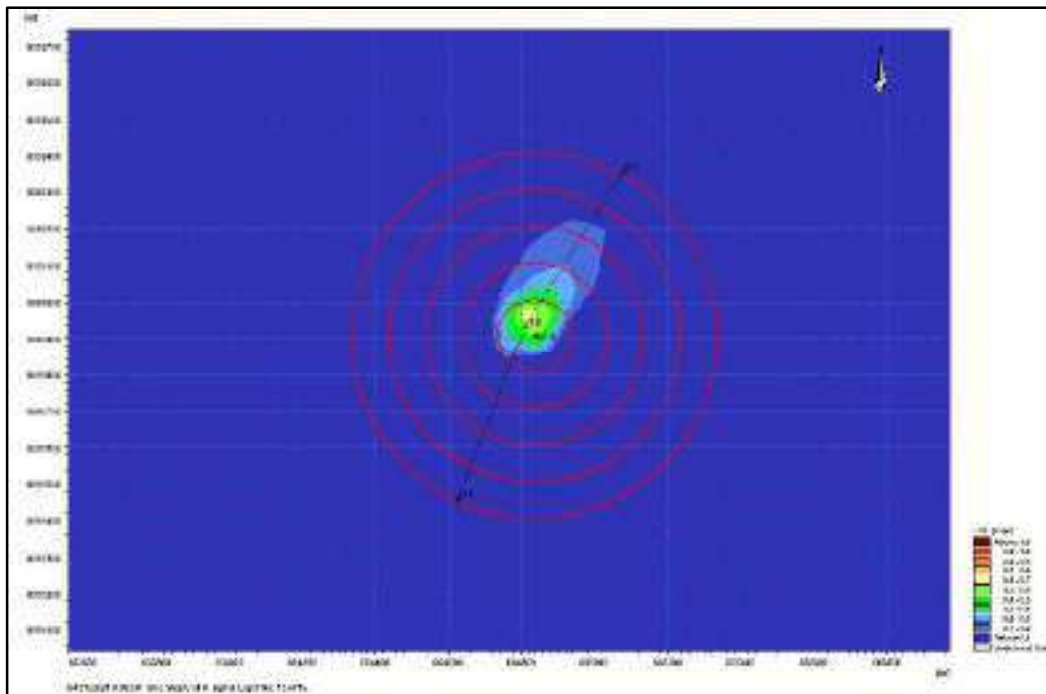


(Section 3) Sebaran horizontal

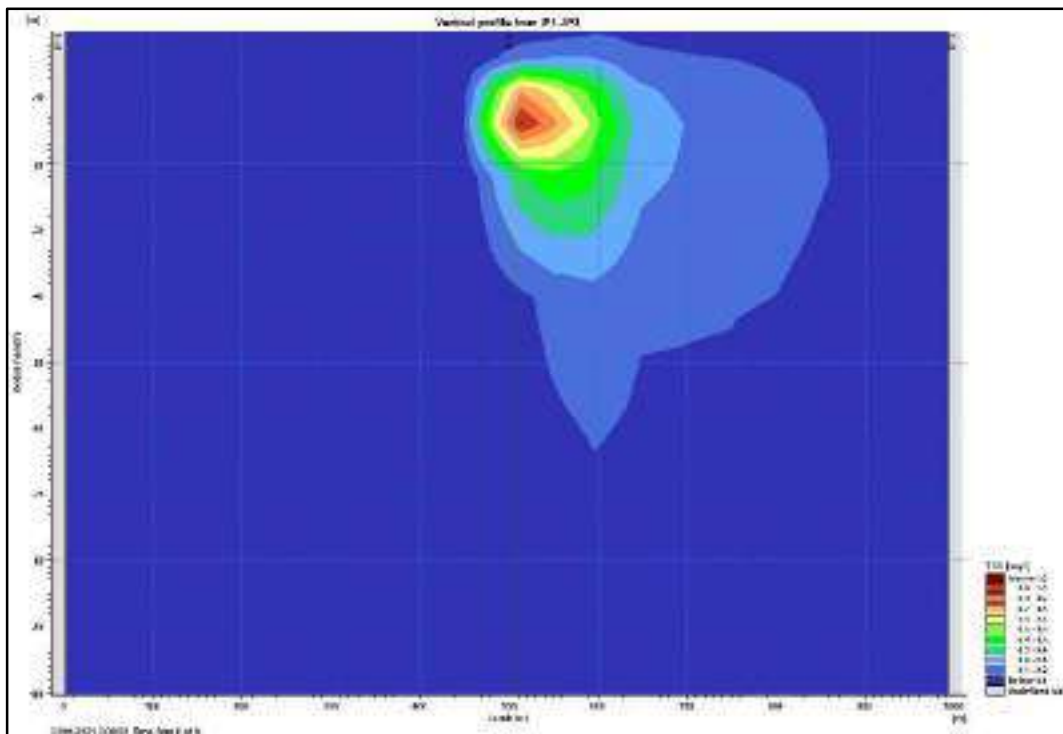


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran E-1. Lanjutan

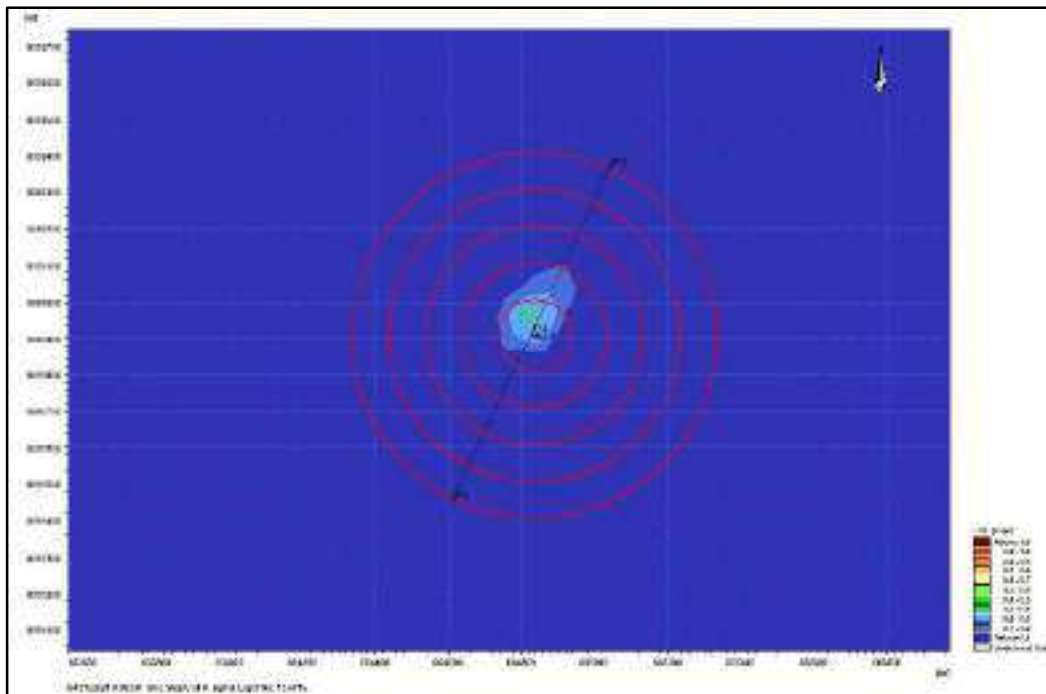


(Section 4) Sebaran horizontal

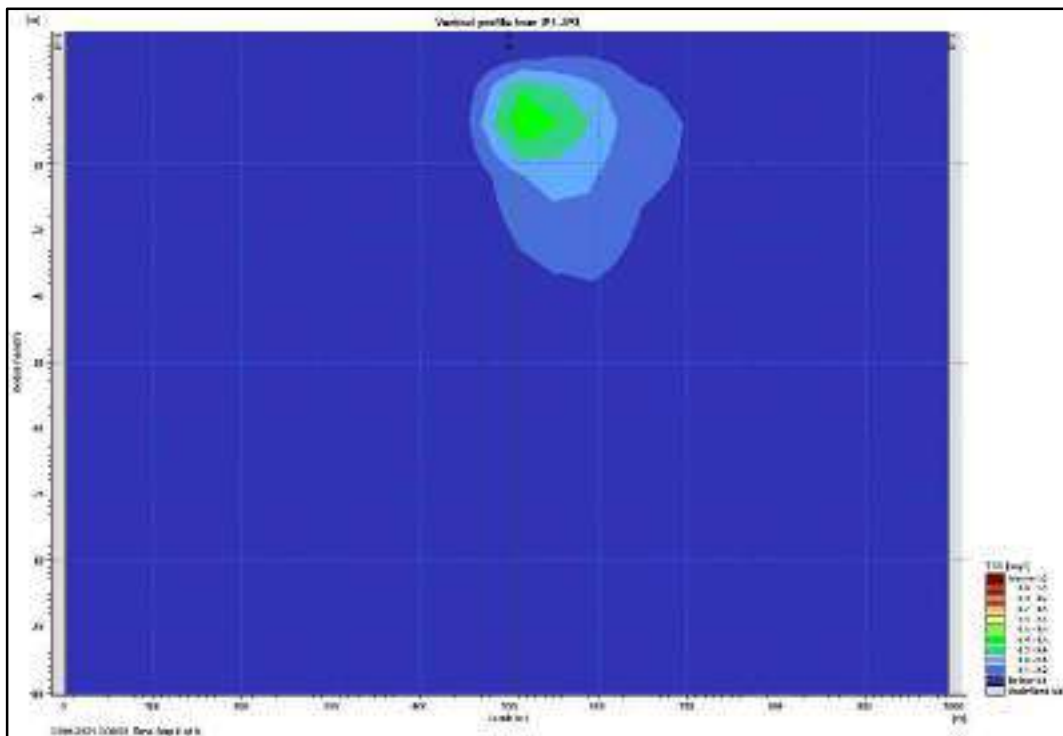


(Section 4) Sebaran melintang/cross section

Lampiran E-1. Lanjutan

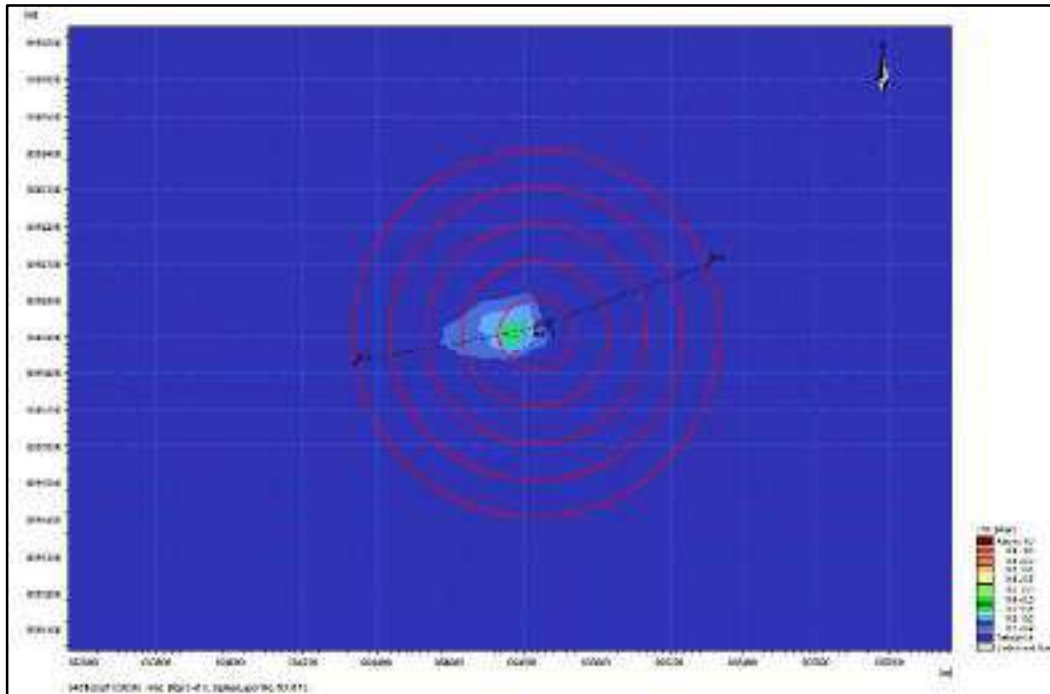


(Section 5) Sebaran horizontal

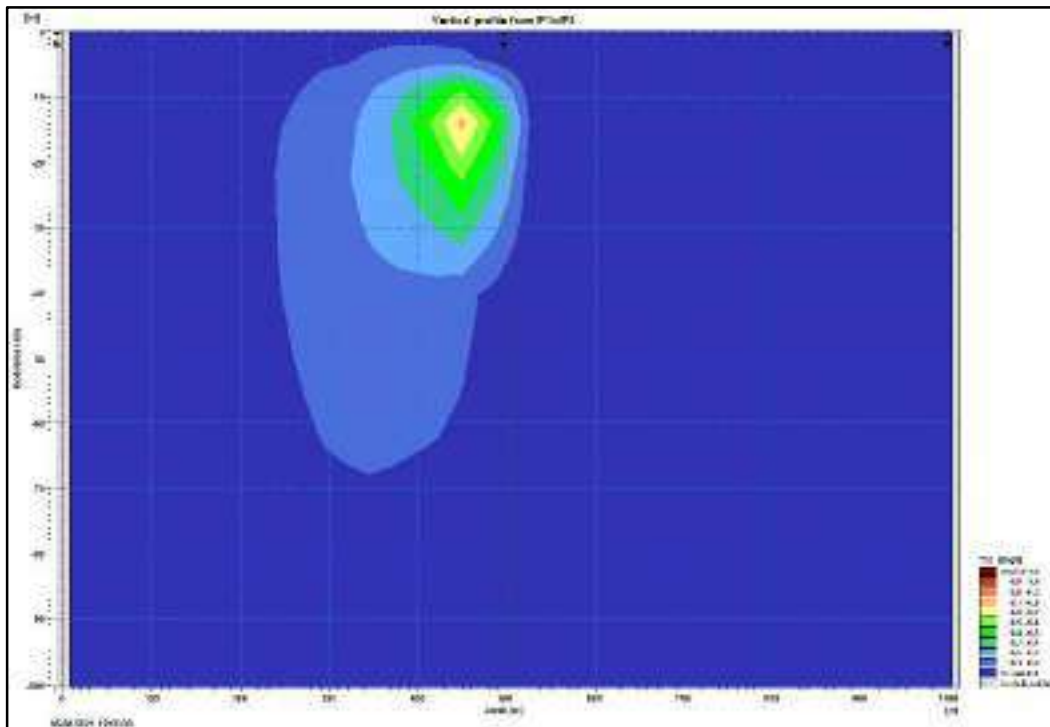


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran E-2. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping serbuk bor di sumur DC-1 saat Musim Peralihan I

