

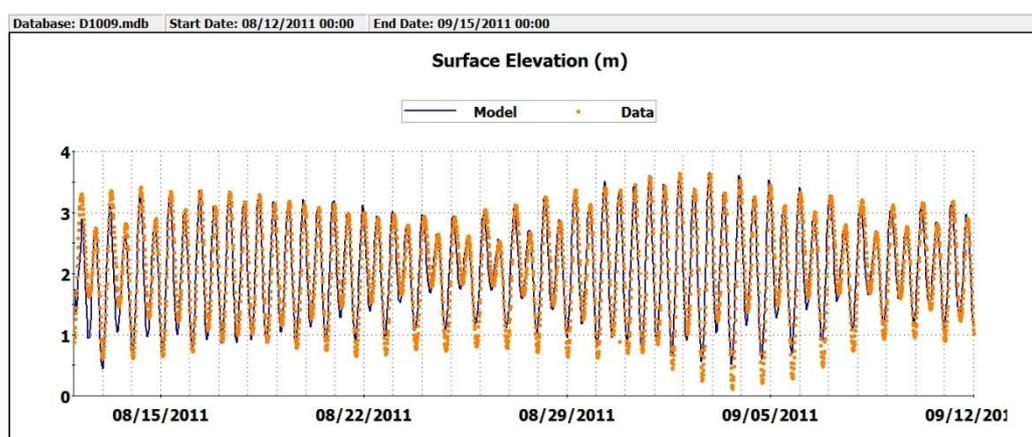
pola dan memberikan prediksi yang akurat untuk berbagai macam buangan, model Hidrodinamika dibuat menjadi dua skenario: skenario musim hujan dan musim kemarau.

Tanggal-tanggal untuk kedua skenario ini dipilih berdasarkan pada ketersediaan dan analisis data historis, yang meliputi data angin, ombak, dan data arus. Tipikal angin untuk periode musim kemarau dan musim hujan diidentifikasi berdasarkan analisis *wind rose* selama sepuluh tahun (2002-2011), yang menunjukkan bahwa arah dominan angin berasal dari utara dan timur. Dengan analisis *wind rose* historis, tahun yang akan disimulasikan dipilih berdasarkan ketersediaan data konfirmasi. Satu-satunya tahun yang memiliki data elevasi, arus, dan meteorologi untuk periode musim kemarau dan musim hujan adalah tahun 2011. Bulan-bulan untuk dua periode tersebut dipilih dengan meninjau kembali analisis *wind rose* hanya untuk tahun 2011. Bulan-bulan yang mempertahankan pola angin dominan dan memiliki data yang paling tersedia, digunakan untuk kedua skenario ini: Agustus (12-08-2011 sampai 15-09-2011) untuk musim kemarau dan Desember (01-12-2011 sampai 31-12-2011) untuk musim hujan.

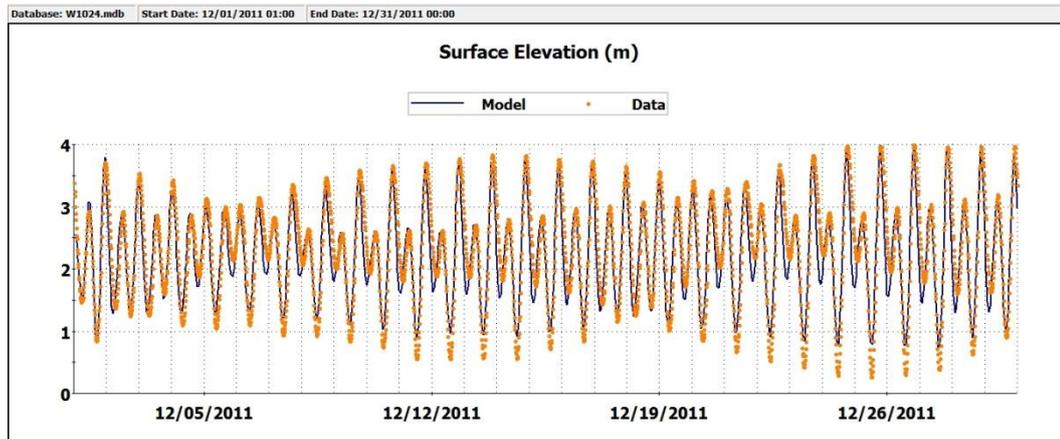
#### 5.4 KONFIRMASI MODEL

##### *Elevasi Permukaan*

Elevasi permukaan yang dihitung dari model untuk skenario musim kemarau dan hujan dibandingkan dengan pengamatan *gauge* pasang-surut pada tambatan Dermaga 1 (**Gambar 3-2**). Konfirmasi elevasi permukaan untuk periode musim kemarau dan hujan diperlihatkan masing-masing pada **Gambar 5-10** dan **Gambar 5-11**. Seperti yang terlihat dari perbandingan tersebut, elevasi permukaan dari model sangat sesuai dengan data. Perbedaan rata-rata antara model dan data adalah 0,009 m untuk musim kemarau dan -0,058 m untuk musim hujan. *Root-mean-square-error (RMSE)* antara model dan data adalah 0,207 m untuk musim kemarau dan 0,255 untuk musim hujan.



**Gambar 5-10 Perbandingan Elevasi Permukaan Air antara Model dan Data untuk Skenario Musim Kemarau**



**Gambar 5-11 Perbandingan Elevasi Permukaan Air antara Model dan Data untuk Skenario Musim Hujan**

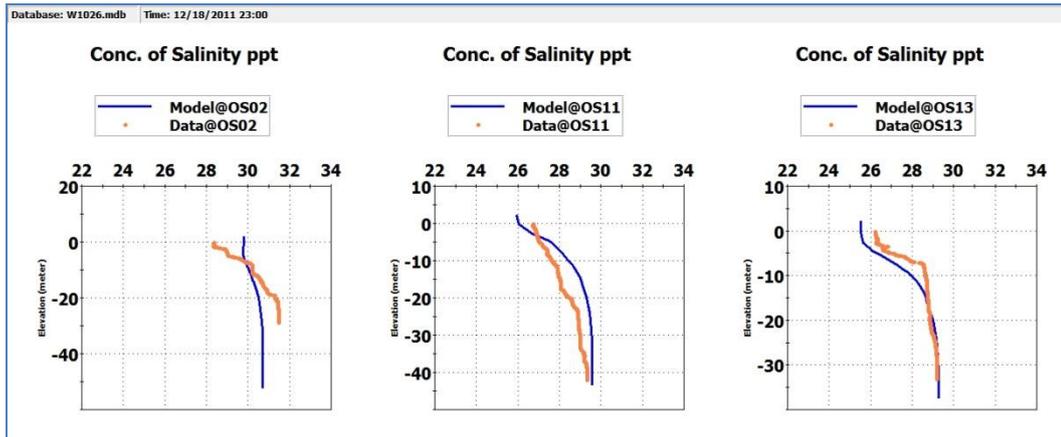
*Statistik saat ini*

Data arus permukaan yang tersedia digunakan untuk mengkonfirmasi arus yang diperkirakan oleh model. Ada satu data set arus yang tersedia, di dekat Dermaga 1, untuk periode simulasi (yang diukur oleh URS). Kecepatan rata-rata arus permukaan pada skenario musim kemarau adalah 34,5 cm/detik yang terhitung pada model dan 51,7 cm/detik yang tampak pada data. Kecepatan arus minimum adalah 0,0 cm/detik untuk model dan data. Arus maksimum yang disimulasikan dalam model adalah 104,3 cm/detik dan pada data adalah 116 cm/detik. Arus di dekat fasilitas kuat dan dinamis. Untuk simulasi periode musim hujan, kecepatan arus yang diperkirakan memiliki jangkauan antara 0,0 cm/detik dan 90,1 cm/detik. Perkiraan kecepatan arus rata-rata yang diperkirakan untuk simulasi periode musim hujan adalah 35,9 cm/detik. Statistik untuk data pada periode yang sama adalah: kecepatan minimum adalah 0,8 cm/detik, kecepatan maksimum adalah 137,3 cm/detik, dan kecepatan rata-rata adalah 57,0 cm/detik. Perbedaan antara data dan model dapat diyakini sebagai akibat dari perbedaan dalam *bathymetry* pada waktu data dihitung dan disurvei untuk model tersebut serta gangguan lokal dari kekuatan dan struktur-struktur dengan skala kecil tidak diperlihatkan pada model. Lebih kecil kecepatan arus yang diperkirakan pada pemodelan menghasilkan dispersi *plume* buangan sedikit lebih kecil sehingga merupakan perkiraan konsentrasi ambien maksimum yang lebih konservatif

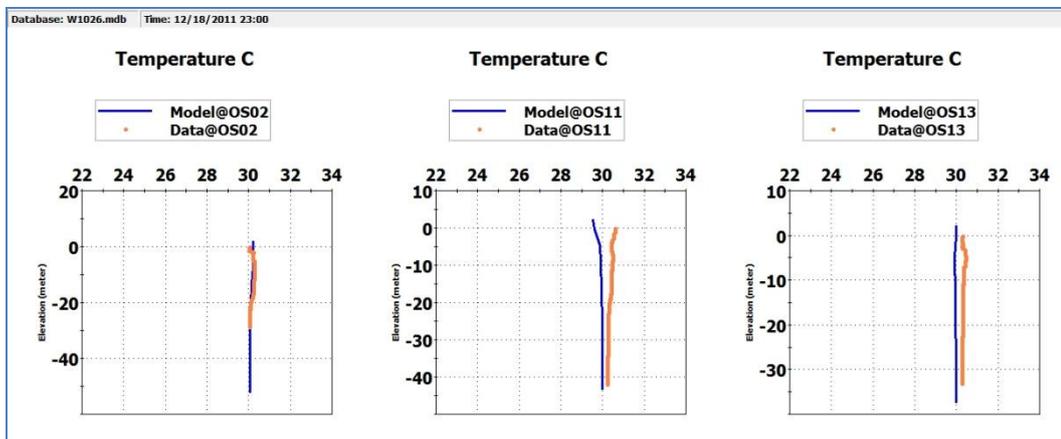
*Profil Temperatur dan Salinitas*

Kondisi awal temperatur dianggap seragam secara vertikal untuk periode musim kemarau dan musim hujan. Salinitas awal pada periode musim kemarau juga dianggap seragam secara vertikal. Akan tetapi, distribusi vertikal salinitas periode musim kemarau awal tidak seragam karena besarnya gradient yang diamati. Air tawar ditambahkan pada model untuk menghasilkan stratifikasi yang teramati. Pengaturan salinitas dan input air tawar membantu model tersebut mencapai stratifikasi yang diperlukan untuk simulasi konstituen. Selain itu, lima hari pertama simulasi dianggap sebagai periode '*spin-up*' model untuk memungkinkan terjadinya

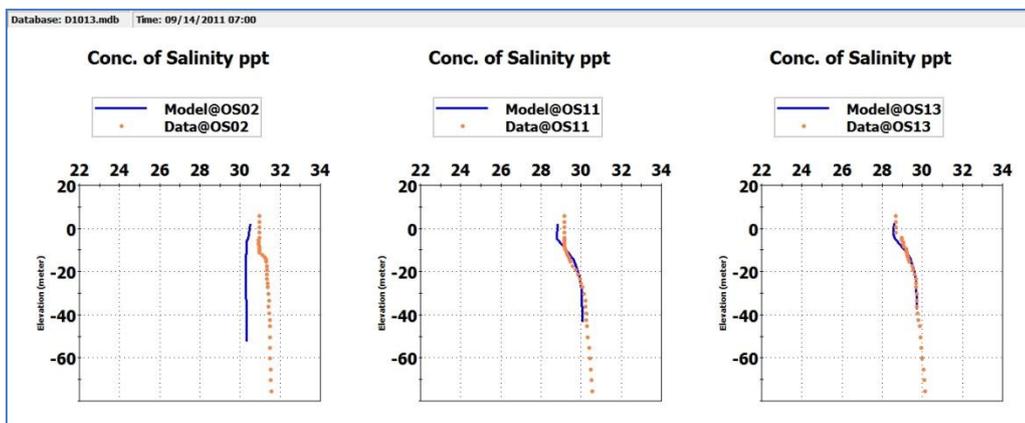
pengembangan stratifikasi. Meskipun data salinitas dikumpulkan pada saat-saat yang tidak termasuk dalam simulasi, **Gambar 5-12.** menunjukkan bahwa model secara kualitatif menangkap dengan baik stratifikasi salinitas dari tiga lokasi yang mewakili (OS02, OS11 dan OS13)



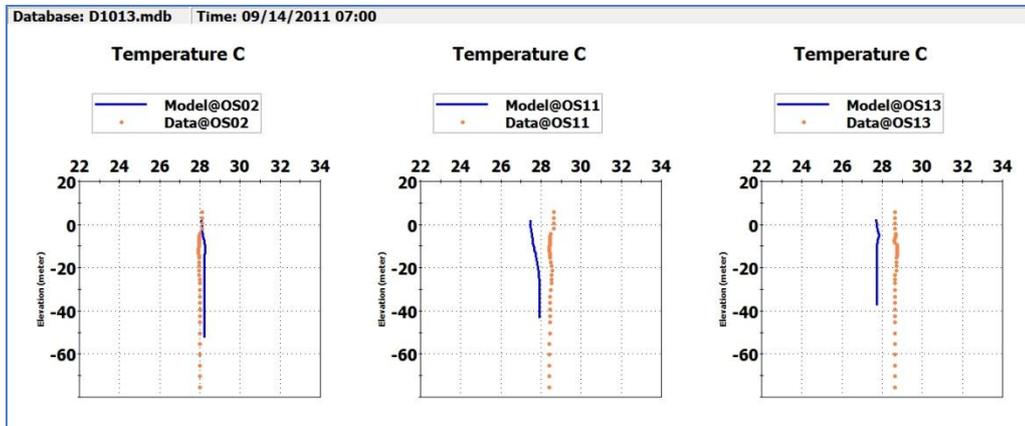
**Gambar 5-12 Konfirmasi Profil Salinitas dengan Data untuk Periode Musim Hujan**



**Gambar 5-13 Konfirmasi Profil Temperatur Udara dengan Data dari Periode Musim Hujan**



**Gambar 5-14 Konfirmasi Profil Salinitas dengan Data untuk Periode Musim Kemarau**



**Gambar 5-15 Konfirmasi Profil Temperatur Udara dengan Data Priode Musim Kemarau**

### 5.5 SUBGRID MODEL GIFT

Output dari pemodelan Hidrodinamika digunakan untuk menghasilkan rangkaian data *bathymetry* yang dipetakan pada *grid* untuk GIFT pengerukan *far-field*, pembuangan material keruk, dan pemodelan serbuk bor. *Grid* yang berbeda-beda dibentuk dari rangkaian data ini untuk setiap pekerjaan pemodelan. Pembahasan *grid* GIFT yang digunakan pada pemodelan serbuk bor terdapat di Bagian 11.2. Pembahasan mengenai pemodelan untuk pengerukan *far-field* terdapat di Bagian 9.3 dan pemodelan GIFT untuk pembuangan material keruk terdapat di Bagian 10.2

## 6 PEMODELAN PEMBUANGAN AIR LIMBAH CAMPURAN

### 6.1 DESAIN SKENARIO

Pembuangan air limbah dari fasilitas Tangguh LNG mewakili aliran air limbah campuran dari berbagai aktivitas dari fasilitas. Ada dua lokasi pembuangan yang dipertimbangkan: titik pembuangan (*outfall*) saat ini di ujung Dermaga 1 dan titik pembuangan (*outfall*) yang direncanakan di ujung Dermaga 2 (lihat **Gambar 3-2**). Masing-masing titik pembuangan (*outfall*) dipertimbangkan untuk digunakan bergantian; buangan penuh pada titik pembuangan (*outfall*) sedang dipertimbangkan. Untuk simulasi *far-field*, masing-masing titik pembuangan (*outfall*) disimulasikan untuk mewakili kedua kondisi musim kemarau dan musim hujan sebagaimana dijelaskan pada Bagian 5.3. Untuk simulasi *near-field*, setiap titik pembuangan (*outfall*) disimulasikan untuk mewakili dua kondisi pasang surut, pasang naik dan pasang surut.

### 6.2 INFORMASI PEMBUANGAN

Debit buangan diasumsikan sebesar 1.900 m<sup>3</sup>/jam yang mewakili debit total semua aliran limbah yang dibulatkan ke nilai ratusan terdekat. Aliran limbah individu dan besarnya yang membentuk air limbah campuran ini ditunjukkan dalam **Tabel 6-1**. Pembuangan ini dianggap kontinu. Kedalaman pembuangan adalah pada -13 m di bawah LAT pada kedua dermaga. Pada dermaga 1, kedalaman ini mewakili bagian paling bawah dari kolom air karena elevasi dasar adalah -13.5 m LAT. Titik pembuangan (*Outfall*) Dermaga 2 adalah 3 m di atas dasar laut sebagaimana direncanakan bahwa area tambatan (*berth*) akan dikeruk pada -16 m LAT. Diameter pipa titik pembuangan (*outfall*) adalah 20" dengan arah horizontal dan diasumsikan menjauh dari pantai.

**Tabel 6-1 Aliran Limbah Individu dan Debitnya yang Membentuk Buangan Air Limbah Campuran (*comingled discharge*)**

Aliran Limbah	Debit (m <sup>3</sup> /jam)
Kolam Netralisasi ( <i>Neutralization pit</i> )	142
Kolam Buangan Limbah Terkontaminasi Minyak ( <i>Oily pit</i> )	200
Kolam Air Limbah Domestik ( <i>Sewage pit</i> )	37
Instalasi Pengolah Air Limbah Domestik dengan Beban B ( <i>STP load B</i> )	55
Air Terproduksi ( <i>Produced water</i> )	50
<i>Brine return</i>	1.368
Debit Total	1.851

Pengambilan sampel air limbah komposit yang dilakukan oleh Tangguh LNG pada bulan Desember 2012 dan Maret 2013 adalah dasar untuk asumsi konsentrasi aliran limbah gabungan. Untuk semua parameter (*constituents*) yang dimodelkan (kecuali DO), nilai maksimum yang diamati digunakan. Asumsi ini bersifat konservatif karena mewakili nilai maksimum bukan konsentrasi air limbah rata-rata. Selain itu, parameter-parameter yang diukur di bawah batas deteksi diasumsikan memiliki nilai-nilai sesuai batas deteksi. Berkaitan dengan DO, baku mutu ambien adalah nilai minimum bukan maksimum; digunakan konsentrasi buangan konservatif sebesar 0,0 mg/L. **Tabel 6-2** memberikan ringkasan konsentrasi buangan yang digunakan dan apakah pengenceran (*dilution*) diperlukan untuk memenuhi baku mutu ambien.

Sebagaimana dijelaskan dalam Bagian 4.1 Pendekatan Metodologi Pemodelan, konsentrasi rona awal dengan konsentrasi buangan yang telah dimodelkan digunakan untuk menghitung konsentrasi total ambien. Sebagai bagian dari survei lapangan tahun 2012-2013 yang mengukur profil vertikal temperatur dan salinitas, sampel air dikumpulkan pada lokasi pengambilan sampel yang ditunjukkan dalam **Gambar 5-7** dan dianalisis untuk berbagai parameter. Data dari semua lokasi pengambilan sampel digunakan untuk menghitung konsentrasi rata-rata yang mewakili nilai-nilai rona awal untuk musim kemarau dan musim hujan. Nilai-nilai ini juga ditunjukkan dalam **Tabel 6-2**.

**Tabel 6-2 Asumsi Konsentrasi Buangan Air Limbah Campuran (*comingled discharge*) dan Baku Mutu Ambien**

Parameter	Konsentrasi Buangan yang digunakan dalam pemodelan	Baku Mutu Ambien	Konsentrasi Awal		Diperlukan pengenceran
			Periode Musim Kemarau	Periode Musim Hujan	
TotalAmmonia(mg/LasN)	3,71	0,3	<0,020	<0,020	Yes
Arsenic(mg/L)	0,0064	0,012	0,00098	0,00126	No
BOD5(mg/L)	10	20	2,1	<2,0	No
Cadmium(mg/L)	<0,005	0,001	0,00020	0,00040	Yes
Chromium-VI(mg/L)	<0,05	0,005	<0,0020	<0,0020	Yes
Copper(mg/L)	0,13	0,008	0,0010	0,0011	Yes
DissolvedOxygen(mg/L)	0,0	>5,0	5,55	5,49	Yes
Lead(mg/L)	<0,05	0,008	<0,0010	<0,0010	Yes
Mercury(mg/L)	0,00014	0,001	<0,00005	<0,00005	No
OilandGrease(mg/L)	<1	1	<1,0	<1,0	No
pH	8,57	6,5-8,5	8,06	7,86	Yes
Salinity(ppt)	39,0	34	28,50	25,46	Yes
Sulfide(mg/L)	<0,002	0,01-0,03	<0,0020	<0,0020	No
Temperatur(°C)	34	28-32	29,12	30,67	Yes
TotalPhenol(mg/L)	<0,001	0,002	<0,0010	<0,0010	No
TSS(mg/L)	176	80	27,74	26,63	Yes
Zinc(mg/L)	1,012	0,05-0,1	0,0071	0,0052	Yes

### 6.3 PEMODELAN NEAR-FIELD

The Environmental, Health and Safety (EHS) Guidelines yang diberikan oleh International Finance Corporation (IFC) merekomendasikan kriteria untuk pembuangan ke dalam air laut. Ketentuan untuk peningkatan temperatur maksimum adalah 3 °C pada tepi zona pencampuran (*edge of the mixing zone*) dan diambil dalam melakukan investigasi *plume* untuk panas (*thermal plume*). Tidak adanya definisi zona pencampuran, 100 m dari titik pembuangan digunakan sesuai dengan IFC EHS Guidelines. Ketentuan untuk perubahan salinitas maksimum adalah ±5%, relatif untuk nilai ambien, pada jarak 30 m dari titik pembuangan (BP, 2013).

Kecepatan arus yang diekstrak dari model Hidrodinamika pada Dermaga 1 adalah 0,31 m/detik saat pasang naik dan 0,04 m/detik saat pasang surut. Kecepatan arus yang diekstrak pada Dermaga 2 adalah 0,04 m/detik saat pasang naik dan 0,05 m/detik saat pasang surut. Nilai-nilai ini digunakan dalam permodelan *near-field* untuk mewakili arus ambien.

Temperatur air limbah campuran adalah 34 °C dan salinitasnya adalah 39 ppt. Berdasarkan nilai-nilai ini, berat jenis efluen diperkirakan menjadi 1.023 kg/m<sup>3</sup> dengan menggunakan metode *El-Dessouky dan Ettouney (2002)* yang terpasang di CORMIX. Temperatur rata-rata ambien air laut adalah 29 °C dan salinitas air laut adalah 30 ppt. Berdasarkan nilai-nilai ini, berat jenis air laut diperkirakan menjadi 1.018 kg/m<sup>3</sup>.

Jarak arah hilir di mana baku mutu temperatur dan salinitas tercapai sudah ditentukan dan hasil semua skenario dijelaskan dalam Tabel 6-3 dan

Tabel 6-4. Faktor-faktor pengenceran (*dilution factors*) yang sesuai di lokasi-lokasi ini juga dijelaskan didalam **Tabel 6-3** dan

**Tabel 6-4.** Kurva pengenceran untuk pembuangan air limbah campuran dari Dermaga 1 dan 2 pada saat pasang naik dan pasang surut ditampilkan di **Gambar 6-1** sampai dengan **Gambar 6-4**.

**Tabel 6-3** Jarak yang Diperkirakan ke Arah Hilir dari Lokasi Pembuangan dimana Baku Mutu Kualitas Air Tercapai Sesuai Faktor Pengenceran (*dilution factor*) - Buangan Air Limbah Campuran dari Dermaga 1

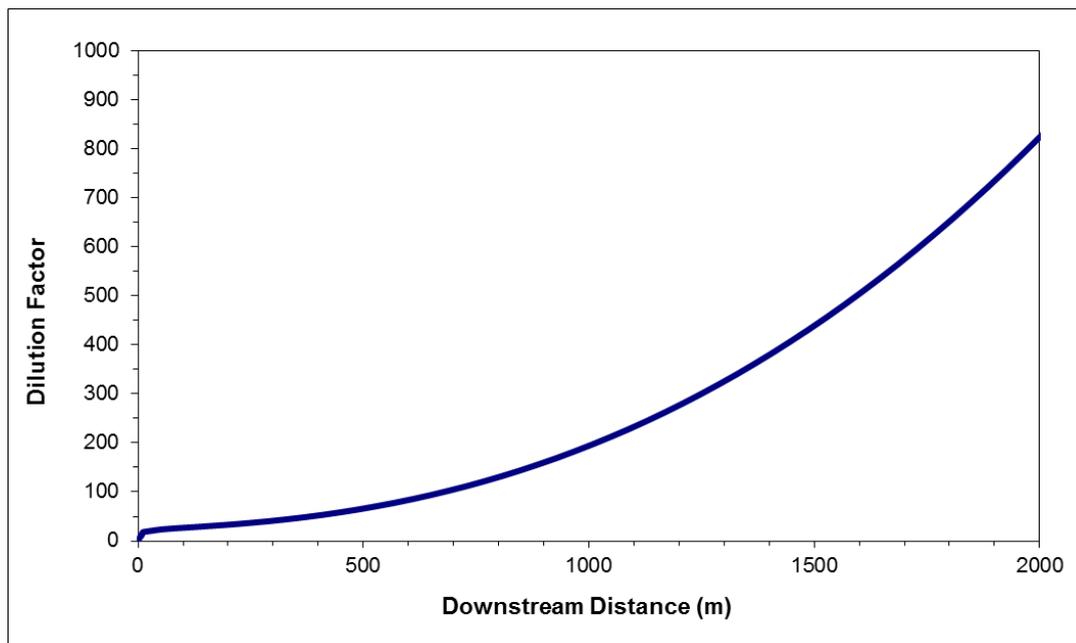
Parameter	Baku Mutu Ambien	Pasang Naik		Pasang Surut	
		Jarak <sup>1</sup> (m)	Faktor Pengenceran	Jarak <sup>1</sup> (m)	Pengenceran
Temperatur	≤3°C pada 100m	0,3	1,7	0,1	1,7
Salinitas	±5% dari salinitas ambien pada 30m	3,4	6,0	1,8	6,0

*Jarak arah hilir dari lokasi buangan di mana kenaikan temperatur mencapai 3°C atau perubahan salinitas mencapai ± 5% dari salinitas ambien.*

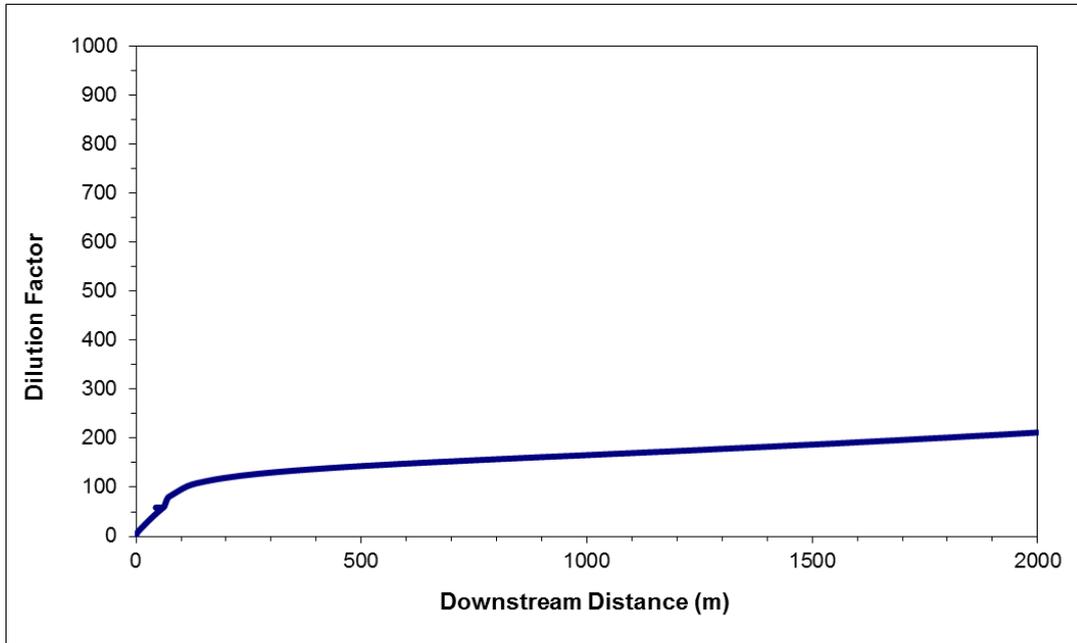
**Tabel 6-4** Jarak yang Diperkirakan ke Arah Hilir dari Lokasi Pembuangan dimana Baku Mutu Kualitas Air Tercapai Sesuai Faktor Pengenceran (*dilution factors*) - Buangan Air Limbah Campuran dari Dermaga 2

Konstituen	Baku Mutu Ambien	Pasang Naik		Pasang Surut	
		Jarak <sup>1</sup> (m)	Faktor Pengenceran	Jarak <sup>1</sup> (m)	Faktor Pengenceran
Temperatur	≤3°C at100m	2,0	1,7	2,0	1,7
Salinitas	±5% dari salinitas ambien pada 30 m	9,9	6,0	9,8	6,0

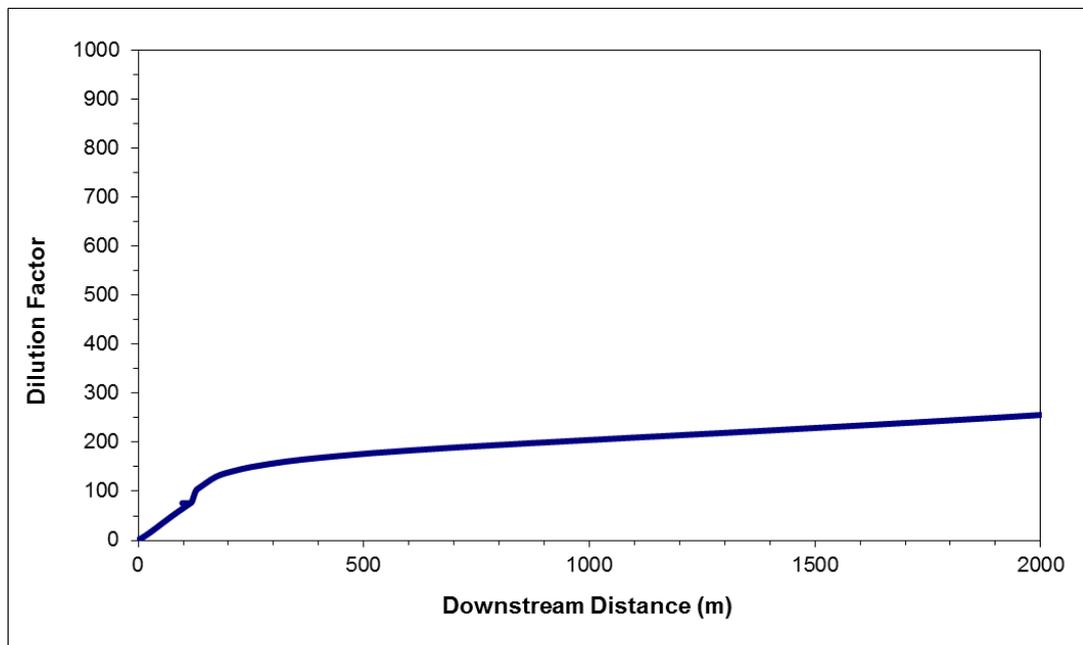
Jarak arah hilir dari lokasi buangan di mana kenaikan temperatur mencapai 3°C atau perubahan salinitas mencapai ± 5% dari salinitas ambien.



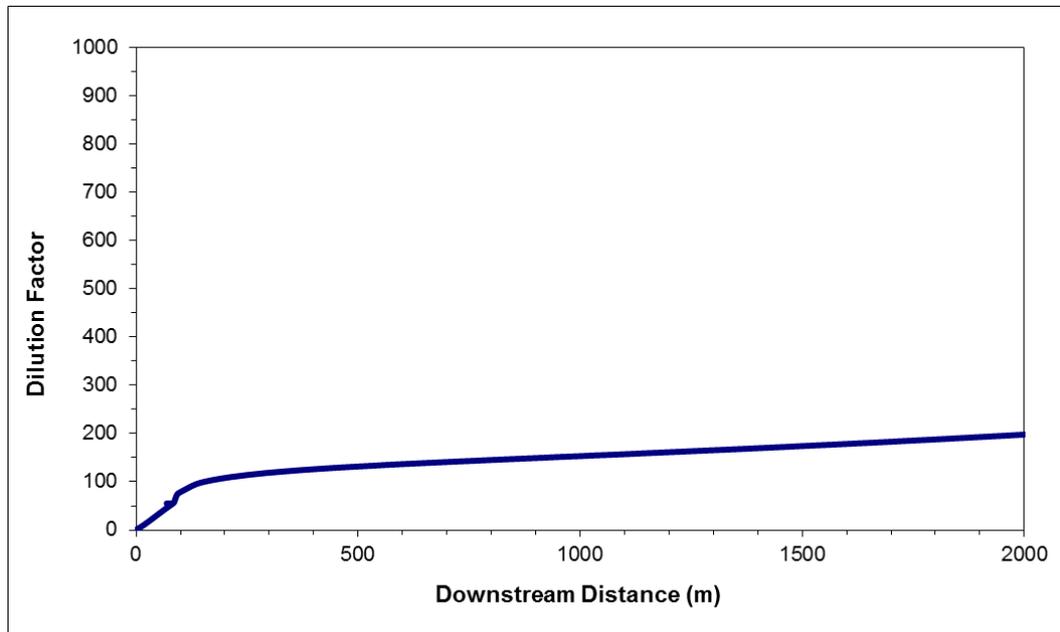
**Gambar 6-1** Faktor Pengenceran (*dilution factor*) dengan Jarak ke Arah Hilir - Buangan Air Limbah Campuran (*Commingled Discharge*) dari Dermaga 1 Pada Saat Pasang Naik



**Gambar 6-2** Faktor Pengenceran (*dilution factor*) dengan Jarak ke Arah Hilir - Buangan Air Limbah Campuran dari Dermaga 1 Pada Saat Pasang Surut



**Gambar 6-3** Faktor Pengenceran (*dilution factor*) dengan Jarak ke Arah Hilir - Buangan Air Limbah Campuran dari Dermaga 2 Pada Saat Pasang Naik



**Gambar 6-4** Faktor Pengenceran (*dilution factor*) dengan Jarak ke Arah Hilir - Buangan Air Limbah Campuran dari Dermaga 2 Pada Saat Pasang Surut

Untuk buangan air limbah campuran dari Dermaga 1, diperkirakan akan mencapai baku mutu temperatur ambien dan salinitas masing-masing pada jarak 0,3 m dan 3,4 m, pada tahap pasang naik dan untuk mencapai baku mutu temperatur ambien dan salinitas masing-masing pada jarak 0,1 m dan 1,8 m, pada periode pasang surut. Berat jenis air limbah campuran lebih besar dari ambien air laut. Pada periode pasang surut dengan kecepatan arus kecil (0,04 m/detik), CORMIX menganggap *plume* melekat di dasar setelah pembuangan, dan pemodelan *near-field* tidak stabil dengan asumsi bahwa *plume* bercampur di atas seluruh kedalaman lapisan (*full layer depth*). Tetapi, pada periode pasang naik dengan kecepatan arus yang lebih besar (0,31 m/detik), *plume* bergerak melawan arus ambien yang kuat menghasilkan pengenceran (*dilution*) yang lebih rendah di dekat area titik pembuangan (*outfall*). Oleh karenanya, dalam jarak dekat, faktor pengenceran (*dilution factor*) lebih besar pada periode pasang surut daripada periode pasang naik. Tetapi, karena *plume* bergerak bersamaan dengan arus ambien, pengenceran (*dilution*) meningkat dan arus ambien mendominasi pencampuran *plume*. Fenomena ini menghasilkan pengenceran (*dilution*) yang lebih besar ketika arus ambien lebih tinggi (pasang naik) berlawanan ketika arus ambien lebih rendah (pasang surut).