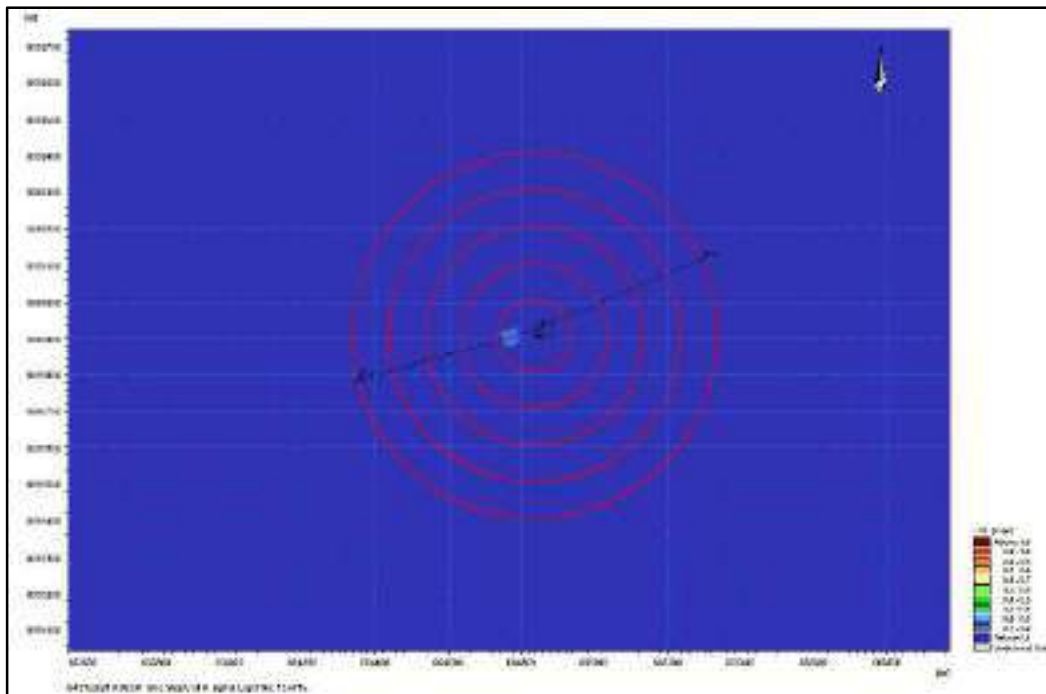


(Section 3) Sebaran horizontal

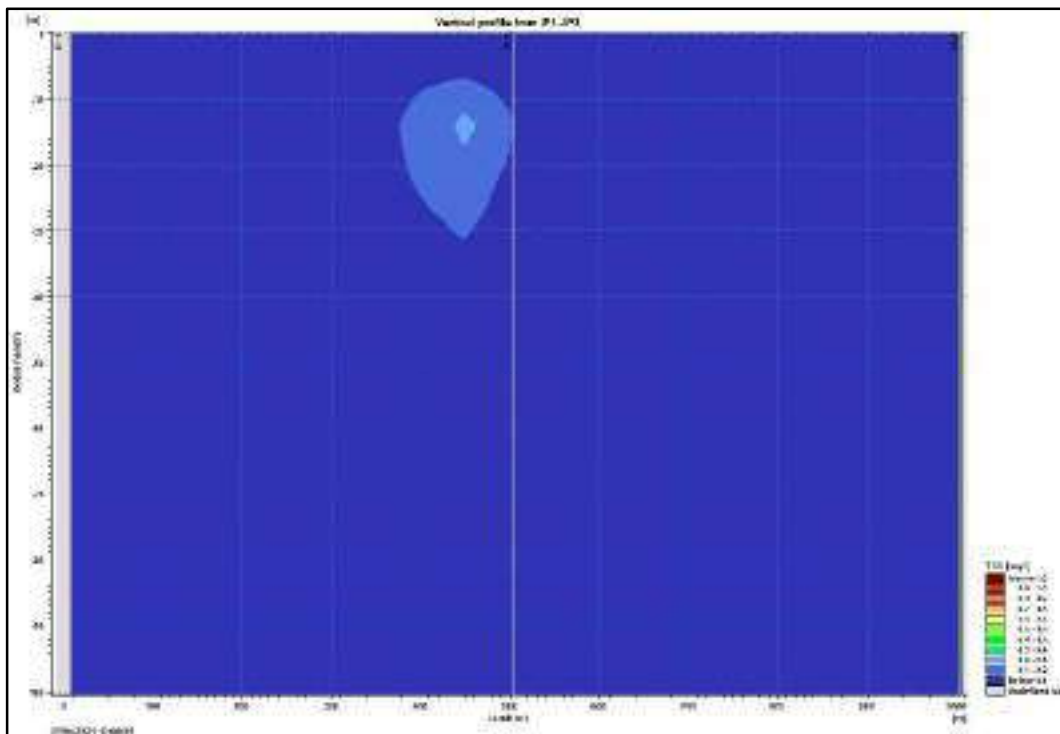


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran E-2. Lanjutan

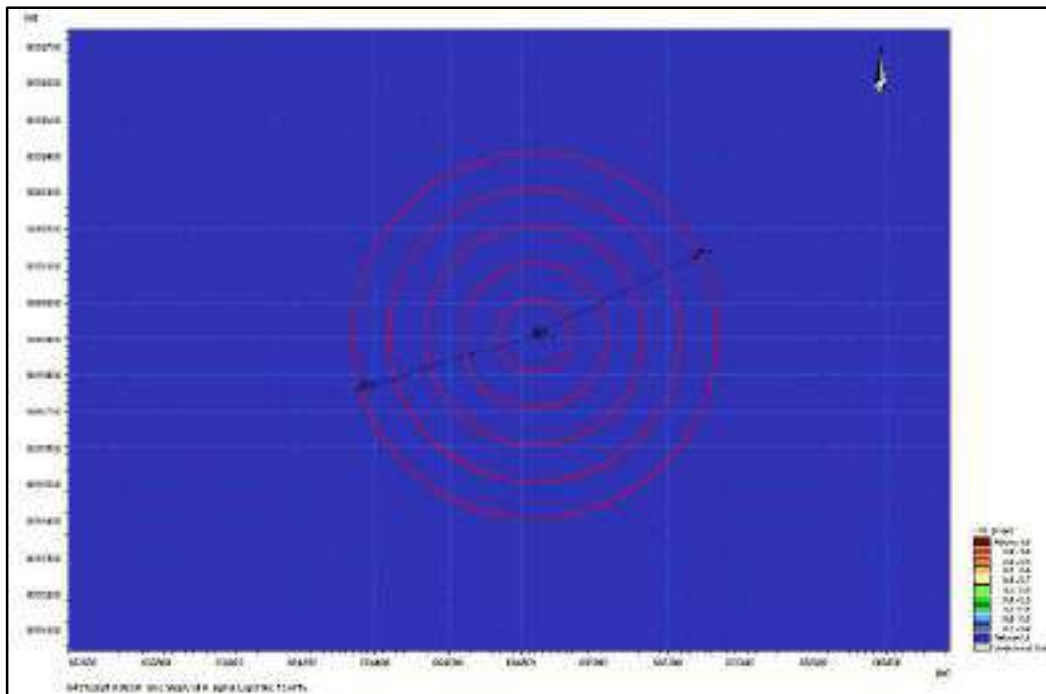


(Section 4) Sebaran horizontal

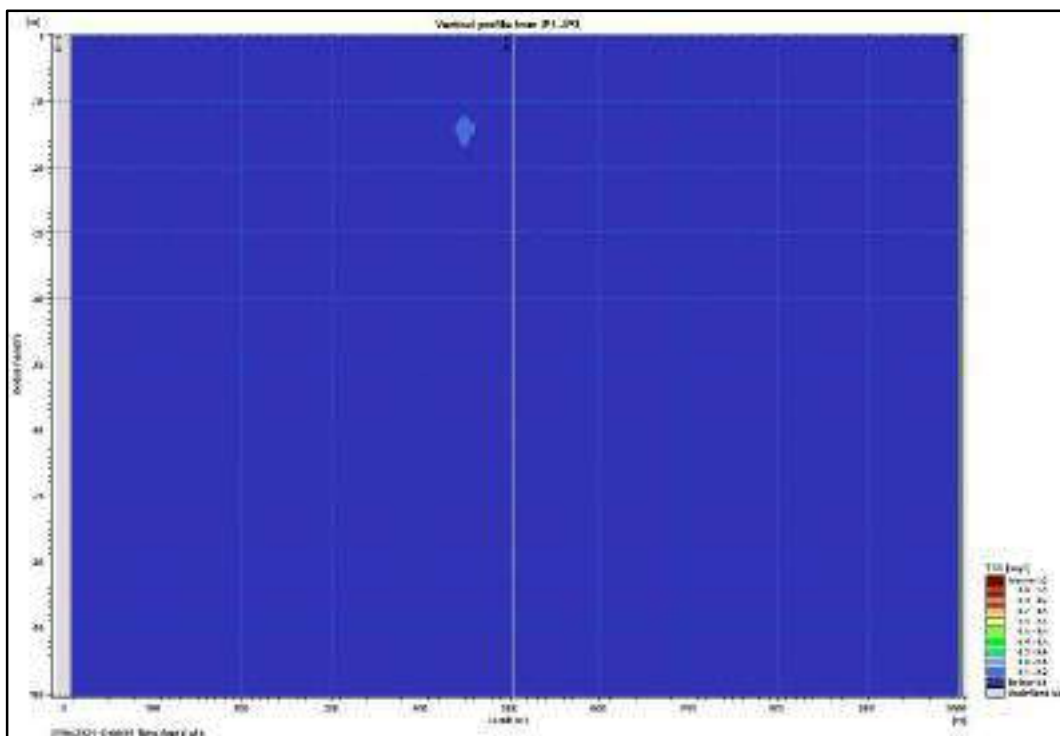


(Section 4) Sebaran melintang/cross section

Lampiran E-2. Lanjutan

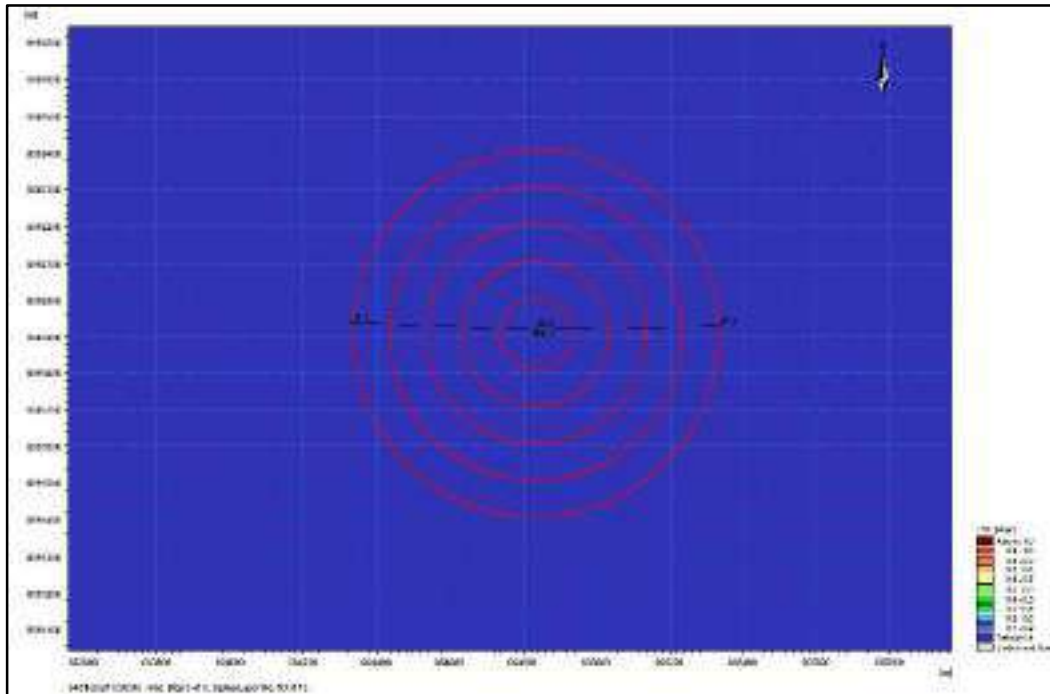


(Section 5) Sebaran horizontal

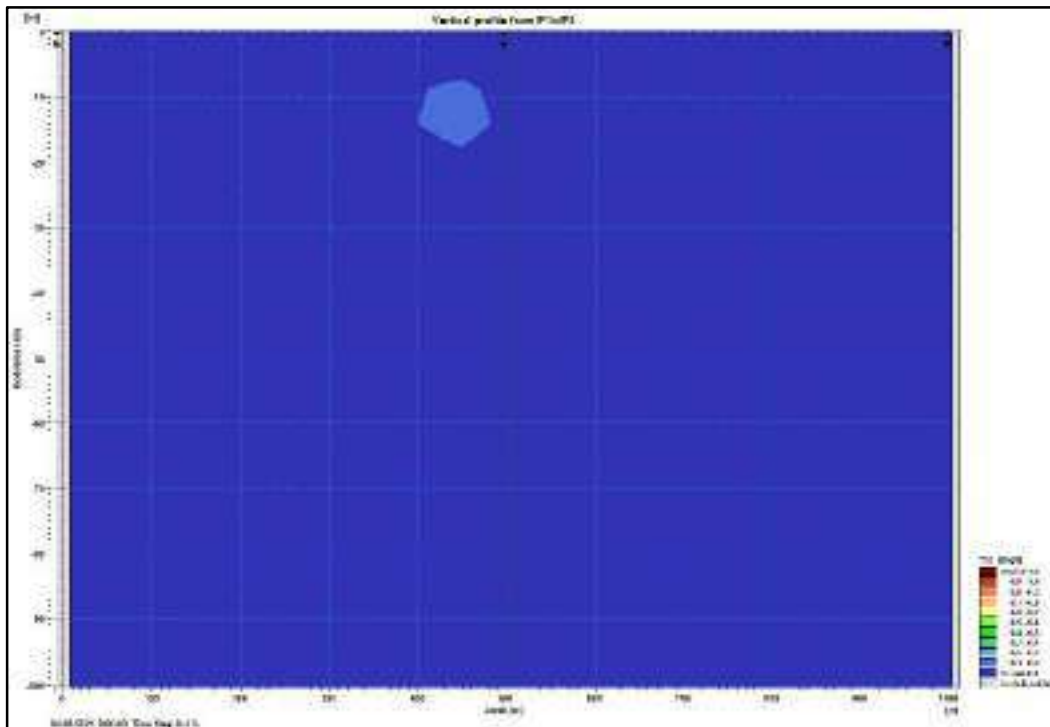


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran E-3. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping serbuk bor di sumur DC-1 saat Musim Timur