Untuk buangan air limbah campuran dari Dermaga 2, baku mutu temperatur ambien dan salinitas dapat dicapai pada jarak masing-masing 2,0 m dan 9,9 m pada periode pasang naik. Pada periode pasang surut diperkirakan baku mutu temperatur ambien dan salinitas dapat dicapai pada jarak masing-masing 2,0 m dan 9,8 m. Kurva pengenceran (*dilution curve*) untuk buangan air limbah campuran dari Dermaga 2 diamati serupa pada periode pasang naik dan pasang surut.

Kecepatan arus pada Dermaga 2 (baik pada saat pasang naik dan pasang surut) tidak jauh dengan buangan saat pasang surut dari Dermaga 1. Oleh karenanya, kurva pengenceran (*dilution curve*) pada ketiga kondisi ini adalah serupa.

Pada semua skenario untuk buangan gabungan, temperatur dan salinitas diperkirakan mengikuti baku mutu kualitas air.

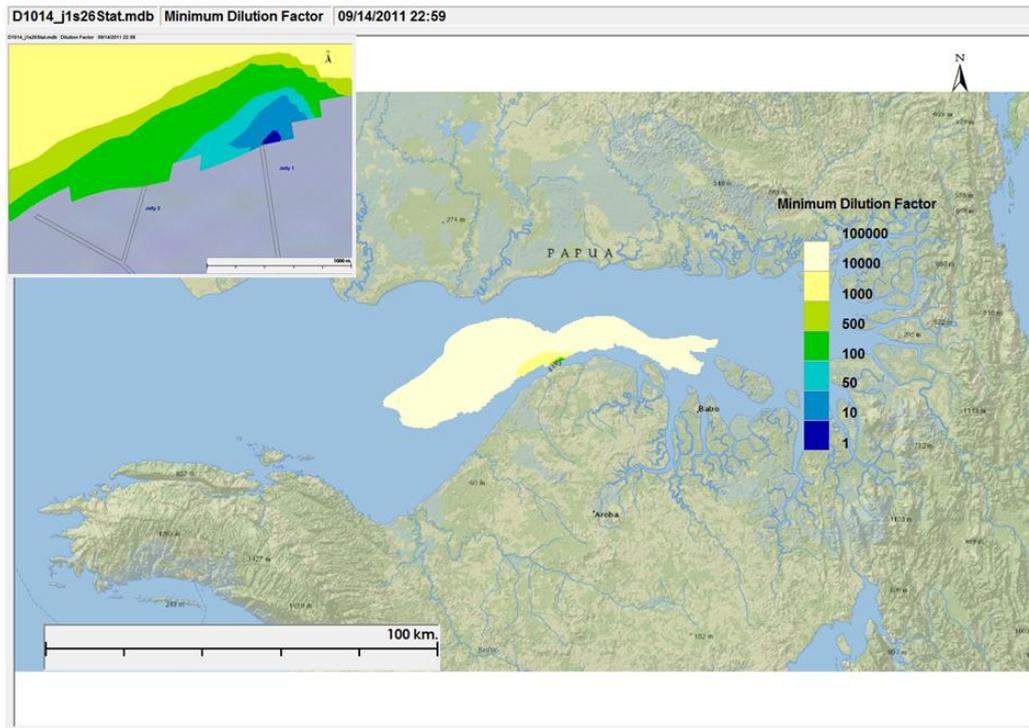
Pengujian sensitivitas telah direncanakan untuk mengevaluasi apakah pilihan kedalaman pembuangan saat ini adalah yang paling optimal untuk pencampuran *plume*. Kasus yang paling buruk, pembuangan air limbah campuran dari Dermaga 2 pada saat pasang naik, dipilih untuk pengujian sensitivitas sebagai kasus yang paling buruk karena memenuhi kedua baku mutu ambien pada aliran hilir jarak terjauh. Tetapi, model CORMIX tidak memungkinkan pemilihan kedalaman antara -13 m dan -6 m (relatif terhadap LAT), karena ketinggian titik pembuangan di atas dasar laut yang diperlukan adalah antara 1/3 - 2/3 dari kedalaman air ambien setempat. Ini adalah kriteria internal penerapan CORMIX 1. Oleh karenanya, pengujian sensitivitas hanya ditujukan dalam permodelan *far-field*.

#### 6.4 PERMODELAN FAR-FIELD

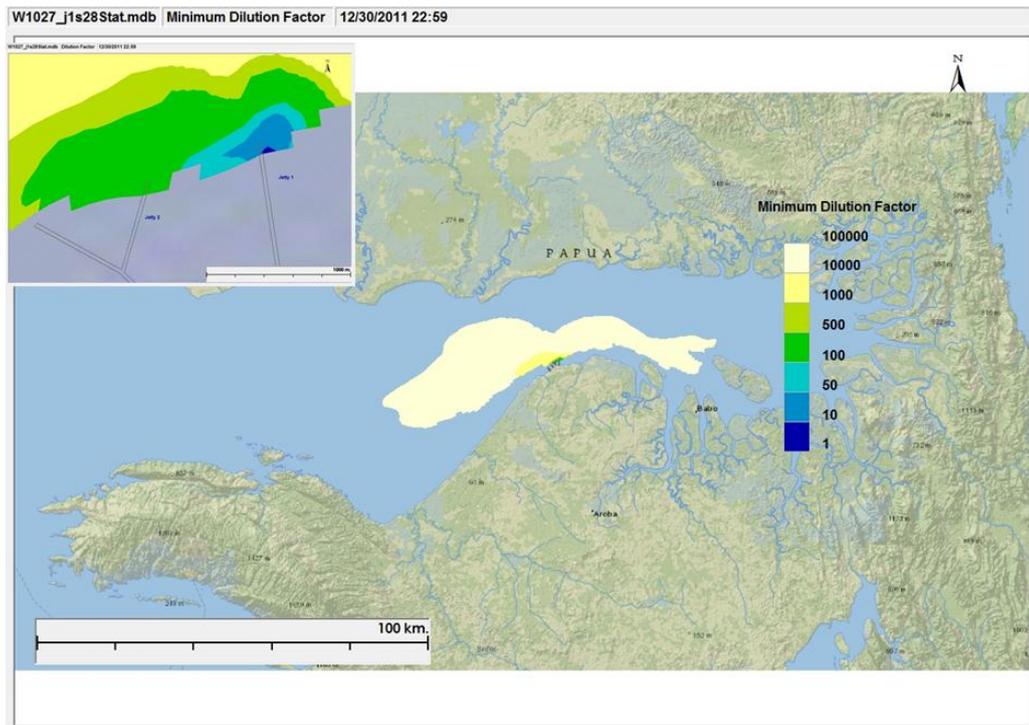
Bagian berikut menyampaikan temuan-temuan dari pemodelan *far-field* atas pembuangan air limbah campuran (*comingled wastewater*) pada fasilitas terminal khusus Tangguh LNG. Semua konsentrasi maksimum terjadi pada lokasi dan kedalaman dari pembuangan. Harus dicatat bahwa konsentrasi pada pemodelan *far-field* adalah konsentrasi rata-rata atas setiap sel dalam *grid* model. Sel-sel dalam *grid* di area fasilitas terminal khusus adalah berukuran sekitar 100 m, dengan demikian konsentrasi pada sumber sebetulnya mewakili konsentrasi rata-rata selama awal 50 m. Untuk konsentrasi 50 m lebih dekat dari lokasi pembuangan, hasil model *near-field* seharusnya digunakan.

Gambar 6-5 dan **Gambar 6-6**, menunjukkan nilai minimum faktor pengenceran (*dilution factor*) selama seluruh periode yang disimulasikan untuk pembuangan air limbah campuran (*comingled wastewater*) pada dermaga 1 di musim kemarau dan musim hujan. Pengenceran terendah terjadi pada lokasi pembuangan (*Outfalls*) - buangan air limbah diencerkan oleh faktor 4,6 dan 5,7 untuk masing-masing musim kemarau dan musim hujan. Konsentrasi parameter maksimum yang dihasilkan termasuk konsentrasi awal ditunjukkan dalam

**Tabel 6-5** dan **Tabel 6-6**. Konsentrasi maksimum ini diberikan untuk jangkauan jarak dari titik pembuangan (*Outfall*): 50 m (yang mewakili lokasi sel *grid* dari *outfall*), 100 m, dan 500 m. Konsentrasi ini dipilih berdasarkan konsentrasi tertinggi pada setiap radius di sekitar titik pembuangan (*outfall*).

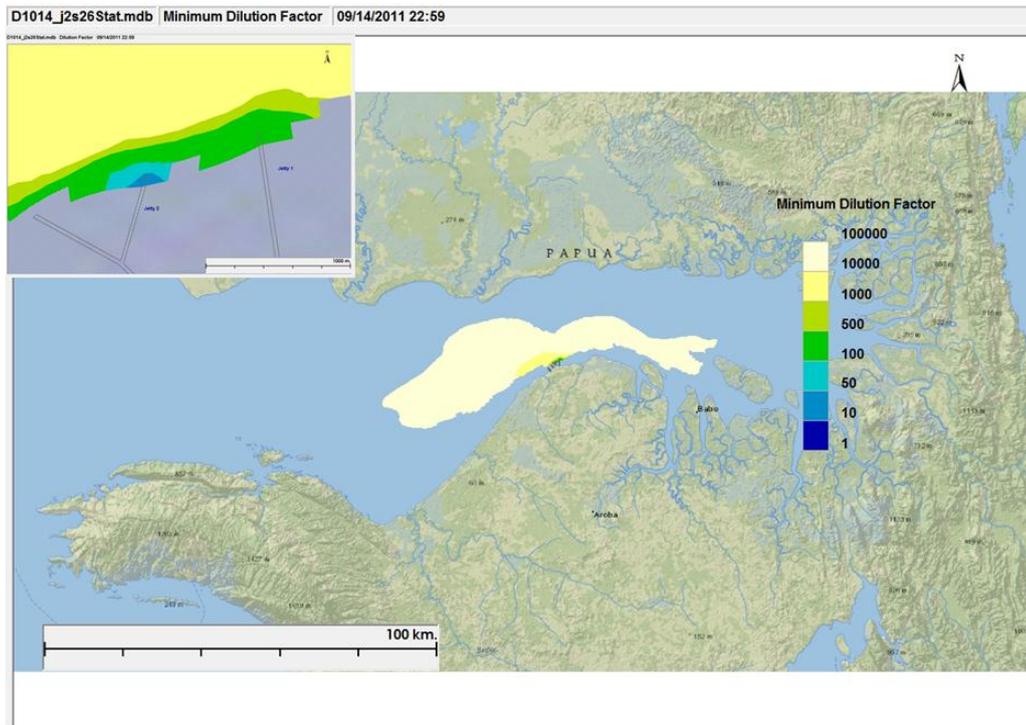


**Gambar 6-5** Plot Kontur untuk Faktor Pengenceran Minimum dari Buangan Air Limbah Campuran di Dermaga 1 pada Musim Kemarau

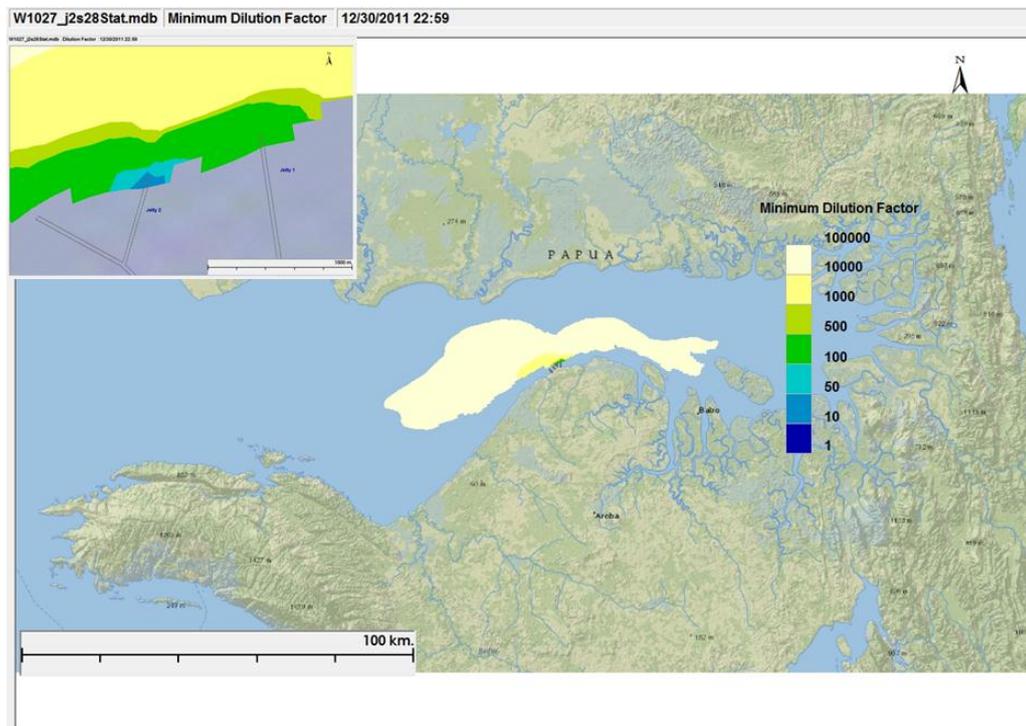


**Gambar 6-6** Plot Kontur untuk Faktor Pengenceran Minimum dari Buangan Air Limbah Campuran di Dermaga 1 pada Musim Hujan

Gambar 6-7 dan **Gambar 6-8** menunjukkan faktor pengenceran minimum untuk pembuangan air limbah campuran di dermaga 2 pada masing-masing musim kemarau dan hujan. Sebagaimana dalam simulasi pada dermaga 1, pengenceran terendah terjadi di lokasi pembuangan (*outfall*) - buangan air limbah diencerkan oleh faktor pengenceran 10,4 dan 10,2 untuk masing-masing musim kemarau dan hujan. Pembuangan di dermaga 2 menghasilkan pengenceran yang lebih besar dan konsentrasi lebih rendah dibandingkan di dermaga 1 terutama karena dispersi lebih besar yang terjadi dari hasil pembuangan pada 3 m di atas dasar laut. Konsentrasi parameter maksimum yang dihasilkan termasuk konsentrasi awal ditampilkan di Tabel 6-7 dan **Tabel 6-8**.



**Gambar 6-7** Plot Kontur untuk Faktor Pengenceran Minimum dari Buangan Air Limbah Campuran di Dermaga 2 pada Musim Kemarau



**Gambar 6-8** Plot Kontur untuk Faktor Pengenceran Minimum dari Buangan Air Limbah Campuran di Dermaga 2 pada Musim Hujan

**Tabel 6-5** Konsentrasi Ambien Maksimum pada Musim Kemarau yang Diprediksi dari Hasil Buangan Air Limbah Campuran untuk Dermaga 1

Parameter	Baku Mutu Ambien	Konsentrasi Maksimum Parameter			
		Jarak dari lokasi buangan ( <i>Outfall</i> )			
		50 m	100 m	500 m	Kondisi Rona Awal
Total Ammonia (mg/L as N)	0,30	<b>0,82</b>	<b>0,59</b>	0,08	<0,02
Arsenic (mg/L)	0,0120	0,0022	0,0018	0,0011	0,0010
BOD5 (mg/L)	20,0	3,8	3,3	2,2	2,1
Cadmium (mg/L)	0,0010	<b>0,0012</b>	0,0009	0,0003	0,0002
Chromium-VI (mg/L)	0,005	<b>0,012</b>	<b>0,009</b>	0,003	<0,002
Copper (mg/L)	0,008	<b>0,029</b>	<b>0,021</b>	0,003	0,001
Dissolved Oxygen (mg/L)	>5,00	<b>4,34</b>	<b>4,70</b>	5,46	5,55
Lead (mg/L)	0,008	<b>0,012</b>	<b>0,009</b>	0,002	<0,001
Mercury (mg/L)	0,00100	0,00007	0,00006	0,00005	<0,00005
Oil and Grease (mg/L)	1,0	1,0	1,0	1,0	<1,0
pH	6,5-8,5	8,13	8,11	8,07	8,06
Salinity (ppt)	34,0	30,8	30,1	28,7	28,5
Sulfide (mg/L)	0,010	0,002	0,002	0,002	<0,002
Temperatur (°C)	32,0	30,2	29,9	29,2	29,1
Total Phenol (mg/L)	0,002	0,001	0,001	0,001	<0,001
TSS (mg/L)	80,0	60,0	50,5	30,2	27,7
Zinc (mg/L)	0,050	<b>0,226</b>	<b>0,162</b>	0,024	0,007

**Tabel 6-6 Konsentrasi Ambien Maksimum pada Musim Hujan yang Diprediksi dari Hasil Buangan Air Limbah Campuran untuk Dermaga 1**

Constituent	Ambient Standard	Maximum Constituent Concentration			
		Distance from Outfall			
		50 m	100 m	500 m	Baseline
Total Ammonia (mg/L as N)	0,30	<b>0,67</b>	<b>0,37</b>	0,08	<0,02
Arsenic (mg/L)	0,0120	0,0022	0,0018	0,0013	0,0013
BOD5 (mg/L)	20,0	3,4	2,8	2,1	<2,0
Cadmium (mg/L)	0,0010	<b>0,0012</b>	0,0008	0,0005	0,0004
Chromium-VI (mg/L)	0,005	<b>0,010</b>	<b>0,007</b>	0,003	<0,002
Copper (mg/L)	0,008	<b>0,024</b>	<b>0,013</b>	0,003	0,001
Dissolved Oxygen (mg/L)	>5,00	<b>4,53</b>	<b>4,97</b>	5,41	5,49
Lead (mg/L)	0,008	<b>0,010</b>	0,006	0,002	<0,001
Mercury (mg/L)	0,00100	0,00007	0,00006	0,00005	<0,00005
Oil and Grease (mg/L)	1,0	1,0	1,0	1,0	<1,0
pH	6,5-8,5	7,93	7,90	7,87	7,86
Salinity (ppt)	34,0	27,8	26,8	25,7	25,5
Sulfide (mg/L)	0,010	0,002	0,002	0,002	<0,002
Temperatur (°C)	32,0	31,3	31,0	30,7	30,7
Total Phenol (mg/L)	0,002	0,001	0,001	0,001	<0,001
TSS (mg/L)	80,0	52,8	40,9	28,9	26,6
Zinc (mg/L)	0,050	<b>0,182</b>	<b>0,101</b>	0,020	0,005

**Tabel 6-7 Konsentrasi Maksimum Ambien Musim Kemarau yang Diprediksi dari Hasil Buangan Air Limbah Campuran untuk Dermaga 2**

Constituent	Ambient Standard	Maximum Constituent Concentration			
		Distance from Outfall			
		50 m	100 m	500 m	Baseline
Total Ammonia (mg/L as N)	0,30	<b>0,37</b>	0,14	0,06	<0,02
Arsenic (mg/L)	0,0120	0,0015	0,0012	0,0010	0,0010
BOD5 (mg/L)	20,0	2,8	2,4	2,2	2,1
Cadmium (mg/L)	0,0010	0,0007	0,0004	0,0002	0,0002
Chromium-VI (mg/L)	0,005	<b>0,007</b>	0,004	0,003	<0,002
Copper (mg/L)	0,008	<b>0,013</b>	0,005	0,002	0,001
Dissolved Oxygen (mg/L)	<5,00	5,02	5,37	5,49	5,55
Lead (mg/L)	0,008	0,006	0,003	0,002	<0,001
Mercury (mg/L)	0,00100	0,00006	0,00005	0,00005	<0,00005
Oil and Grease (mg/L)	1,0	1,0	1,0	1,0	<1,0
pH	6,5-8,5	8,09	8,07	8,06	8,06
Salinity (ppt)	34,0	29,5	28,9	28,6	28,5
Sulfide (mg/L)	0,010	0,002	0,002	0,002	<0,002
Temperatur (°C)	32,0	29,6	29,3	29,2	29,1

Constituent	Ambient Standard	Maximum Constituent Concentration			
		Distance from Outfall			
		50 m	100 m	500 m	Baseline
Total Phenol (mg/L)	0,002	0,001	0,001	0,001	<0,001
TSS (mg/L)	80,0	42,0	32,7	29,3	27,7
Zinc (mg/L)	0,050	<b>0,104</b>	0,041	0,018	0,007

**Tabel 6-8 Konsentrasi Maksimum Ambien Musim Hujan yang Dipredikasi dari Hasil Buangan Air Limbah Campuran untuk Dermaga 2**

Constituent	Ambient Standard	Maximum Constituent Concentration			
		Distance from Outfall			
		50 m	100 m	500 m	Baseline
Total Ammonia (mg/L as N)	0,30	<b>0,38</b>	0,17	0,05	<0,02
Arsenic (mg/L)	0,0120	0,0018	0,0015	0,0013	0,0013
BOD5 (mg/L)	20,0	2,8	2,3	2,1	<2,0
Cadmium (mg/L)	0,0010	0,0009	0,0006	0,0004	0,0004
Chromium-VI (mg/L)	0,005	<b>0,007</b>	0,004	0,002	<0,002
Copper (mg/L)	0,008	<b>0,014</b>	0,006	0,002	0,001
Dissolved Oxygen (mg/L)	<5,00	<b>4,95</b>	5,26	5,44	5,49
Lead (mg/L)	0,008	0,006	0,003	0,001	<0,001
Mercury (mg/L)	0,00100	0,00006	0,00005	0,00005	<0,00005
Oil and Grease (mg/L)	1,0	1,0	1,0	1,0	<1,0
pH	6,5-8,5	7,90	7,88	7,87	7,86
Salinity (ppt)	34,0	26,8	26,0	25,6	25,5
Sulfide (mg/L)	0,010	0,002	0,002	0,002	<0,002
Temperatur (°C)	32,0	31,0	30,8	30,7	30,7
Total Phenol (mg/L)	0,002	0,001	0,001	0,001	<0,001
TSS (mg/L)	80,0	41,3	32,8	28,0	26,6
Zinc (mg/L)	0,050	<b>0,104</b>	0,047	0,014	0,005

Inspeksi hasil model menunjukkan bahwa kondisi musim kemarau atau musim hujan memiliki efek sangat kecil pada pengenceran. Berkaitan dengan lokasi pembuangan, pembuangan di dermaga 2 jauh lebih baik dengan sekitar dua kali pengenceran. Konsentrasi menurun dengan jarak dari lokasi pembuangan (*Outfall*) sebagaimana diharapkan. Efek terhadap lokasi pembuangan (*outfall*) menurun dari besaran sekitar 50 m sampai dengan 500 m.

Dapat dilihat bahwa dari sedikit parameter, khususnya logam berat, memiliki potensi melebihi baku mutu kualitas air. Akan tetapi, beberapa yang berpotensi melebihi baku mutu tersebut adalah sebagai akibat dari batas deteksi tinggi (*high detection limit*) dari pengambilan sampel aliran limbah. Untuk kadmium, chromium dan timbal, aliran limbah dilaporkan memiliki konsentrasi lebih rendah daripada batas deteksi terkait, akan tetapi batas deteksi tersebut adalah 5-10 kali lebih tinggi dari baku mutu terkait. Selain itu, perkiraan-perkiraan adalah konservatif untuk

alasan lain seperti yang ditunjukkan sebelumnya. Penggunaan konsentrasi buangan maksimum yang diukur memberikan satu tingkat konservatisme. Dengan menggunakan konsentrasi buangan dengan nilai tengah (median) seperti terlihat pada **Tabel 6-9** dan mengabaikan logam yang memiliki batas deteksi yang sangat tinggi menunjukkan bahwa hanya ammonia dan DO berpotensi melebihi baku mutu. Konsentrasi rona awal DO hanya 0,5 mg/L di atas baku mutu, dengan demikian hanya sedikit penurunan dalam DO buangan dapat mengakibatkan melebihi baku mutu. Asumsi sebesar 0,0 mg/L DO pada aliran limbah mungkin terlalu konservatif. Berdasarkan pemodelan pengenceran/sebaran, nilai DO buangan sebesar 3,0 mg/L atau lebih besar cukup memenuhi baku mutu.

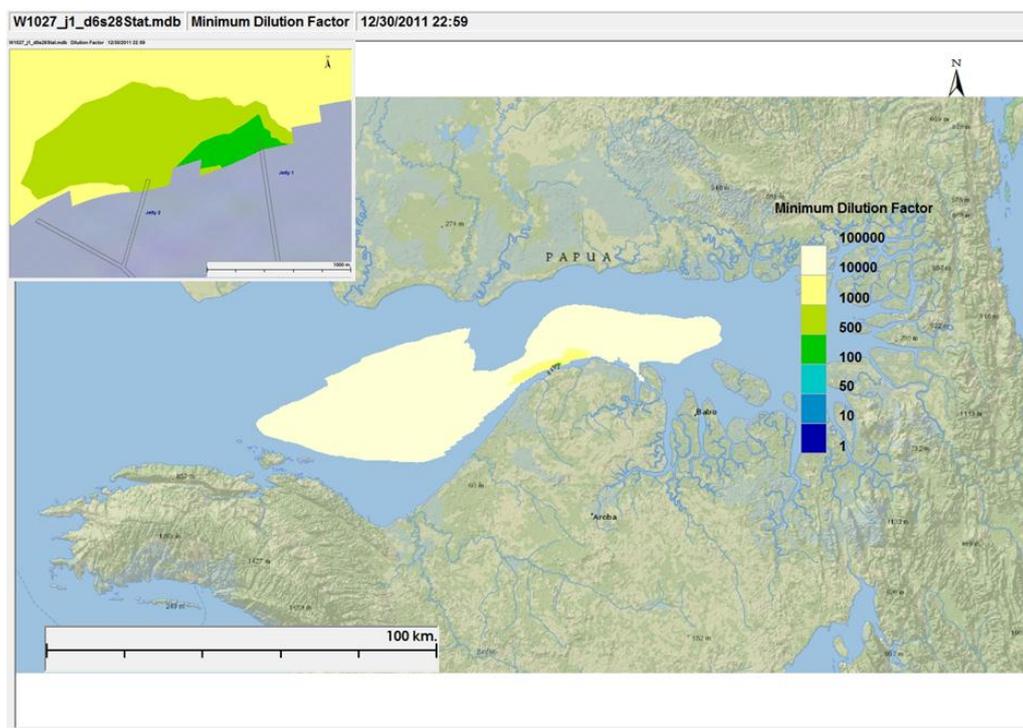
**Tabel 6-9 Konsentrasi Maksimum Ambien yang Diprediksi dari Hasil Buangan Air Limbah Campuran dengan Menggunakan Nilai Median Konsentrasi Buangan**

Parameter	Baku Mutu Ambien	Konsentrasi Maksimum Parameter			
		Dermaga Dermaga 1		Dermaga Dermaga 2	
		Musim Kemarau	Musim Hujan	Musim Kemarau	Musim Hujan
Total Ammonia (mg/L as N)	0,30	<b>0,31</b>	0,25	0,15	0,15
Arsenic (mg/L)	0,0120	0,0016	0,0017	0,0012	0,0015
BOD5 (mg/L)	20,0	2,1	2,0	2,1	2,0
Cadmium (mg/L)	0,0010	<b>0,0012</b>	<b>0,0012</b>	0,0007	0,0009
Chromium-VI (mg/L)	0,005	<b>0,012</b>	<b>0,010</b>	<b>0,007</b>	<b>0,007</b>
Copper (mg/L)	0,008	0,005	0,004	0,003	0,003
Dissolved Oxygen (mg/L)	>5,00	<b>4,34</b>	<b>4,59</b>	5,02	<b>4,95</b>
Lead (mg/L)	0,008	<b>0,012</b>	<b>0,0106</b>	0,006	0,006
Mercury (mg/L)	0,00100	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005
Oil and Grease (mg/L)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
pH	6,5-8,5	8,1	7,9	8,1	7,9
Salinity (ppt)	34,0	29,3	26,6	28,8	26,1
Sulfide (mg/L)	0,010	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatur (°C)	32,0	29,3	30,6	29,2	30,6
Total Phenol (mg/L)	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
TSS (mg/L)	80,0	35,6	33,2	31,2	30,3
Zinc (mg/L)	0,050	0,017	0,013	0,011	0,010

#### *Sensitivitas Kedalaman*

Kondisi pembuangan yang mewakili skenario 'terburuk', yakni kondisi yang menghasilkan pengenceran yang paling sedikit, adalah pada pembuangan Dermaga 1 selama musim kemarau. Sensitivitas terhadap kedalaman dilakukan untuk skenario ini dengan mensimulasikan pembuangan pada -6 m LAT. **Gambar 6-9** memperlihatkan faktor pengenceran minimum untuk pembuangan air limbah campuran di Dermaga 1 pada -6 m LAT saat musim kemarau. Sebagaimana sebelumnya, pengenceran terendah terjadi seketika dekat lokasi pembuangan (*Outfall*). Di lokasi ini, buangan diencerkan dengan faktor 21,3. Buangan ini

mewakili perbaikan signifikan dalam efek buangan air limbah campuran. Hasil ini dikarenakan penyebaran *plume* yang lebih besar hasil dari pembuangan di kedalaman menengah (*mid-depth*) di atas dasar laut. Konsentrasi parameter maksimum yang dihasilkan, termasuk konsentrasi rona awal diperlihatkan pada **Tabel 6-10**. Seperti yang dapat dilihat, tidak ada parameter yang diprediksi melebihi baku mutu ambien.



**Gambar 6-9** Plot Kontur dari Sensitivitas Faktor Pengenceran Minimum Pembuangan Air Limbah Campuran pada Dermaga 1 (Pembuangan di Kedalaman -6 m LAT)

**Tabel 6-10** Konsentrasi Ambien Maksimum yang Diperkirakan Akibat dari Sensitivitas Kedalaman Buangan Air Limbah Campuran pada Dermaga 1

Parameter	Baku Mutu Ambien	Konsentrasi Maksimum Parameter	
		Kedalaman Pembuangan -13mLAT	Kedalaman Pembuangan -6mLAT
TotalAmmonia(mg/LasN)	0,30	0,82	0,19
Arsenic(mg/L)	0,0120	0,0022	0,0012
BOD5(mg/L)	20,0	3,8	2,5
Cadmium(mg/L)	0,0010	0,0012	0,0004
Chromium-VI(mg/L)	0,005	0,012	0,004
Copper(mg/L)	0,008	0,029	0,007
DissolvedOxygen(mg/L)	>5,00	4,34	5,29
Lead(mg/L)	0,008	0,012	0,003
Mercury(mg/L)	0,00100	0,00007	0,00005
OilandGrease(mg/L)	1,0	1,0	1,0
pH	6,5-8,5	8,13	8,07

Parameter	Baku Mutu Ambien	Konsentrasi Maksimum Parameter	
		Kedalaman Pembuangan -13mLAT	Kedalaman Pembuangan -6mLAT
Salinity(ppt)	34,0	30,8	28,7
Sulfide(mg/L)	0,010	0,002	0,002
Temperatur(°C)	32,0	30,2	29,2
TotalPhenol(mg/L)	0,002	0,001	0,001
TSS(mg/L)	80,0	60,0	29,4
Zinc(mg/L)	0,050	<b>0,226</b>	0,009

## 6.5 KESIMPULAN

Hasil dari pemodelan *far-field* menunjukkan bahwa pembuangan air limbah campuran (*comingled wastewater*) dari kegiatan Proyek Pengembangan Tangguh LNG berpotensi melebihi baku mutu kualitas air ambien untuk beberapa parameter. Pada jarak 100 m dari lokasi pembuangan (*outfall*), parameter-parameter ammonia, kromium, tembaga, DO, timbal dan seng mungkin dapat melebihi baku mutu. Namun demikian, untuk parameter kromium, tembaga dan timbal, prediksi ini terutama merupakan sebuah *artefact* dari sifat pada data sampel aliran limbah. Sementara itu konsentrasinya ammonia, DO, dan seng diperkirakan sangat konservatif dikarenakan asumsi yang dibuat berkaitan dengan konsentrasi buangan dan dianggap tidak ada kehilangan selama proses (*no loss process*), mungkin sebaiknya berhati-hati untuk menggunakan beberapa tindakan sederhana yang dapat mengurangi dampak. Konsentrasi lebih rendah dapat dicapai dengan penggunaan Dermaga 2 sebagai lokasi pembuangan (*Outfall*). Penambahan dalam penurunan konsentrasi juga dapat dicapai dengan pembuangan ke kedalaman tengah (*mid depth*) dalam kolom air agar memungkinkan dispersi yang lebih luas. Untuk alasan yang sama, diharapkan (meskipun tidak dilakukan pemodelan dalam studi ini), penempatan lokasi pembuangan (*outfall*) jauh dari dermaga yang menuju laut juga akan meningkatkan dispersi dan mengurangi dampak.