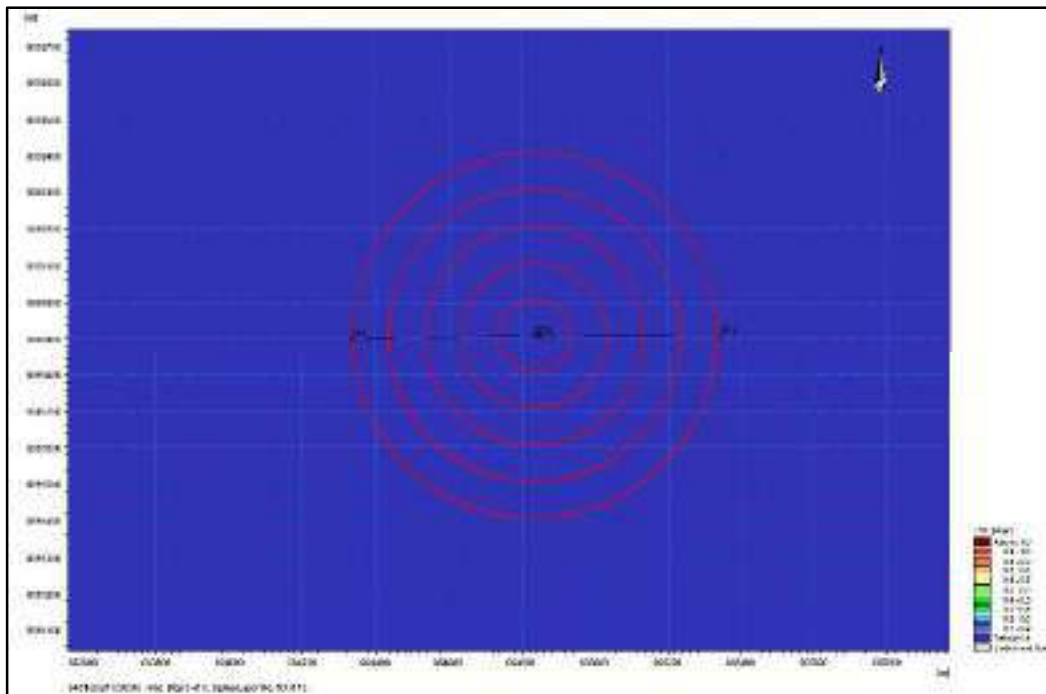


(Section 3) Sebaran horizontal

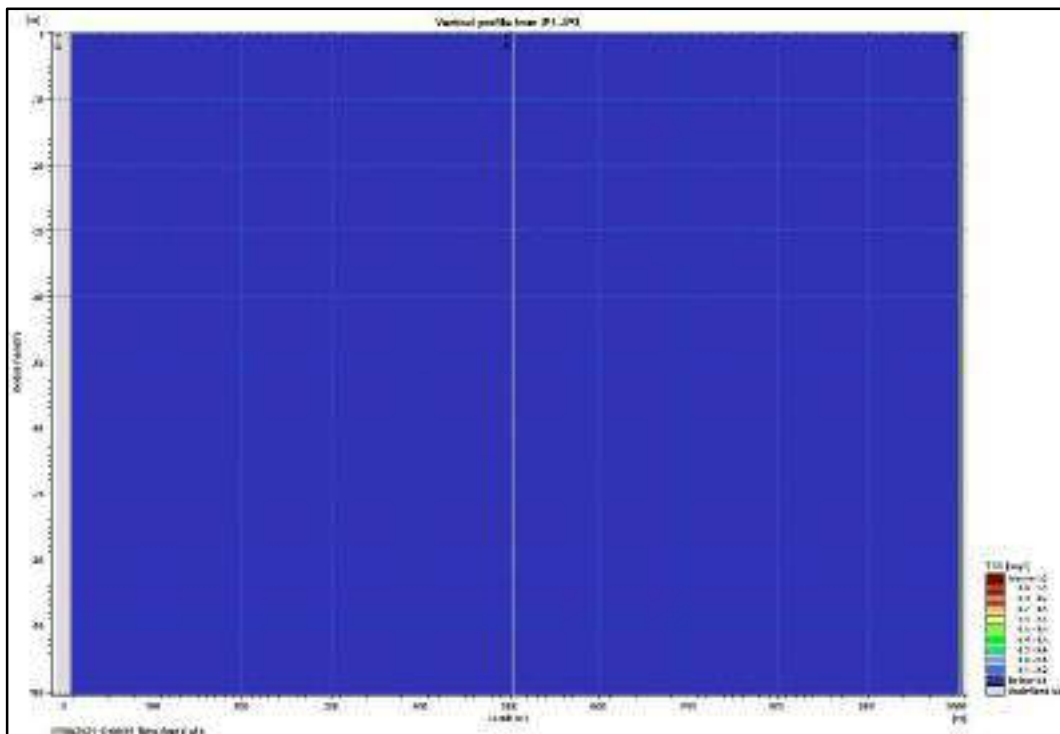


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran E-3. Lanjutan

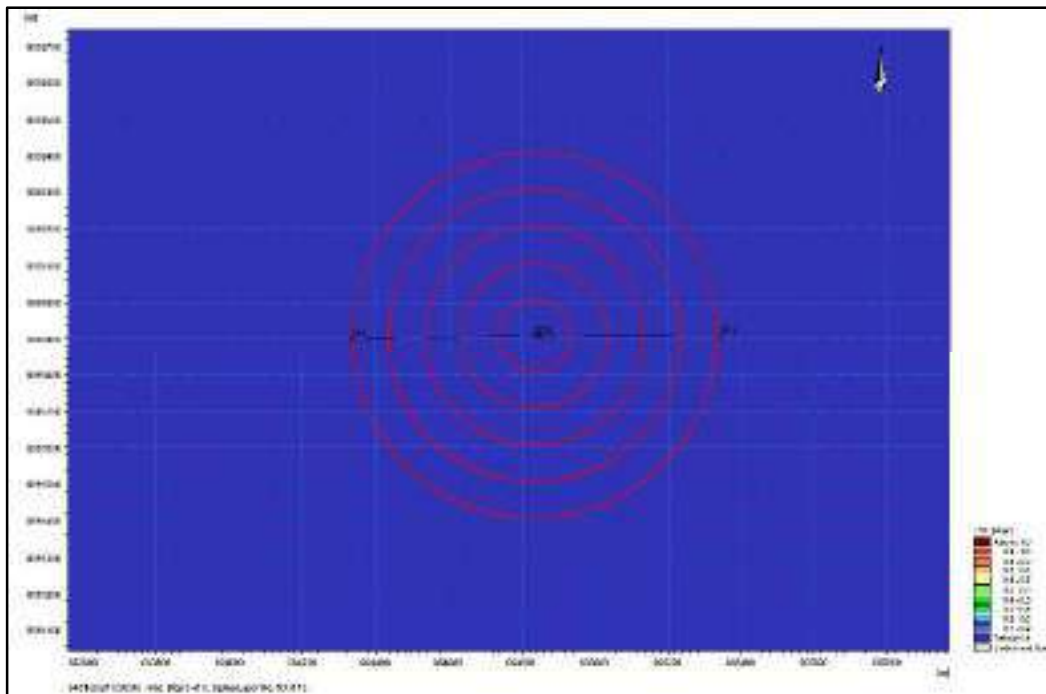


(Section 4) Sebaran horizontal