Pembuangan air limbah dari kegiatan uji tes tekan (*hydrottest*) merupakan hasil dari pembilasan (*Flushing*) perpipaan dengan air tawar yang diolah dengan *biocide*, *oxygen scavenger*, dan *flourescein tracer*. Pembilasan dilakukan dengan mengisi penuh jalur pipa dengan air yang telah diolah tersebut dan kemudian melakukan 'pigging' pada jalur pipa tersebut.

### 7.1 RANCANGAN SKENARIO

Ada empat lokasi lepas pantai yang dipertimbangkan untuk menjadi tempat pembuangan : ROA, WDA, VRF, dan UBA (Lihat **Gambar 3-1**). Keempat lokasi tersebut dipilih oleh Tangguh LNG berdasarkan pertimbangan berikut:

- ROA - Air dalam perpipaan WDA-ROA yang dibuang mewakili kegiatan pengosongan air (*dewatering*) di ROA dengan rute yang paling panjang;
- WDA - Air dalam perpipaan ORF-ROA dan ROA-WDA yang dibuang pada saat yang sama mewakili volume air yang lebih besar;
- VRF- Air dalam perpipaan ORF-VRF yang dibuang mewakili kegiatan pengosongan air (*dewatering*) di Koridor Timur.
- UBA - Air dalam perpipaan ORF-ROA dan ROA-UBA yang dibuang mewakili kegiatan pengosongan air (*dewatering*) dengan rute yang paling panjang dan mewakili kegiatan pengosongan air (*dewatering*) di Koridor Barat.

Setiap lokasi pembuangan ini diperhitungkan secara terpisah. Untuk simulasi *far-field*, setiap lokasi pembuangan (*Outfall*) disimulasikan untuk mewakili kondisi musim kemarau dan musim hujan. Untuk simulasi *near-field*, setiap lokasi pembuangan (*Outfall*) disimulasikan agar mewakili dua kondisi pasang air laut, pasang naik dan pasang surut.

Bahan kimia yang ditambahkan pada air tawar untuk kegiatan uji tes tekan (*hydrottesting*) adalah parameter-parameter yang tidak dapat ditemukan secara alamiah di lingkungan. Sehingga, diasumsikan bahwa seluruh konsentrasi rona awal dari berbagai zat tambahan (*additives*) ini adalah nol.

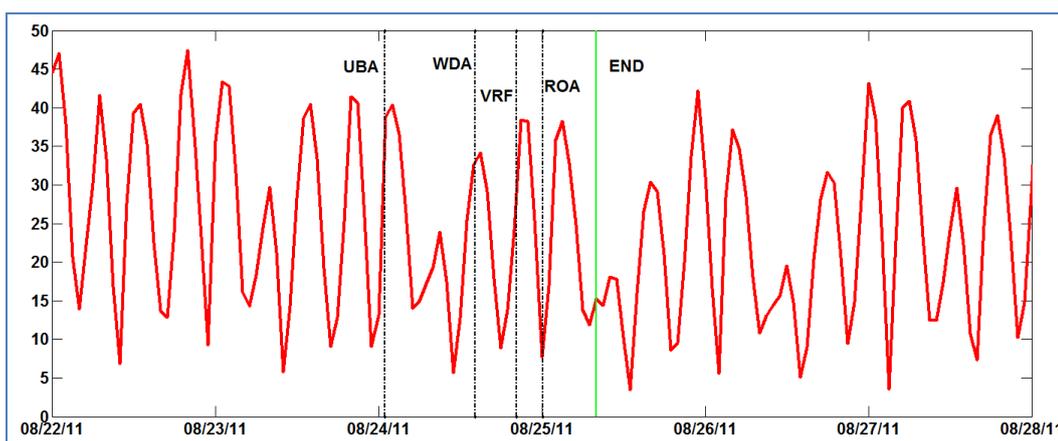
### 7.2 INFORMASI PEMBUANGAN

Kecepatan 'pig' adalah antara 0,3 dan 0,5m/detik. Kecepatan 0,5m/detik ini diasumsikan karena akan menghasilkan buangan dengan intensitas tertinggi. Untuk perpipaan dengan diameter 24", volume per kilometer panjang pipa diperkirakan mencapai 250 m<sup>3</sup>/km. Kombinasi antara kecepatan dan volume per kilometer mewakili debit buangan sebesar 450 m<sup>3</sup>/jam. Durasi pembuangan terbatas pada waktu yang diperlukan untuk membersihkan perpipaan. Tiap lokasi pembuangan mewakili kegiatan *hydrottest* dari perpipaan dengan panjang yang berbeda, sehingga durasi pembuangan akan berbeda sesuai lokasi seperti yang terlihat pada **Tabel 7-1**. Kedalaman pembuangan adalah -3 m LAT pada semua lokasi. Diameter pipa pembuangan (*Outfall*) adalah 4" vertikal ke bawah.

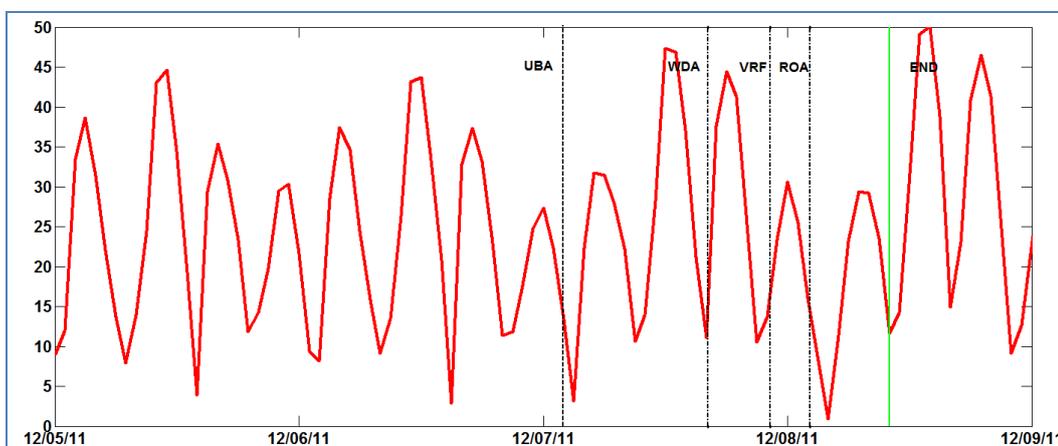
**Tabel 7-1 Lokasi pembuangan air limbah *hydrotest***

Lokasi	Panjang (km)	Volume (m <sup>3</sup> )	Durasi (hours)
ROA	14	3500	7,8
VRF	21	5250	11,7
WDA	32	8000	17,8
UBA	56	14000	31,1

Karena durasi pembuangan terbatas, maka pemilihan waktu secara spesifik untuk pembuangan pada pemodelan *far-field* dipilih dari masing-masing simulasi musim hujan dan musim kemarau. Pemilihan waktu ini disesuaikan dengan kondisi kecepatan arus rendah agar mensimulasikan kondisi terburuk (*worst-case conditions*). Berbagai periode yang dipilih ditunjukkan pada Gambar 7-1 dan Gambar 7-2.



**Gambar 7-1 Kecepatan Arus Permukaan saat Musim Kemarau pada Dermaga 1 dengan Durasi Pembuangan seperti Ditunjukkan**



**Gambar 7-2 Kecepatan Arus Permukaan saat Musim Hujan pada Dermaga 1 dengan Durasi Pembuangan seperti Ditunjukkan**

Air pembuangan yang telah diolah diasumsikan memiliki konsentrasi zat tambahan seperti terlihat pada Tabel 7-2.

**Tabel 7-2 Konsentrasi Pembuangan Air *Hydrotest***

Parameter	Konsentrasi (mg/L)
<i>Oxygenscavenger</i>	100
<i>Biocide</i>	550
<i>FluoresceinDye</i>	30

### 7.3 PEMODELAN NEAR-FIELD

Pengenceran (*dilution*) air limbah *hydrotest* dari empat lokasi (ROA, WDA, VRF and UBA) pada *near-field* dikaji menggunakan CORMIX (dijelaskan pada Bagian 4.3). Kedua kondisi pasang naik dan pasang surut dipertimbangkan dalam pembuangan air limbah *hydrotest* pada setiap lokasi.

Pada lokasi ROA, kecepatan arus yang diekstrak dari model hidrodinamika adalah 0,15 m/detik pada saat pasang naik dan 0,50 m/detik pada saat pasang surut. Pada lokasi WDA, kecepatan arusnya adalah 0,16 m/detik pada saat pasang naik dan 0,22 m/detik pada saat pasang surut. Pada lokasi VRF, kecepatan arusnya adalah 0,36 m/detik pada saat pasang naik dan 0,14 m/detik pada saat pasang surut. Pada lokasi UBA, kecepatan arusnya adalah 0,14 m/detik pada saat pasang naik dan 0,18 m/detik pada saat pasang surut. Nilai-nilai tersebut digunakan pada pemodelan *near-field* untuk mewakili arus ambien.

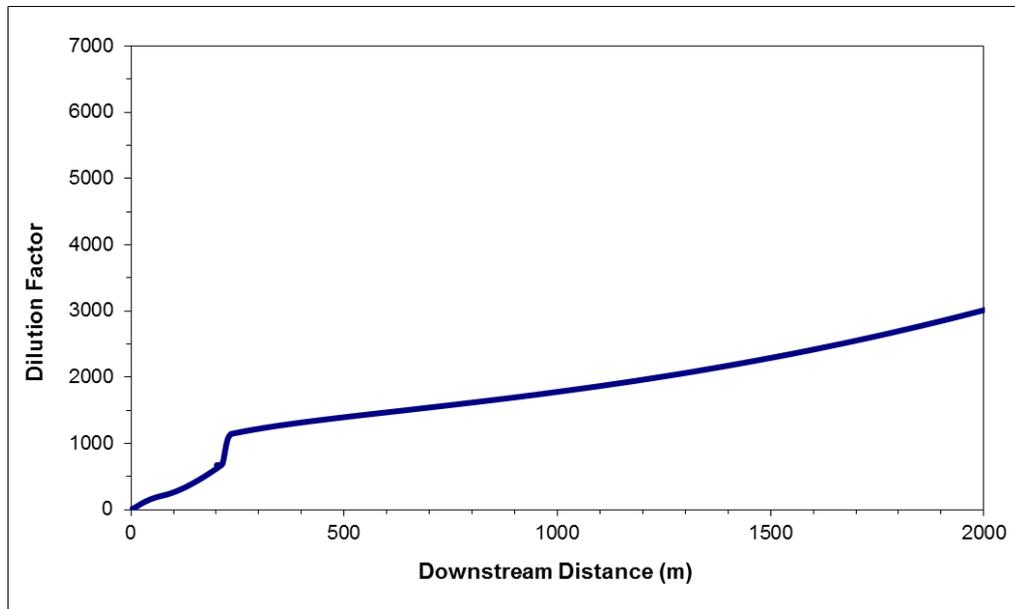
Kurva pengenceran saat pasang tinggi dan pasang rendah pada empat lokasi tersebut disajikan pada Gambar 7-3 sampai **Gambar 7-10**.

Pada lokasi ROA, faktor pelarutan saat pasang naik lebih besar dari pada saat pasang surut, kira-kira sampai sejauh 500 m ke arah hilir dari titik pembuangan. Namun, lebih dari 500 m, faktor pengenceran pada saat pasang surut justru lebih besar. Pada jarak 500 m, faktor pengenceran pada saat pasang naik dan pasang surut masing-masing sekitar 1400 dan 1300. Pada wilayah *near-field*, *plume* menyerupai jet dan bergerak cepat dengan pelarutan (*dilution*) lebih rendah ketika kecepatan arus ambien lebih besar. Di luar wilayah *near-field*, *plume* mulai menyebar, dan dalam proses ini, ketika kecepatan *arus ambien* makin besar, persebarannya makin luas. Sehingga, faktor pelarutan (*dilution*) pada saat pasang naik (kecepatan arus lebih kecil yaitu 0,15 m/detik) diprediksi akan lebih besar daripada pada saat pasang surut (kecepatan arus yang lebih besar sekitar 0,50 m/detik) pada jarak pendek. Pada jarak jauh dari titik pembuangan, faktor pelarutannya menjadi lebih besar pada saat pasang surut karena arus yang lebih besar.

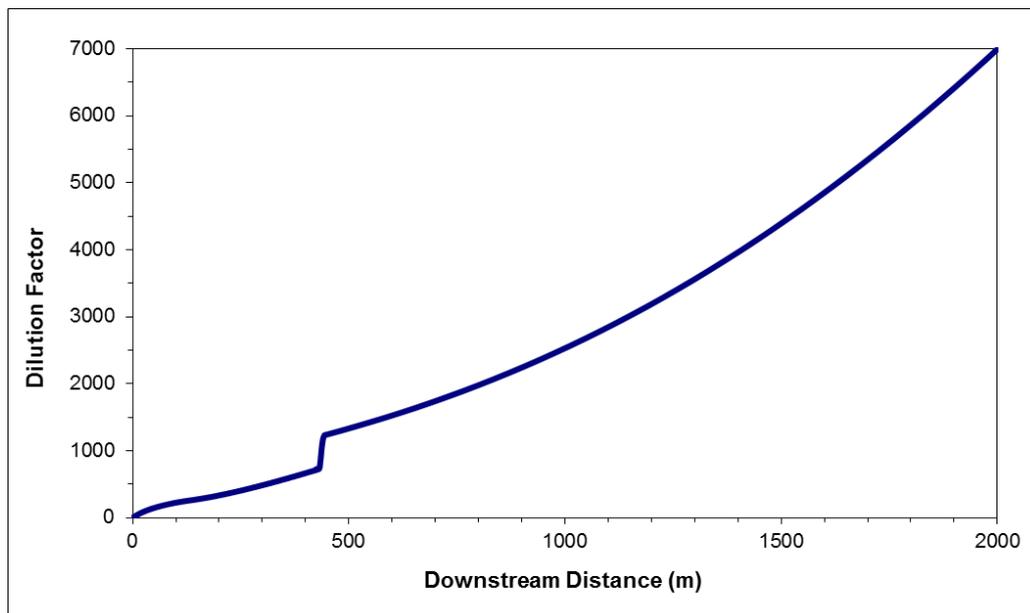
Di lokasi WDA, kurva pelarutan (*dilution curve*) sama pada saat pasang naik dan pasang surut, namun lebih dari jarak 1500 m, faktor pelarutan (*dilution factor*) pada saat pasang surut lebih besar. Pada jarak 1500 m ke arah hilir, faktor pelarutan (*dilution factor*) pada saat pasang naik (surut) adalah sekitar 2270 (2540). Tren seperti ini pada faktor pelarutan (*dilution factor*) saat pasang naik dan pasang surut tersebut juga turut diperhitungkan sebagai penyebab perbedaan kecepatan arus seperti yang disebutkan di atas.

Pada lokasi VRF, faktor pelarutan (*dilution factor*) pada saat pasang surut lebih besar daripada saat pasang naik dalam jarak 430 m ke arah hilir. Namun, lebih dari jarak 430 m, faktor pelarutan (*dilution factor*) pada saat pasang naik lebih besar. Pada jarak 430 m ke arah hilir, faktor pelarutan (*dilution factor*) pada saat pasang naik (surut) adalah sekitar 1320 (1150).

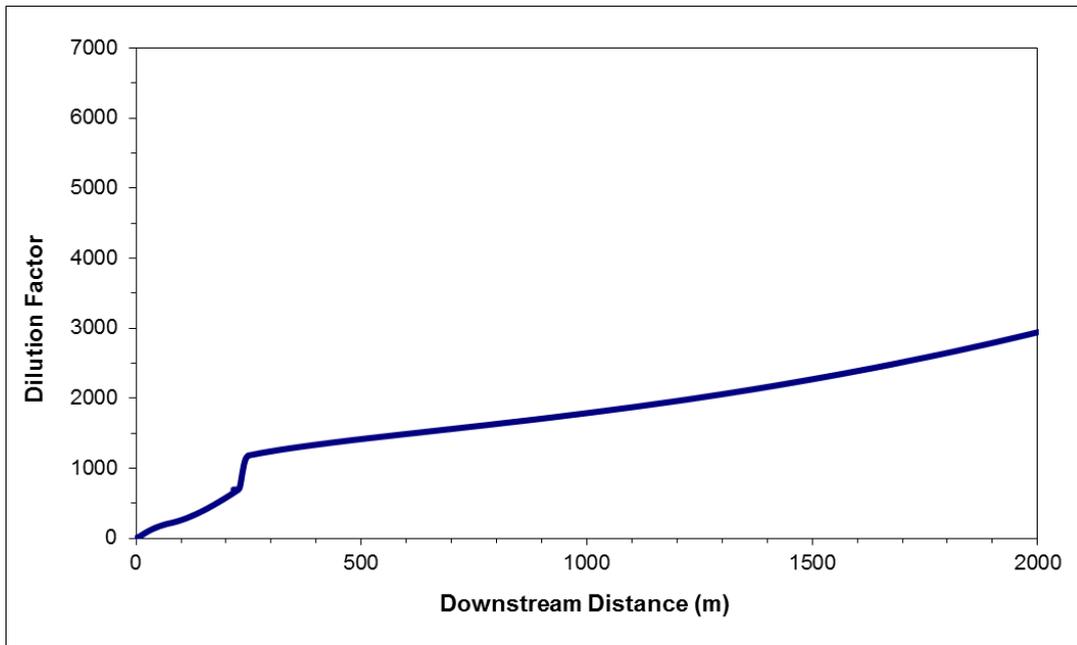
Di lokasi UBA, pelarutan (*dilution*) pada saat pasang surut lebih besar daripada saat pasang naik. Pada jarak 500 m ke arah hilir, faktor pelarutan (*dilution factor*) pada saat pasang naik (surut) adalah sekitar 420 (570).



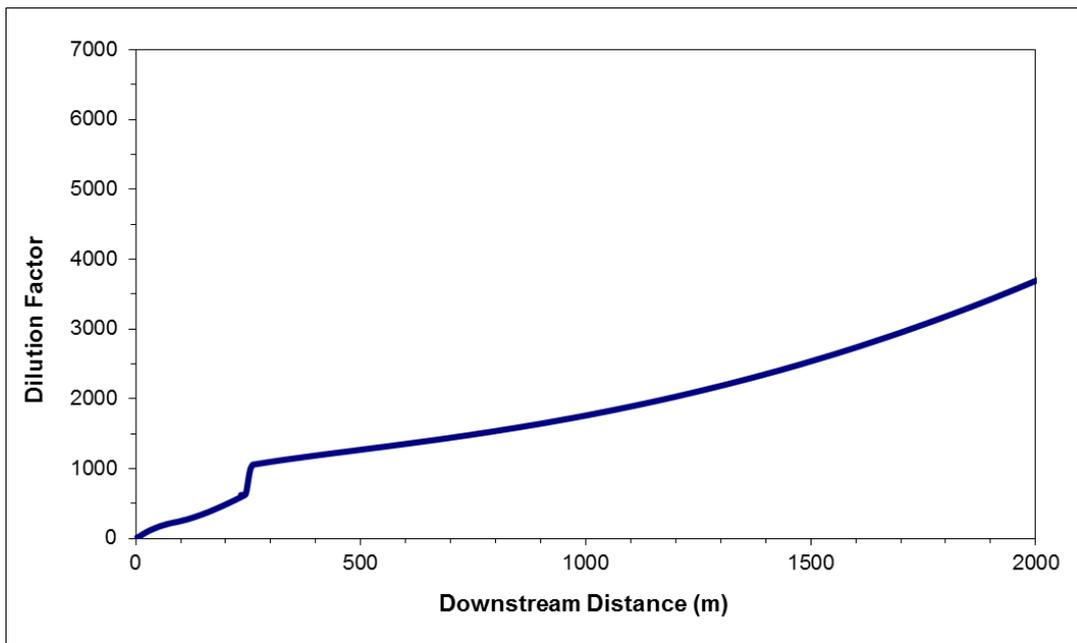
**Gambar 7-3** Faktor Pelarutan (*dilution factor*) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrottest dari ROA pada saat Pasang Naik



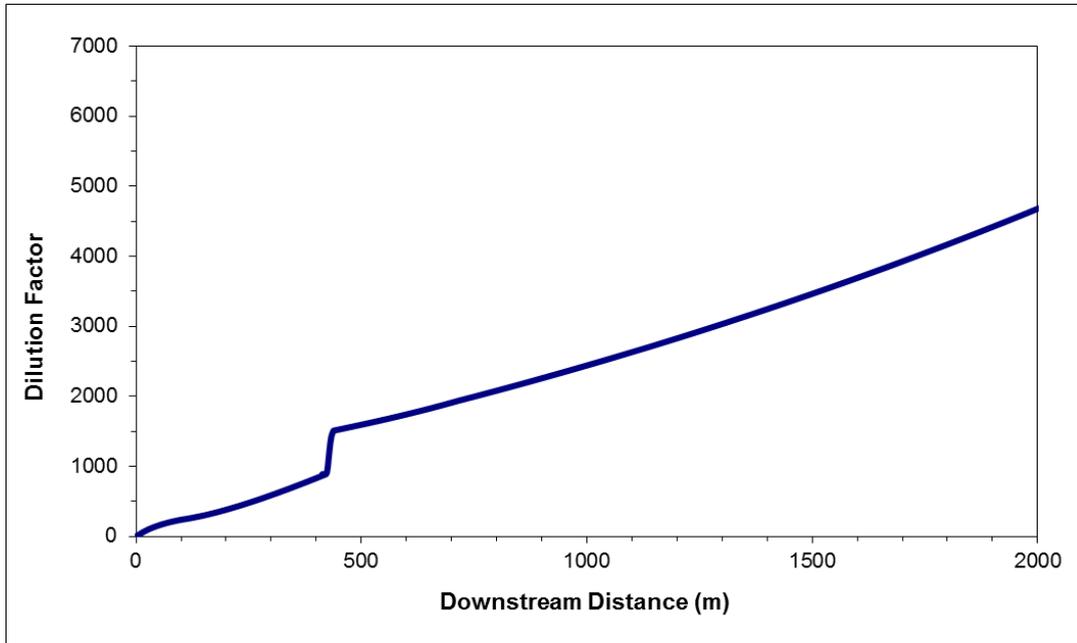
**Gambar 7-4** Faktor Pelarutan (*dilution factor*) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrottest dari ROA pada saat Pasang Surut



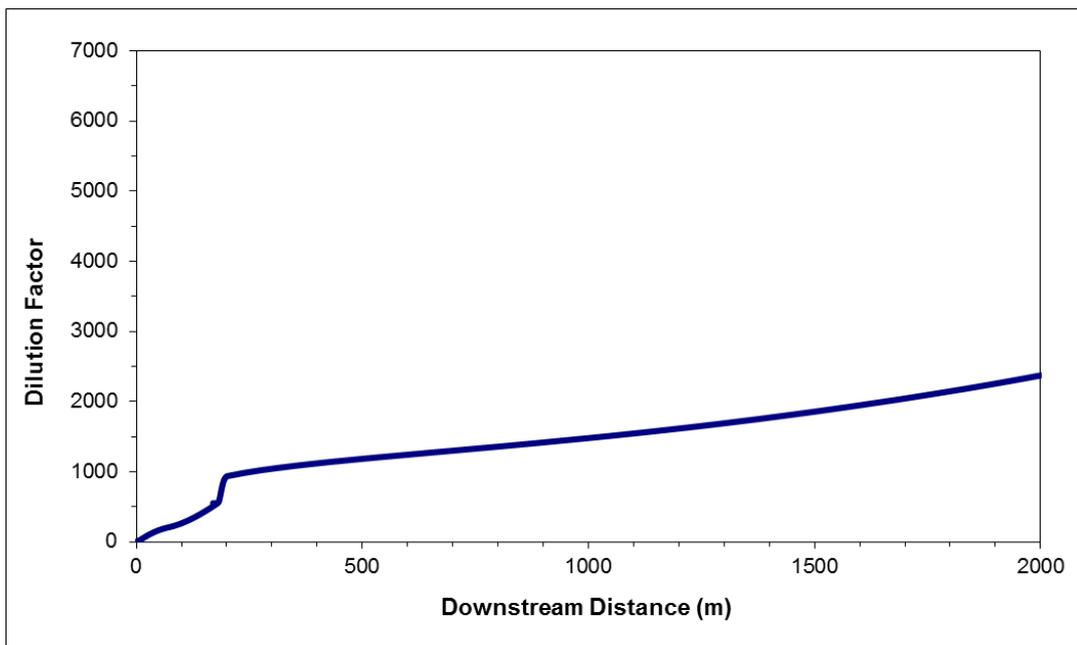
**Gambar 7-5** *Faktor Pelarutan (dilution factor) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrotest dari WDA pada saat Pasang Naik*



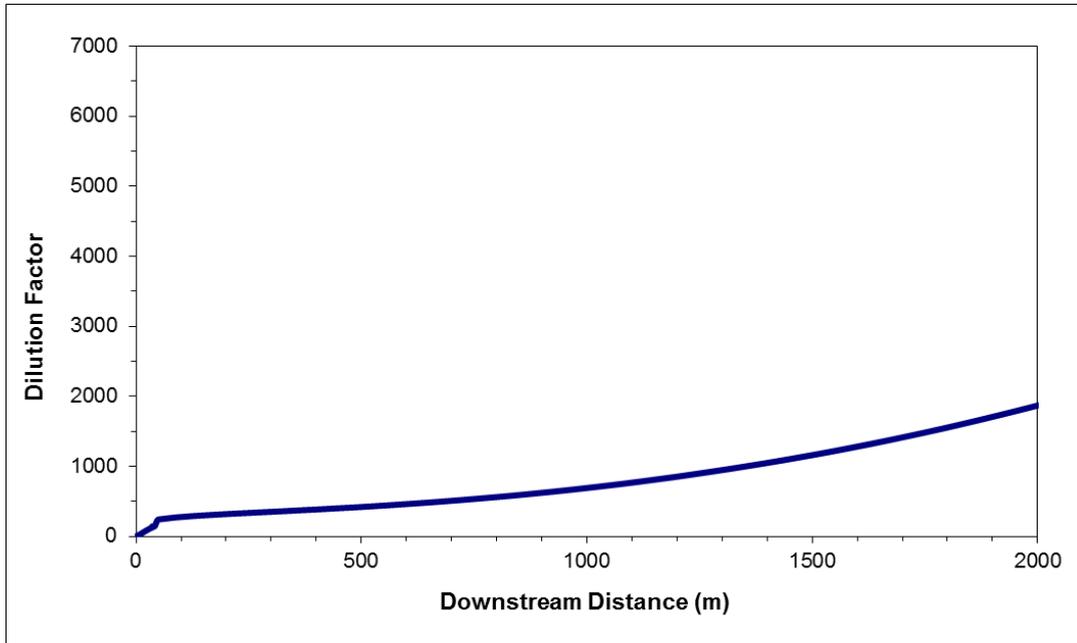
**Gambar 7-6** *Faktor Pelarutan (dilution factor) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrotest dari WDA pada saat Pasang Surut*



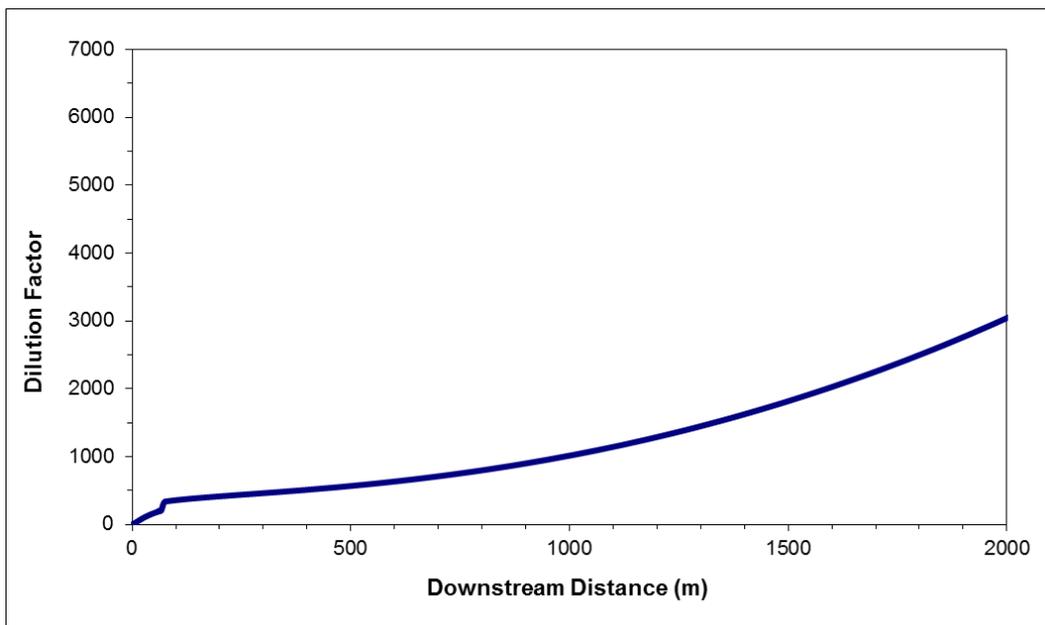
**Gambar 7-7** *Faktor Pelarutan (dilution factor) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrotest dari VRF pada saat Pasang Naik*



**Gambar 7-8** *Faktor Pelarutan (dilution factor) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrotest dari VRF pada saat Pasang Surut*



**Gambar 7-9** *Faktor Pelarutan (dilution factor) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrottest dari UBA pada saat Pasang Naik*



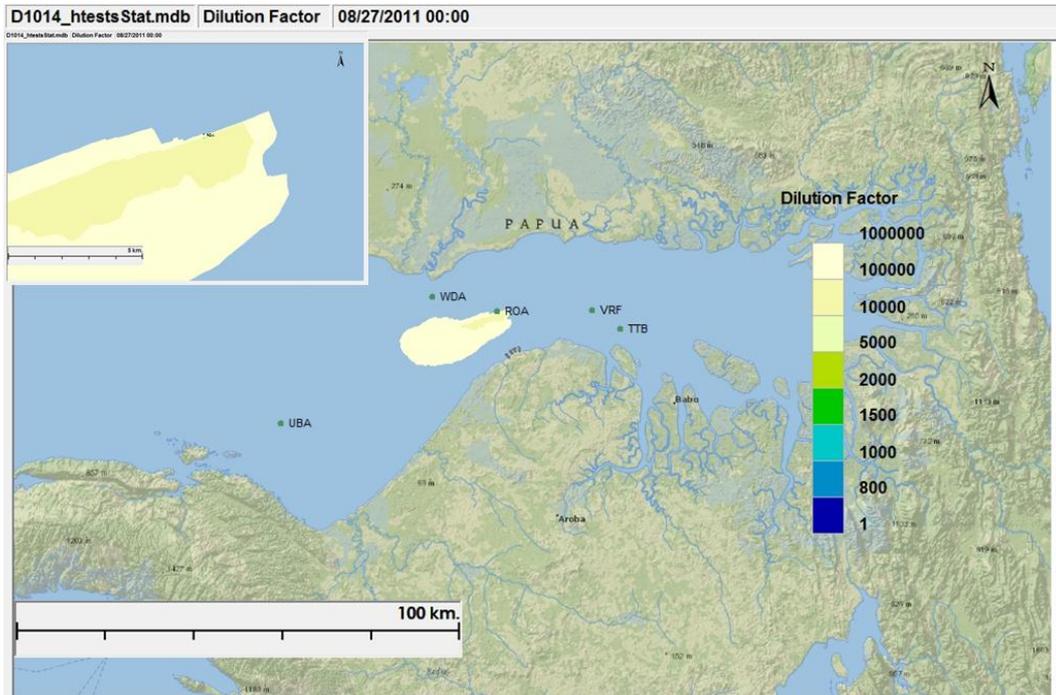
**Gambar 7-10** *Faktor Pelarutan (dilution factor) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrottest dari UBA pada saat Pasang Surut*

#### 7.4 PEMODELAN FAR-FIELD

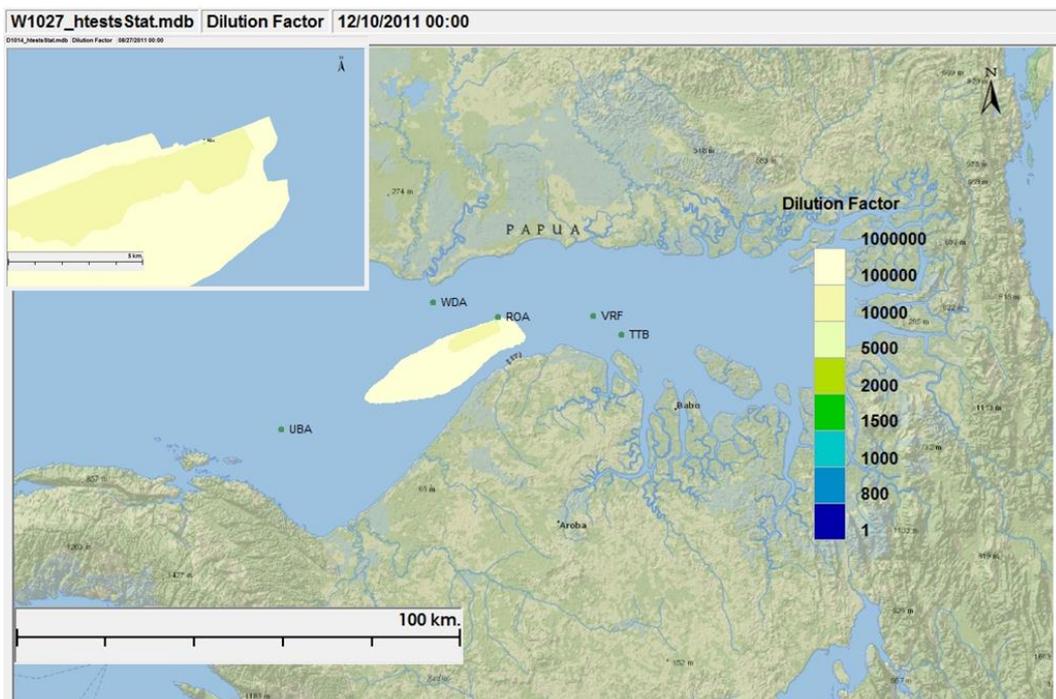
Bagian ini menyajikan berbagai temuan atas pemodelan *far-field* pembuangan air limbah *hydrotest*. Seperti yang diharapkan, pembuangan pada wilayah lepas pantai menghasilkan pelarutan yang besar dari pembuangan disebabkan besarnya volume dan tingginya kecepatan. Seluruh konsentrasi maksimum terjadi pada lokasi dan kedalaman pembuangan. Namun, seharusnya diperhatikan bahwa konsentrasi *far-field* merupakan konsentrasi rata-rata pada tiap sel *grid*. Karena ukuran sel *grid* pada wilayah lepas pantai adalah 500 sampai 1.000 m, konsentrasi pada sumber tersebut mewakili konsentrasi rata-rata pada jarak 250 sampai 500 m. Untuk konsentrasi mendekati ini ke titik pembuangan (*outfall*), sebaiknya memakai hasil dari pemodelan *near-field*.