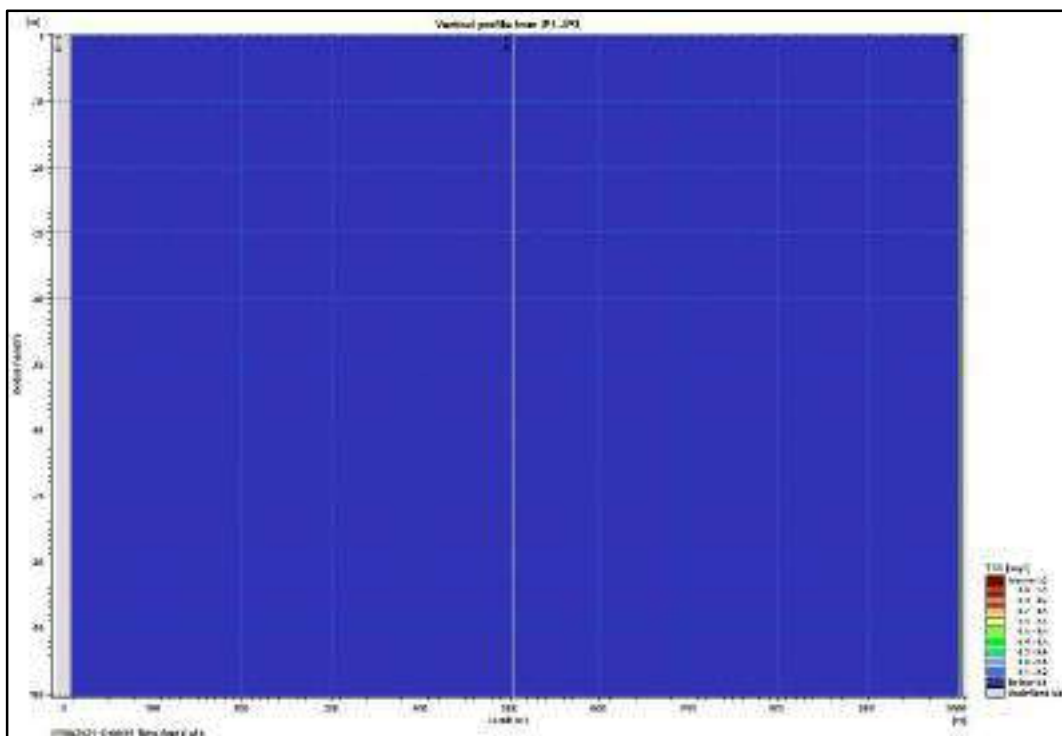


(Section 4) Sebaran melintang/cross section

Lampiran E-3. Lanjutan



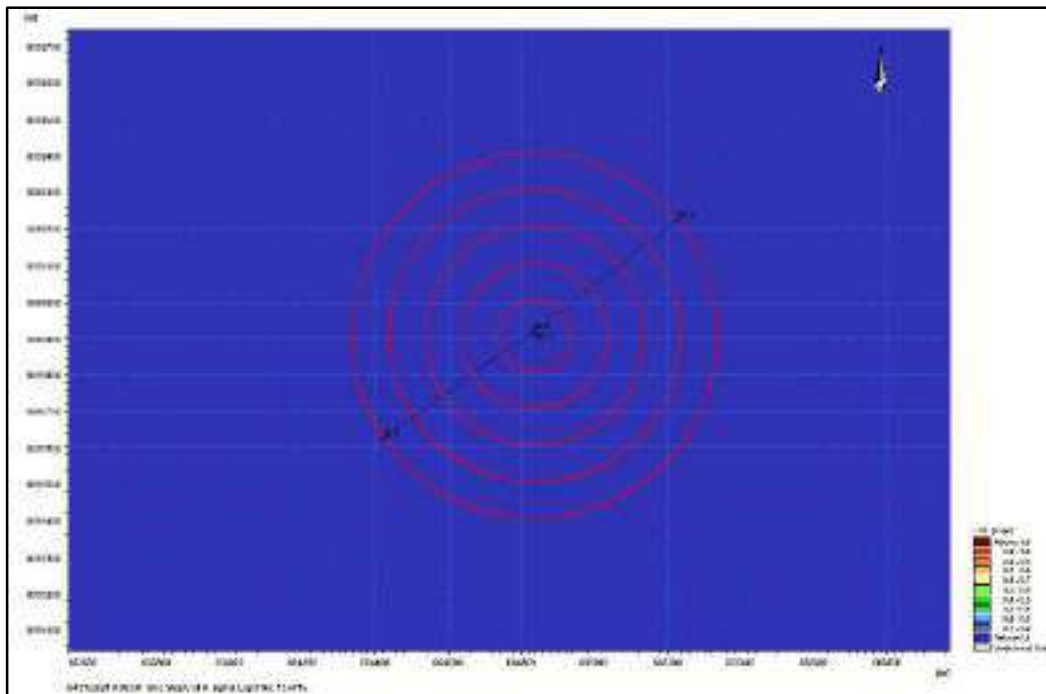
(Section 5) Sebaran horizontal



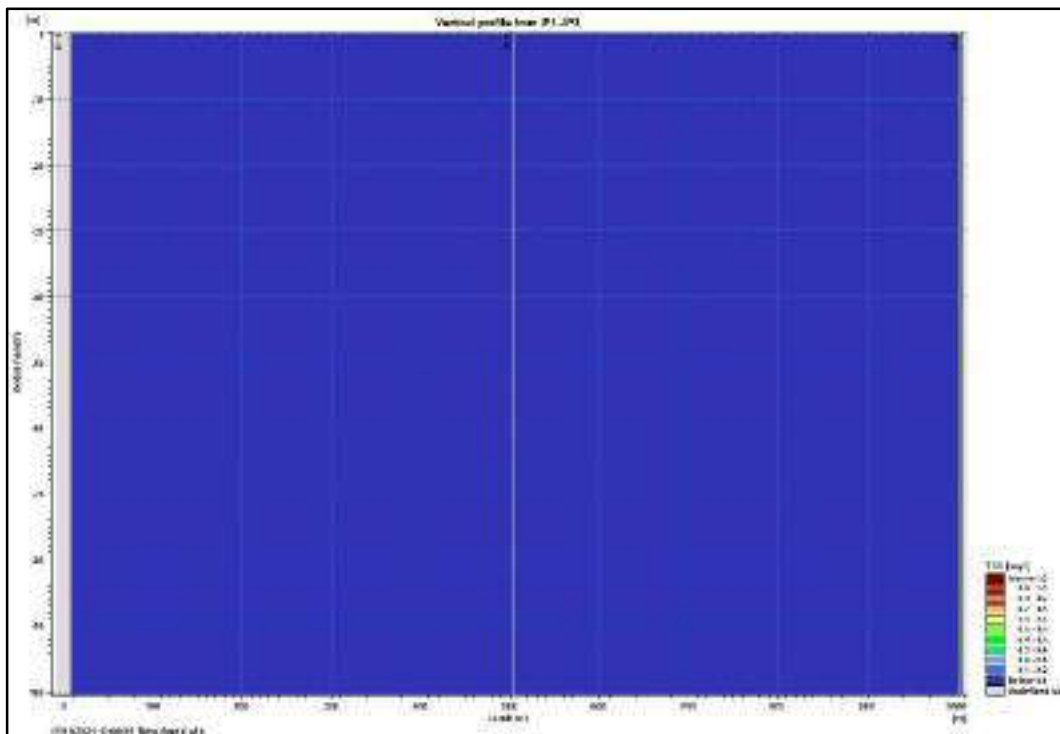
(Section 5) Sebaran melintang/cross section