Sebagai tambahan, karena durasi terbatas dari pembuangan air limbah *hydrotest*, bentuk dan arah dari resultante parameter *plume* tergantung sebagian besar pada tahap siklus pasang-surut apa pembuangan dilakukan. Untuk simulasi yang dipaparkan, pembuangan diasumsikan akan berakhir pada saat pasang surut, sehingga hasil model pemuangannya cenderung akan mengalir ke arah laut. Jika pembuangan terjadi pada saat air pasang banjir (*flood tide*), arah *constituent plume* akan merupakan kebalikannya. Namun, diharapkan bahwa pengenceran akan serupa karena adanya kesamaan statistik kondisi arus. Ukuran *plume* kecil dan, karenanya, tidak akan berdampak pada akumulasi jika diarahkan ke arah dalam Teluk pada kondisi banjir.

Gambar 7-11 dan **Gambar 7-12** menunjukkan faktor pelarutan (*dilution factor*) minimum selama durasi pembuangan untuk pembuangan air limbah *hydrotest* di ROA pada musim kemarau dan musim hujan. Pelarutan terendah (yaitu konsentrasi tertinggi) terjadi pada titik pembuangan (*Outfall*) - pembuangan dilarutkan dengan faktor 2.600 dan 1.300 untuk musim kemarau dan hujan. Hasil konsentrasi maksimum konstituennya ditunjukkan pada **Tabel 7-3**.

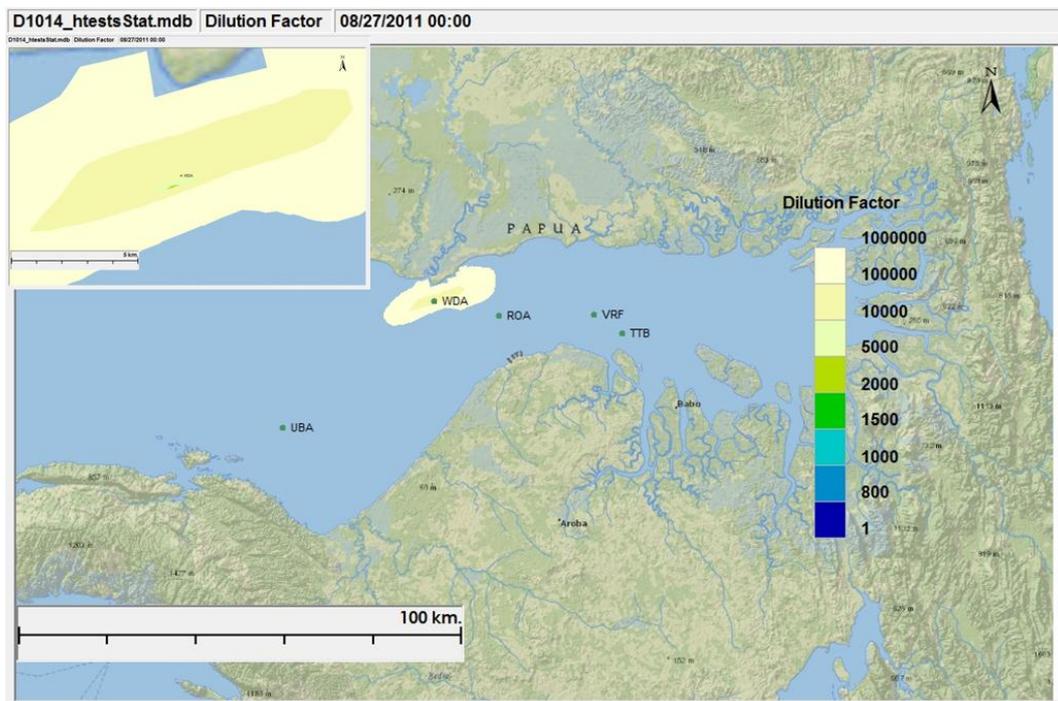


**Gambar 7-11** Kontur Plot Pembuangan Air Limbah *hydrotest* ROA dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Kemarau

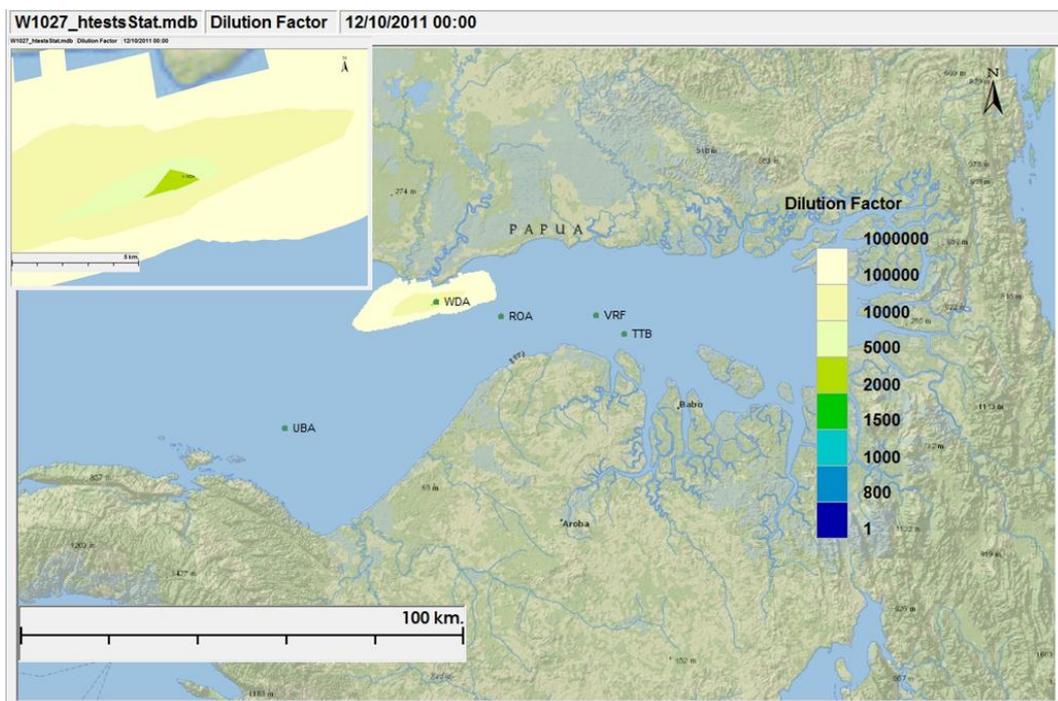


**Gambar 7-12** Kontur Plot Pembuangan Air Limbah *Hydrotest* ROA dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Hujan

Gambar 7-13 dan **Gambar 7-14** menunjukkan faktor pelarutan terkecil untuk pembuangan air limbah *hydrotest* pada WDA. Nilai pelarutan terkecil terjadi di titik pembuangan dan, secara berurutan, sebesar 3.300 dan 2.200 pada musim kemarau dan musim hujan. Hasil konsentrasi maksimum parameter terkait ditunjukkan pada Tabel 7-3.

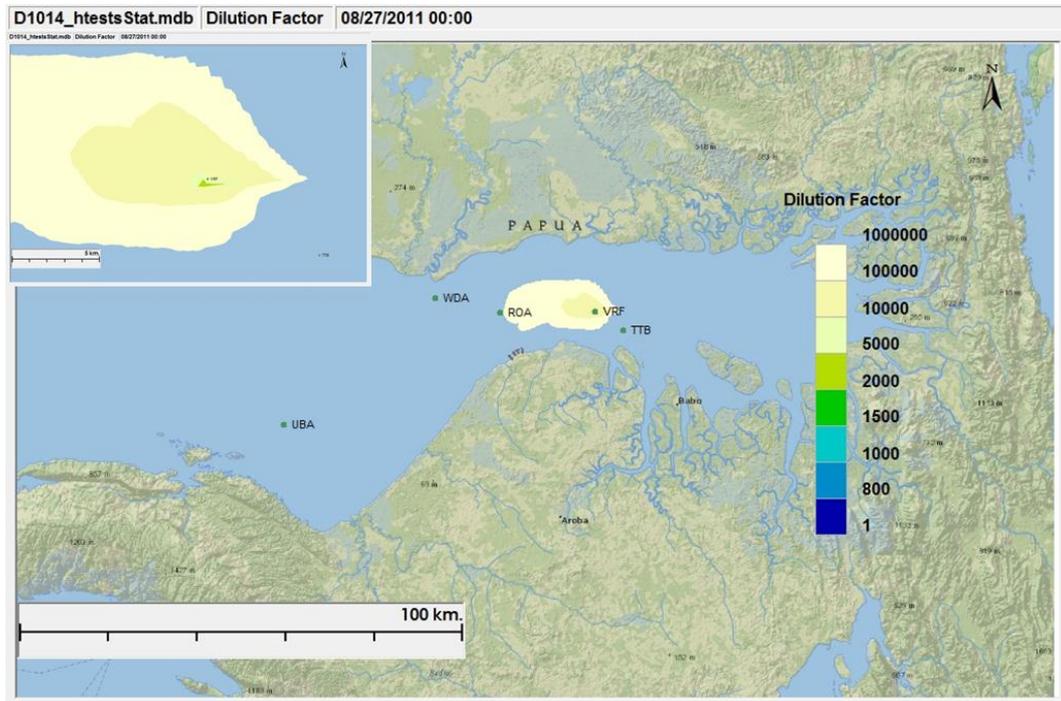


**Gambar 7-13** Kontur Plot Pembuangan Air Limbah *Hydrotest* WDA dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Kemarau

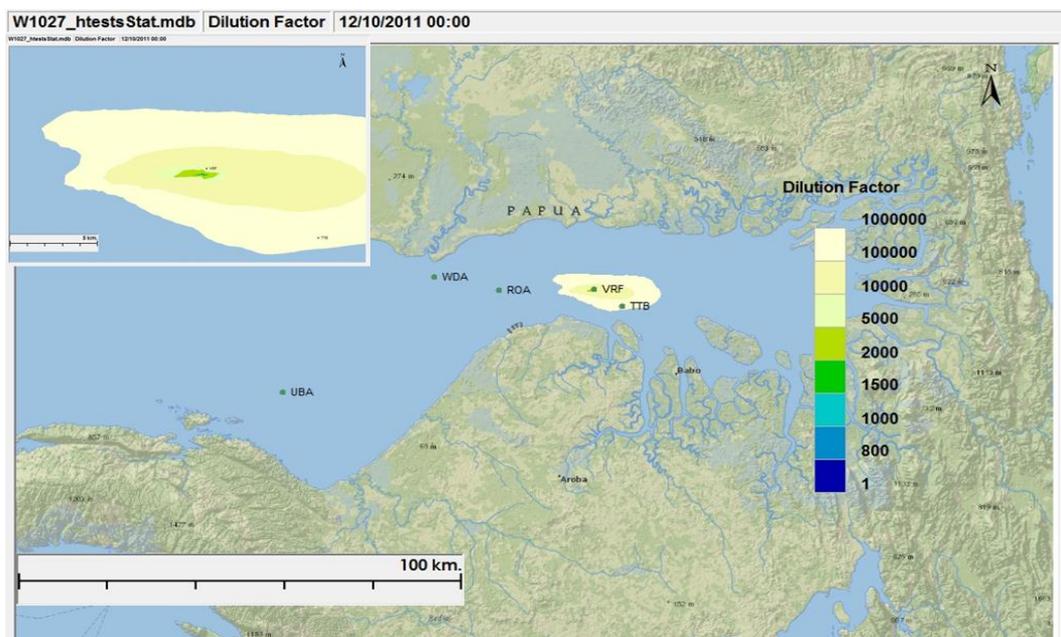


**Gambar 7-14** Kontur Plot Pembuangan Air Limbah *Hydrotest* WDA dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Hujan

Gambar 7-15 dan **Gambar 7-16** menunjukkan faktor pelarutan terkecil untuk pembuangan air limbah *hydrotest* pada VRF. Hasil pelarutan terkecil pada faktor pelarutan, secara berurutan adalah 2.000 dan 780 untuk musim kemarau dan musim hujan. Hasil konsentrasi maksimum konstituen terkait ditunjukkan pada **Tabel 7-3**.

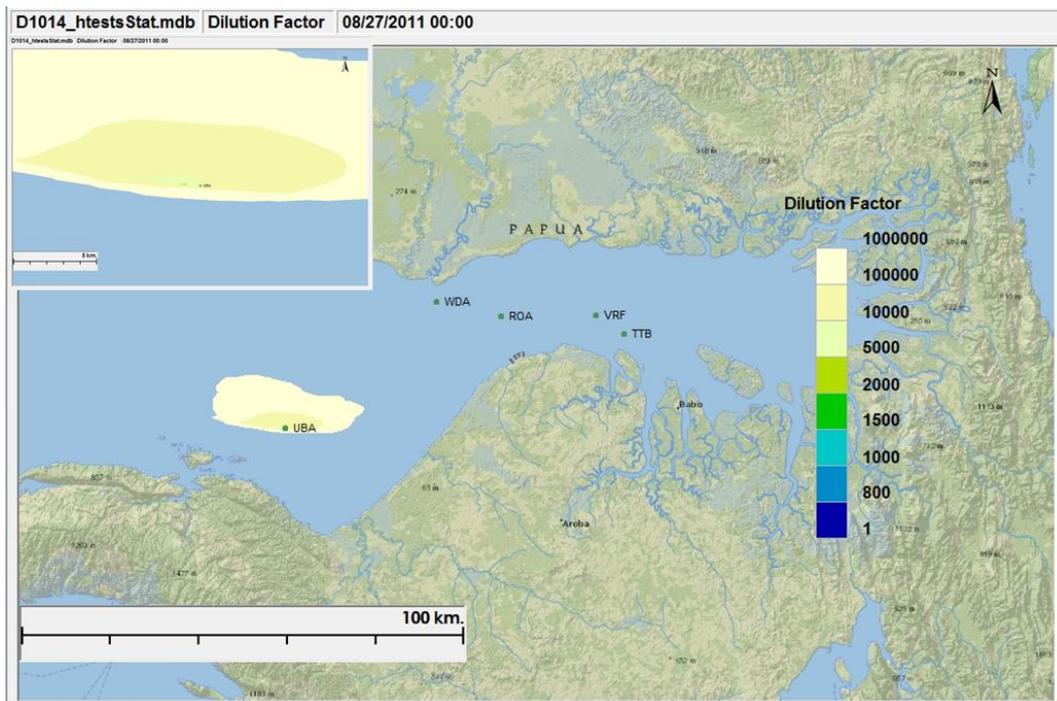


**Gambar 7-15** Kontur Plot Pembuangan Air Limbah *Hydrotest* VRF dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Kemarau

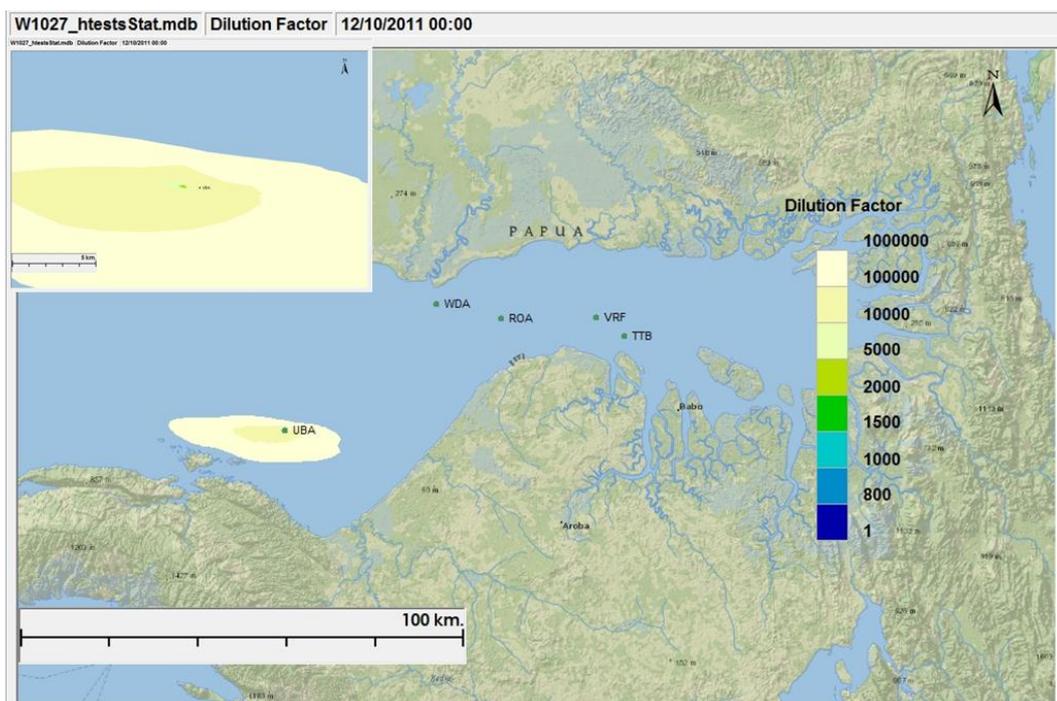


**Gambar 7-16** Kontur Plot Pembuangan Air Limbah *Hydrotest* VRF dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Hujan

Gambar 7-17 dan **Gambar 7-18** menunjukkan faktor pelarutan terkecil untuk pembuangan air limbah *hydrotest* pada UBA. Hasil pengenceran terkecil pada faktor pelarutan, secara berurutan adalah 4400 dan 3300 untuk musim kemarau dan musim hujan. Hasil konsentrasi maksimum konstituen terkait ditunjukkan pada **Tabel 7-3**.