122

Lampiran E-4. Lanjutan

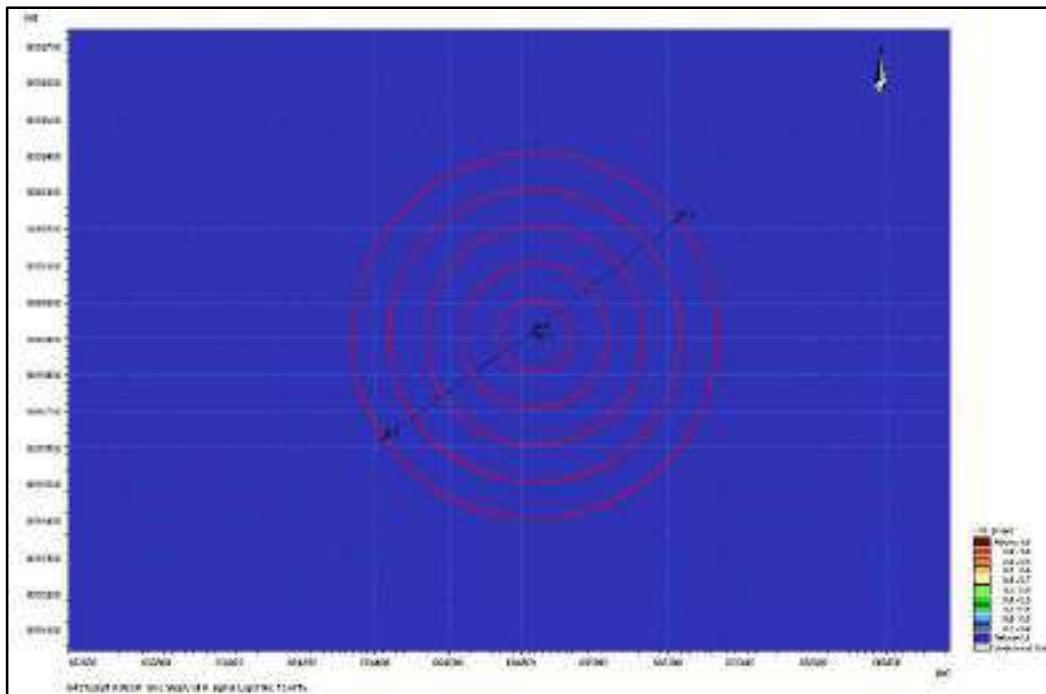


(Section 4) Sebaran horizontal

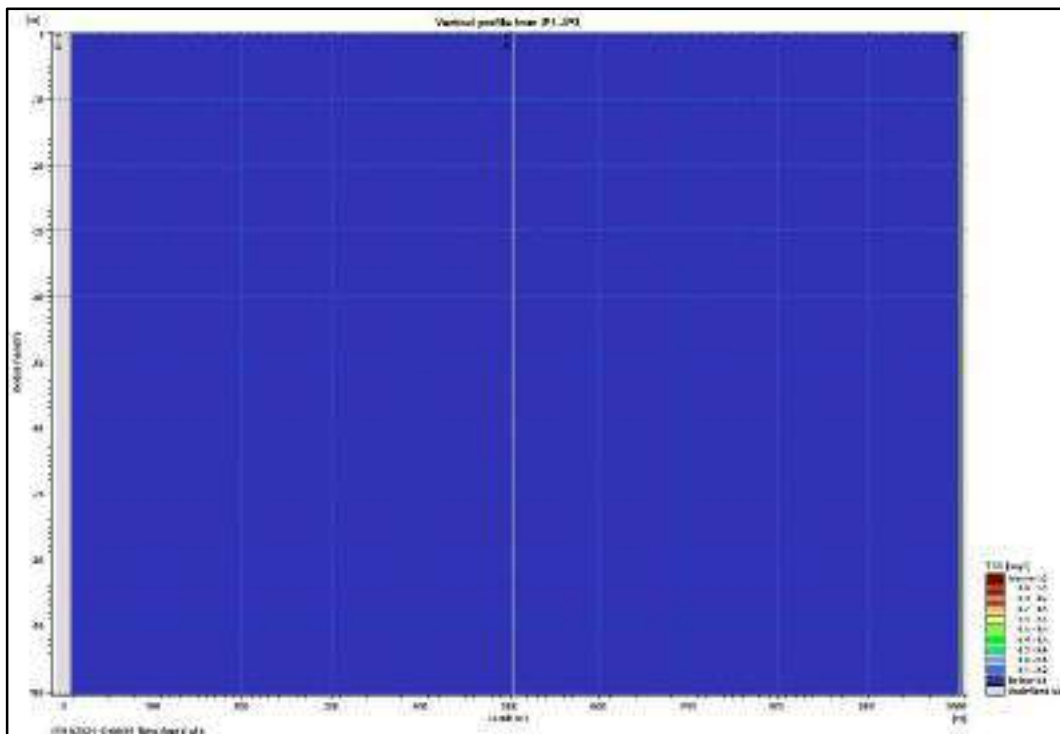


(Section 4) Sebaran melintang/cross section

Lampiran E-4. Lanjutan



(Section 5) Sebaran horizontal

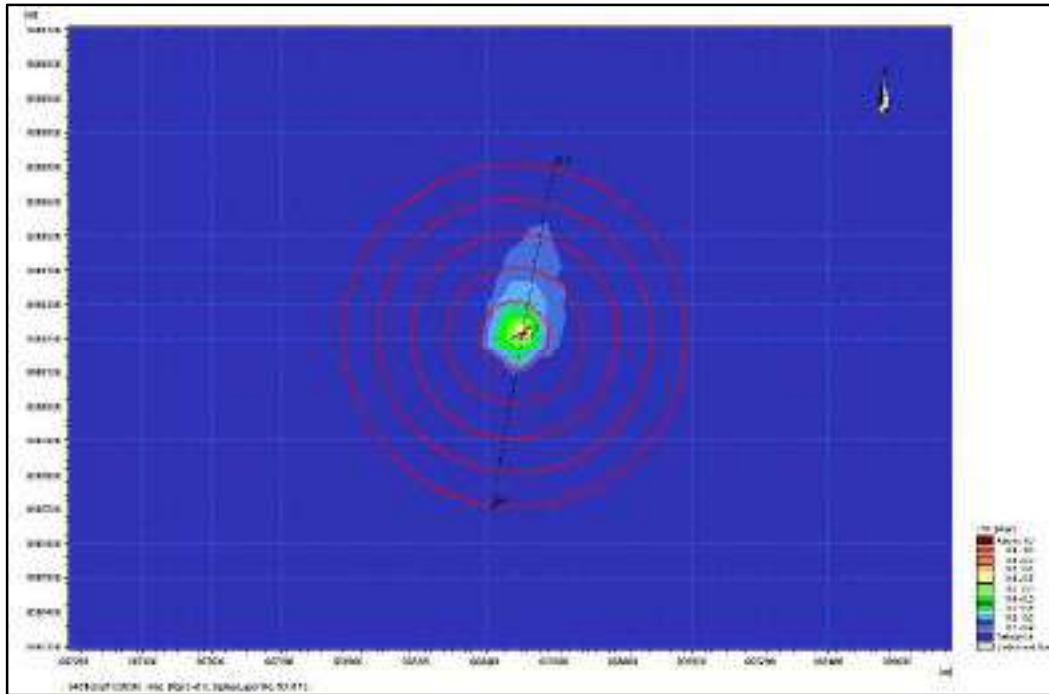


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

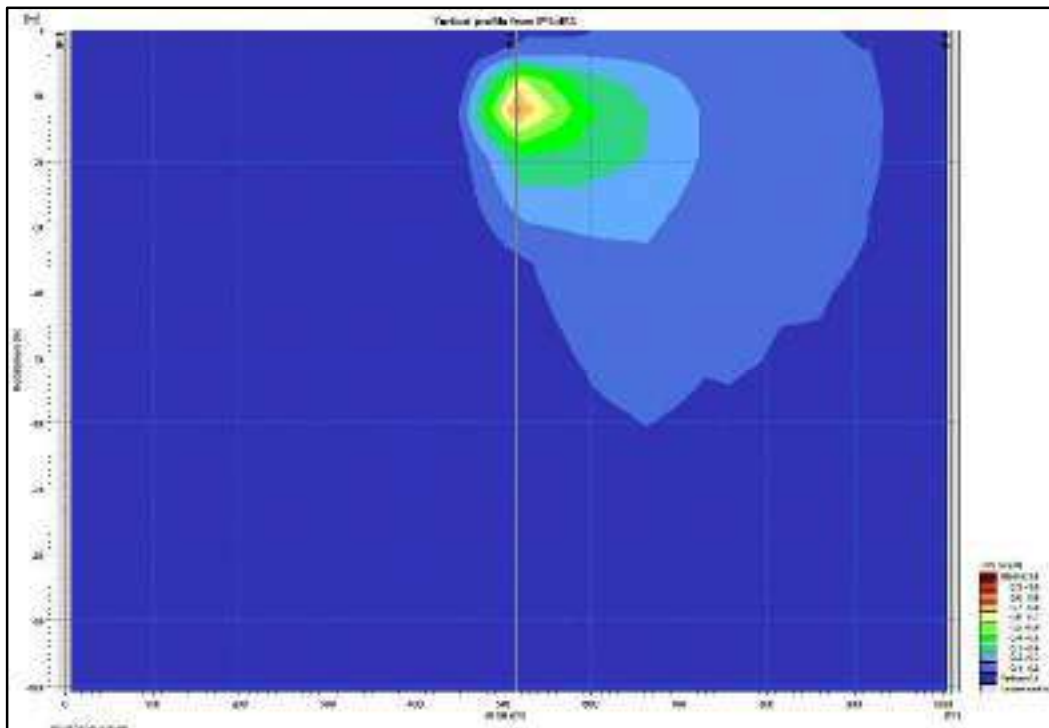
LAMPIRAN F

Lampiran F Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping serbuk bor (*cutting*) di sumur DC-2

Lampiran F-1. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping serbuk bor di sumur DC-2 saat Musim Barat

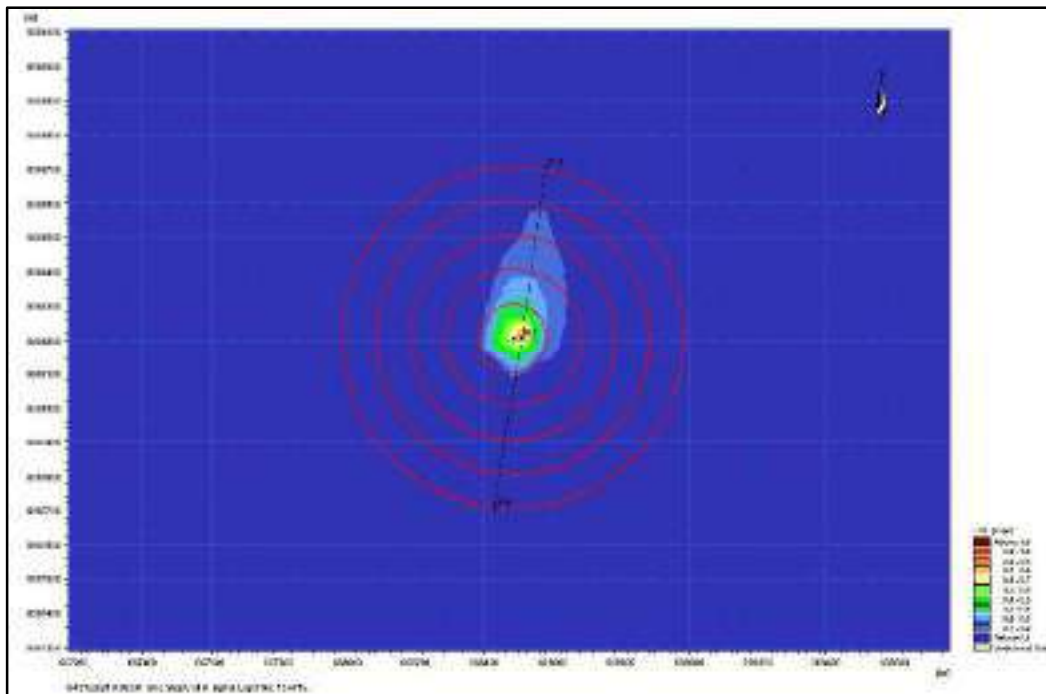


(Section 3) Sebaran horizontal

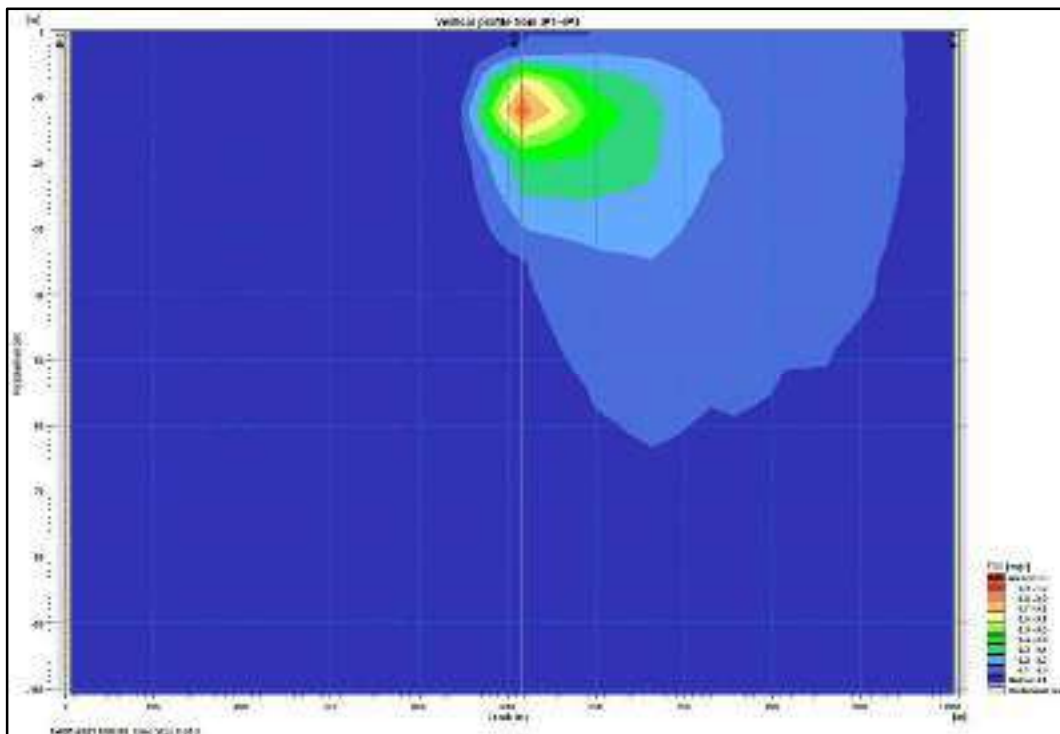


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran F-1. Lanjutan

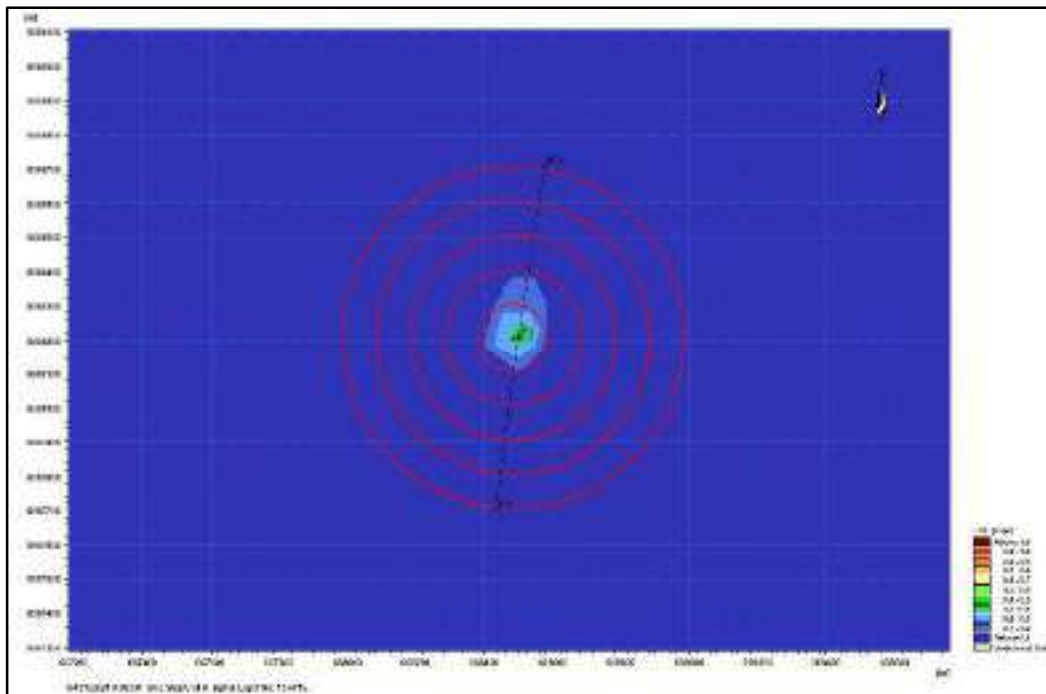


(Section 4) Sebaran horizontal

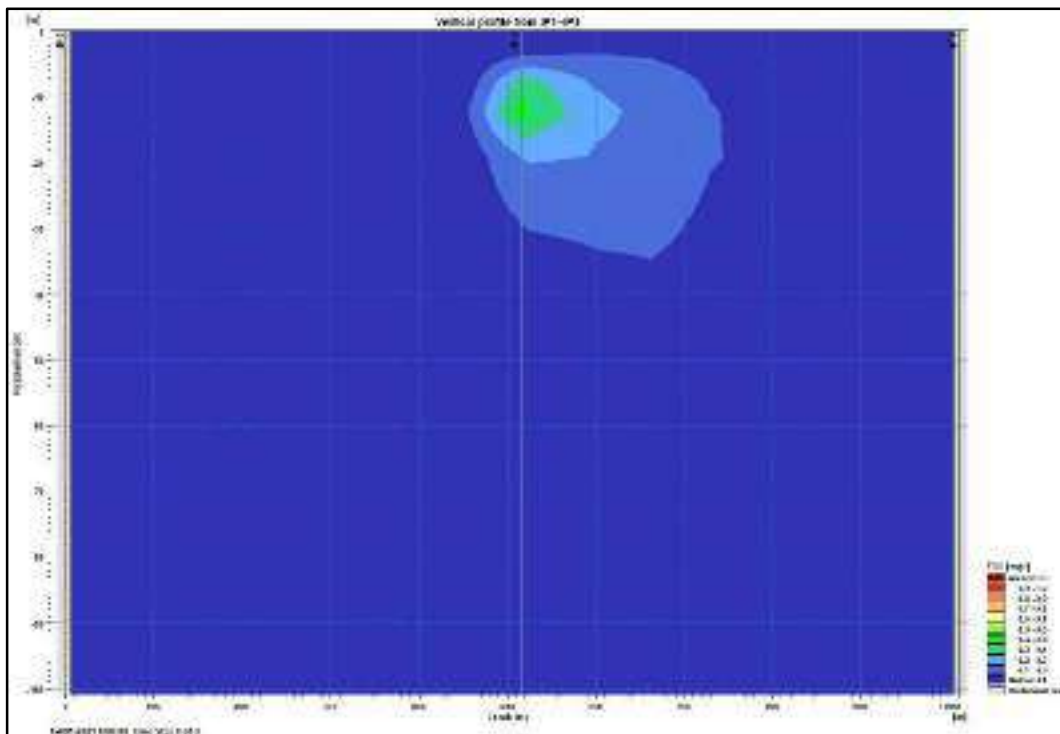


(Section 4) Sebaran melintang/cross section

Lampiran F-1. Lanjutan

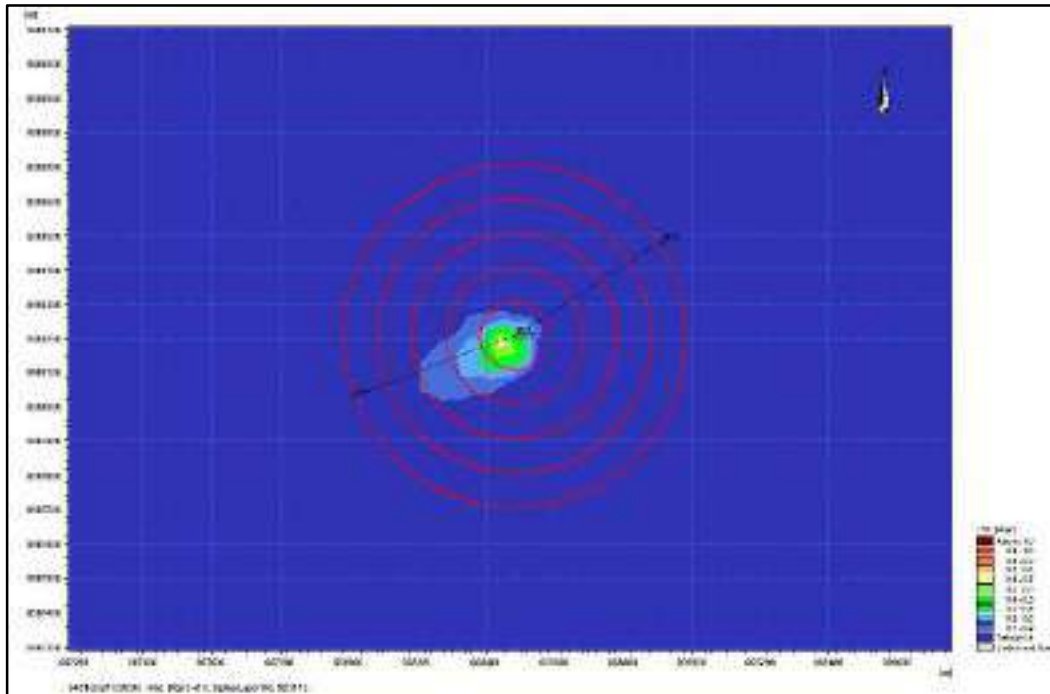


(Section 5) Sebaran horizontal

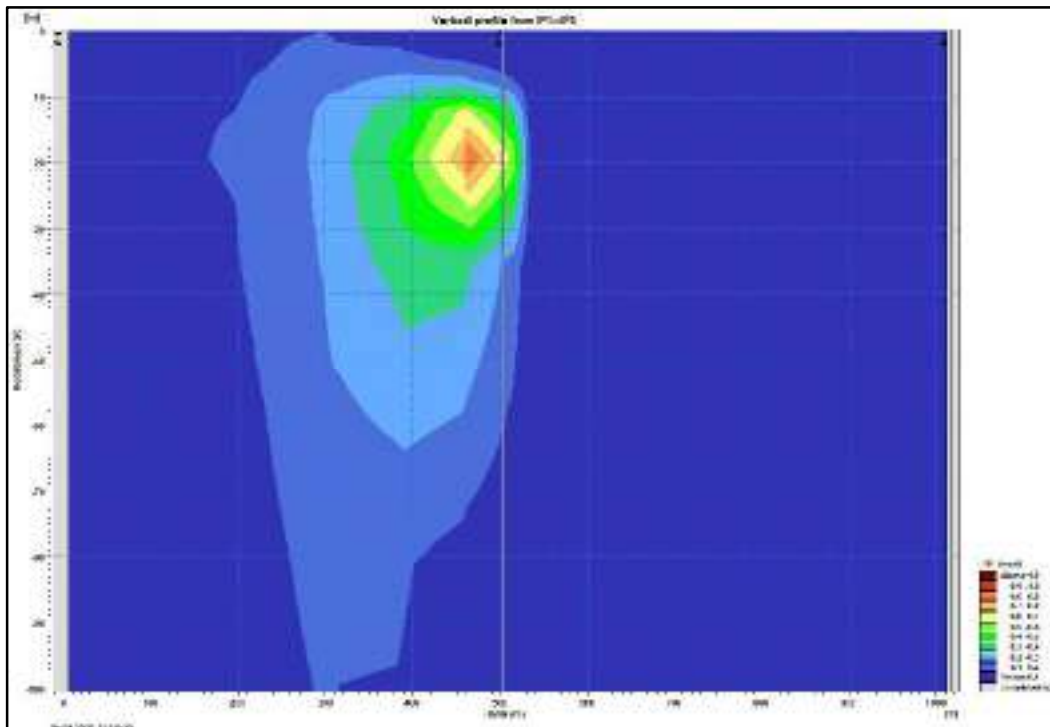


(Section 5) Sebaran melintang/cross section

Lampiran F-2. Sebaran dan konsentrasi TSS maksimum akibat dumping serbuk bor di sumur DC-2 saat Musim Peralihan I

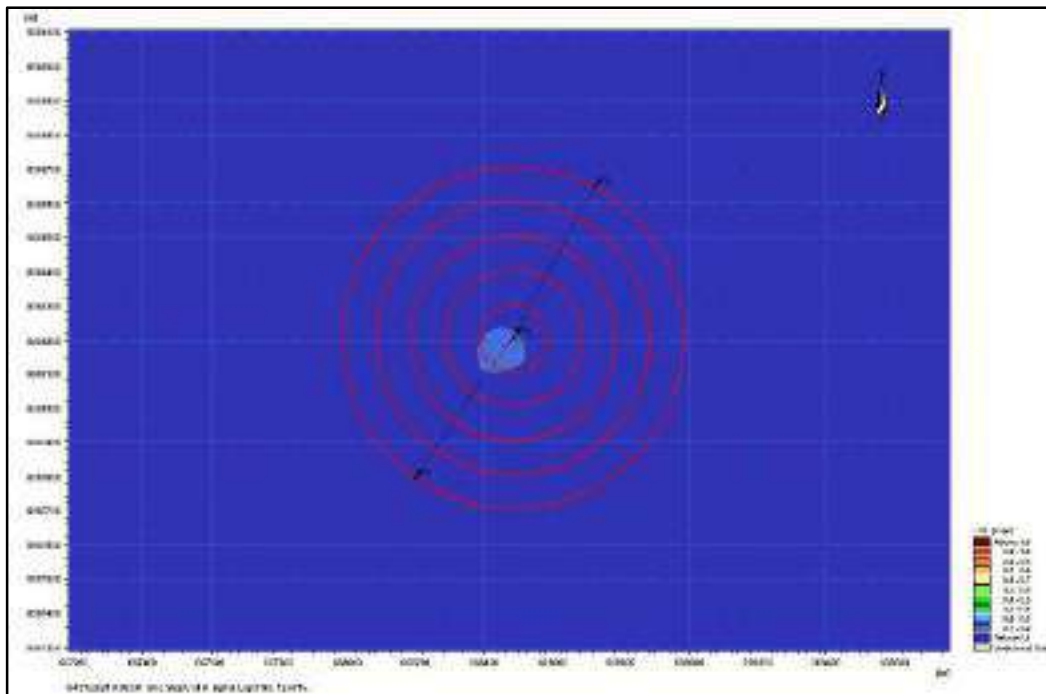


(Section 3) Sebaran horizontal

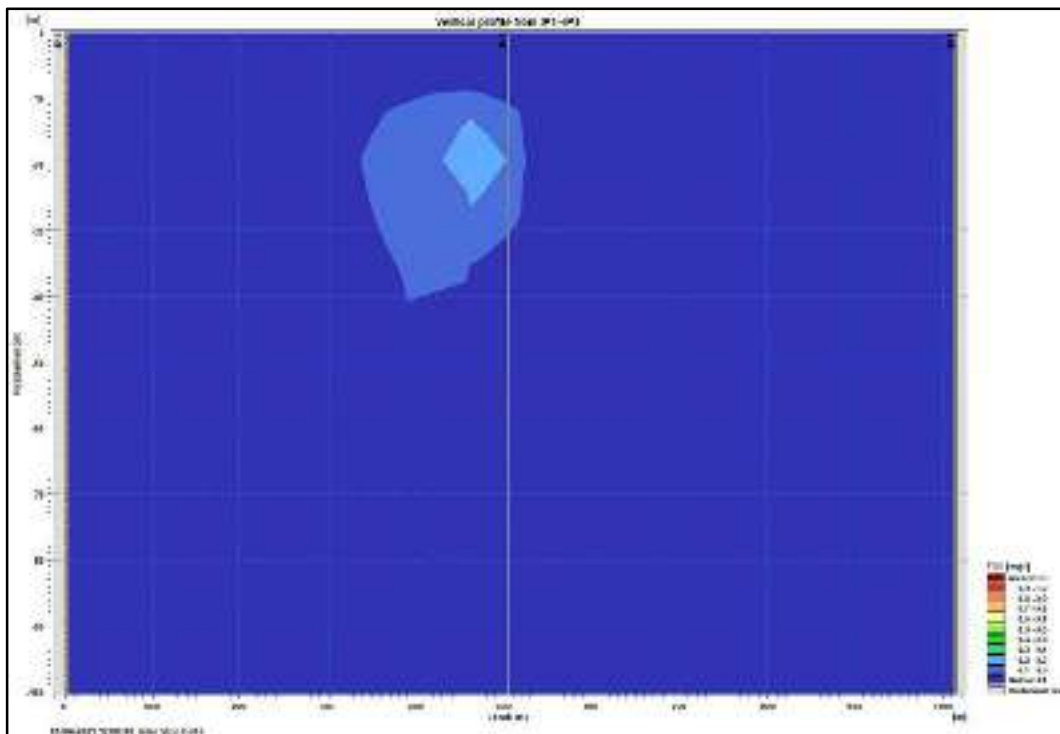


(Section 3) Sebaran melintang/cross section

Lampiran F-2. Lanjutan

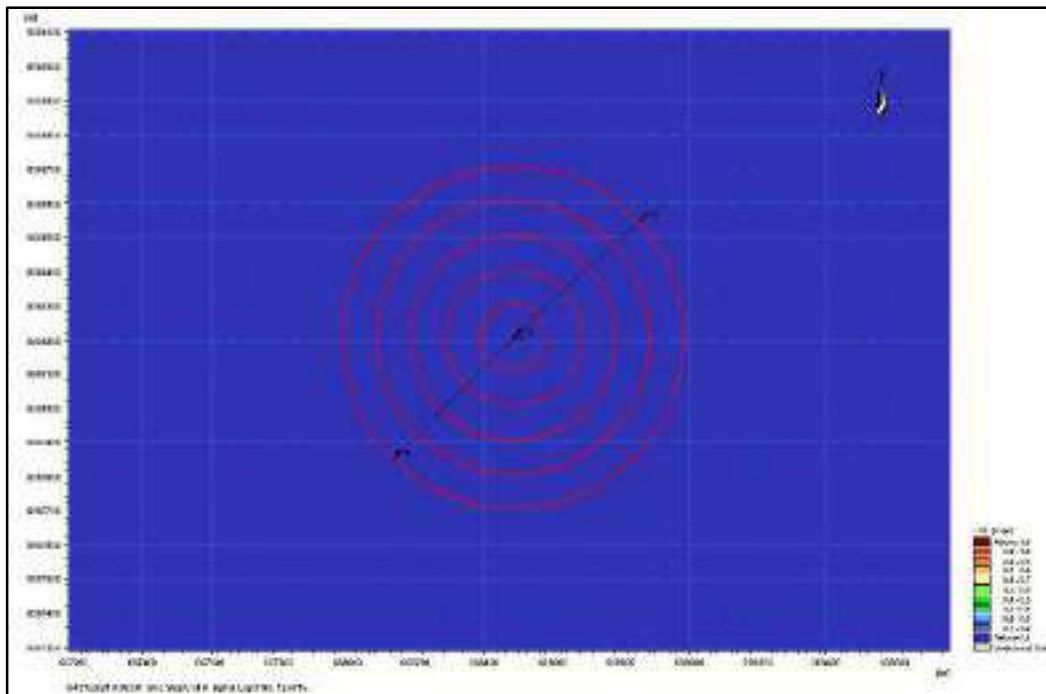


(Section 4) Sebaran horizontal

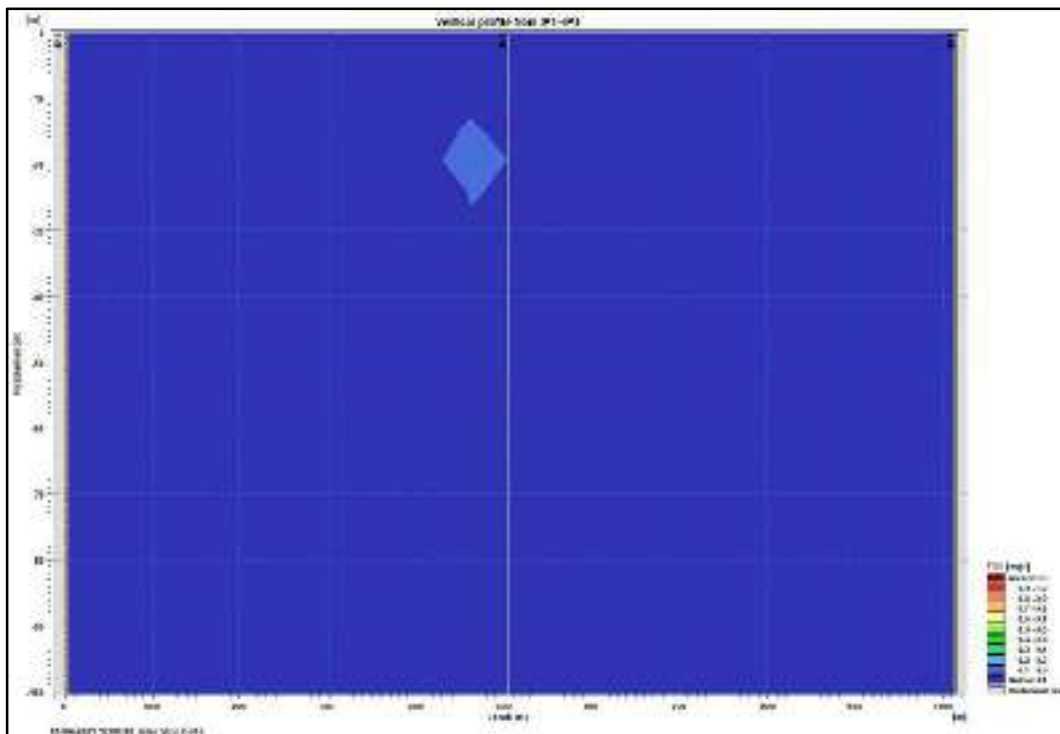


(Section 4) Sebaran melintang/cross section

Lampiran F-2. Lanjutan



(Section 5) Sebaran horizontal



(Section 5) Sebaran melintang/cross section