**Gambar 7-17** Kontur Plot Pembuangan Air Limbah *Hydrotest* UBA dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Kemarau



**Gambar 7-18** Kontur Plot Pembuangan Air Limbah *Hydrotest* UBA dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Hujan

**Tabel 7-3 Konsentrasi Ambien Maksimum yang Diperkirakan Akibat Pembuangan Air Limbah *Hydrotest***

Parameter	Konsentrasi Maksimum (mg/L)							
	ROA		WDA		VRF		UBA	
	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet
<i>Oxygenscavenger</i>	0,038	0,075	0,030	0,045	0,049	0,13	0,022	0,032
<i>Biocide</i>	0,21	0,41	0,16	0,24	0,27	0,71	0,12	0,17
<i>FluoresceinDye</i>	0,011	0,022	0,009	0,013	0,014	0,038	0,0067	0,0096

## 7.5 KESIMPULAN

Hasil pemodelan *far-field* menunjukkan bahwa pembuangan air limbah *hydrotest* dari anjungan lepas pantai akan menimbulkan kadar konsentrasi bahan kimia tambahan yang sangat kecil. Jika tidak ada baku mutu kualitas air di lingkungan yang bersangkutan untuk berbagai bahan kimia tersebut, maka pelarutan paling sedikit sebesar 700:1 pada 500 m pertama dapat tercapai. Lokasi yang akan menghasilkan konsentrasi ambien terendah adalah UBA, sementara konsentrasi tertinggi akan terjadi pada VRF (kemungkinan karena kurangnya kedalaman dan arusnya). Kondisi musim saat pembuangan juga memiliki efek tertentu. Kadar konsentrasi yang lebih rendah akan dapat dicapai pada musim kemarau kemungkinan karena meningkatnya pencampuran akibat penurunan stratifikasi. Saat penentuan (misalnya kondisi pasang-surut) pembuangan mempunyai efek yang besar terhadap lintasan *plume*; jika ada penerima dampak (*receptor*) di dekatnya, penentuan waktu pembuangan memungkinkan menghindari penerima dampak (*receptor*).

## 8 PEMODELAN PEMBUANGAN AIR GABUNGAN AIR LIMBAH DAN AIR LIMBAH HYDROTEST

Air limbah *hydrotest* yang dibuang pada area terminal khusus diinvestigasi karena air limbah *hydrotest* tersebut akan digabungkan dengan buangan air limbahnya yang dibuang secara bersamaan

### 8.1 RANCANGAN SKENARIO

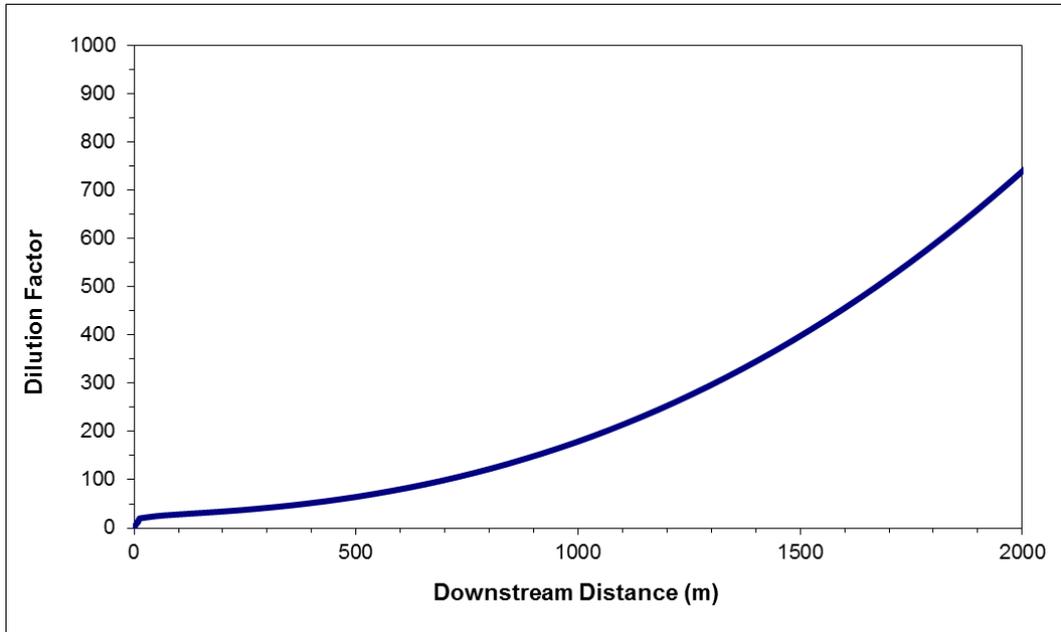
Dua lokasi pembuangan yang sama juga tengah dipertimbangkan pada Bagian 6: titik pembuangan yang ada pada ujung terjauh Dermaga 1 dan rencana titik pembuangan pada ujung terjauh Dermaga 2. Buangan gabungan keseluruhan sedang dipertimbangkan untuk dibuang dari tiap titik pembuangan secara bergantian. Untuk simulasi *far-field*, setiap titik pembuangan disimulasikan agar mewakili kondisi pada musim hujan dan musim kemarau seperti dijelaskan pada Bagian 5.3. Untuk simulasi *near-field*, setiap titik pembuangan disimulasikan agar mewakili kondisi dua jenis pasang surut, yaitu pasang naik dan pasang surut.

### 8.2 INFORMASI PEMBUANGAN

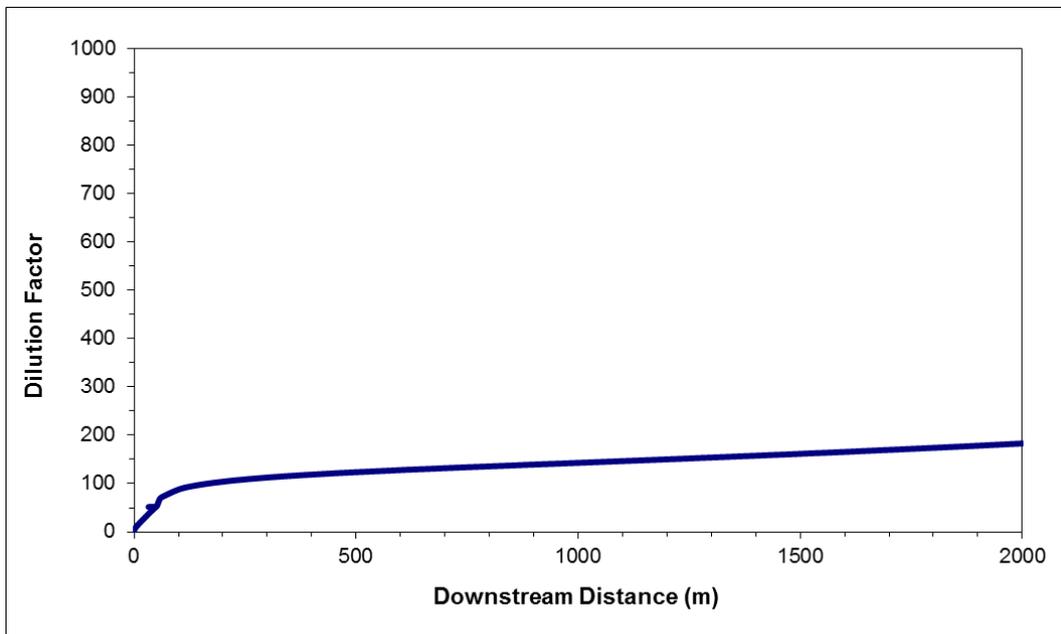
Kecepatan pembuangan, komposisi, dan penentuan waktu serupa dengan informasi yang dijelaskan pada Bagian 6.2 dan Bagian 7.2, dengan kedua buangan tersebut yang dilepaskan secara bersamaan pada dua titik pembuangan di fasilitas terminal khusus. Diasumsikan bahwa volume air limbah *hydrotest* yang dibuang mewakili pembersihan (*flushing*) pada jalur pipa terpanjang (UBA: 14.000 m<sup>3</sup>).

### 8.3 PEMODELAN NEAR-FIELD

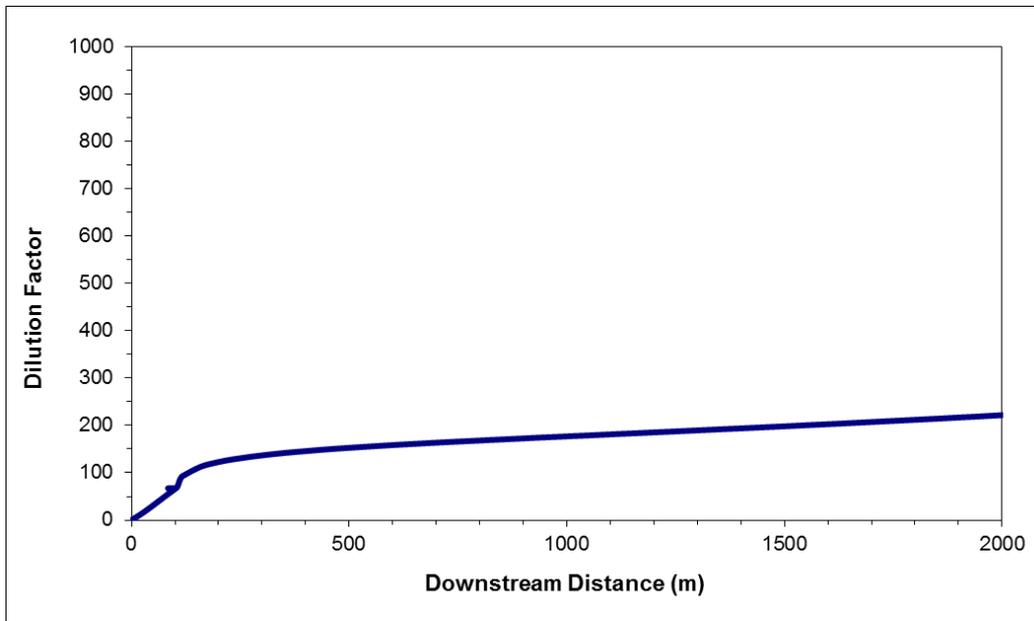
Pelarutan (*dilution*) dari parameter-parameter air limbah *hydrotest* sangat penting, meskipun tidak ada baku mutu kualitas air bagi parameter-parameter ini. Pelarutan buangan air limbah *hydrotest* dari Dermaga 1 dan 2 diperkirakan dengan CORMIX menggunakan kondisi ambien yang sama seperti buangan air limbah campuran dari Dermaga 1 dan 2. Faktor pelarutan (*dilution factor*) untuk buangan air limbah gabungan (campuran air limbah dan air limbah *hydrotest*) dari Dermaga 1 dan 2 pada saat pasang naik dan pasang surut ditunjukkan pada **Gambar 8-1** sampai **Gambar 8-4**. Harus diperhatikan bahwa karena kurva pelarutan ini untuk aliran air limbah gabungan, maka faktor pelarutan untuk parameter-parameter air limbah *hydrotest* harus dikalikan dengan 5,3 ( $(Q_{\text{comingled}} + Q_{\text{hydrotest}})/Q_{\text{hydrotest}}$ ) untuk menghitung pelarutan awal yang digabungkan dengan aliran air limbahnya.



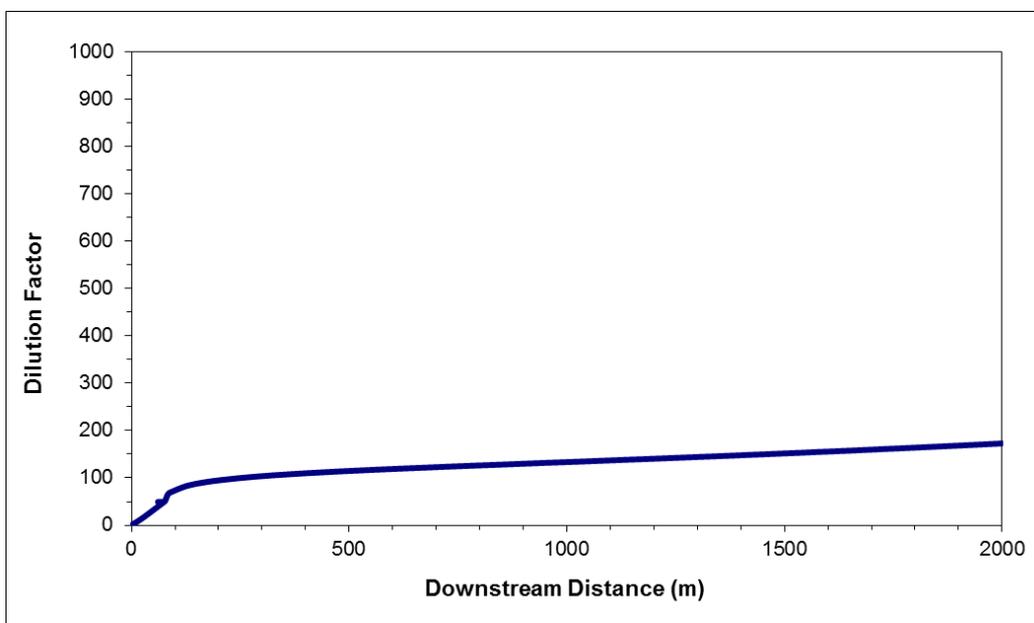
**Gambar 8-1** Faktor Pelarutan (*dilution factor*) dengan Jarak Pembuangan ke Hilir - Pembuangan Air Limbah *hydrotest* dari Dermaga 1 pada Pasang Naik



**Gambar 8-2** Faktor Pelarutan (*dilution factor*) dengan Jarak Pembuangan ke Hilir - Pembuangan Air Limbah *hydrotest* dari Dermaga 1 pada Pasang Surut



**Gambar 8-3** Faktor Pelarutan (*dilution factor*) dengan Jarak Pembuangan ke Hilir - Pembuangan Air Limbah *hydrotest* dari Dermaga 2 pada Pasang Naik



**Gambar 8-4** Faktor Pelarutan (*dilution factor*) dengan Jarak Pembuangan ke Hilir - Pembuangan Air Limbah *hydrotest* dari Dermaga 2 pada Pasang Surut

Untuk pembuangan air limbah *hydrotest* dari Dermaga 1, kecepatan arus pada saat pasang naik (0,31 m/detik) jauh lebih besar daripada saat pasang surut (0,04 m/detik), sehingga diharapkan akan terjadi faktor pelarutan yang lebih tinggi pada saat pasang naik. Pada saat pasang naik, faktor pelarutan diperkirakan akan mencapai 28 (65) pada jarak 100 m (500 m) ke arah hilir. Pada saat pasang surut, faktor pelarutan diperkirakan mencapai 88 (65) pada jarak 100 m (500 m).

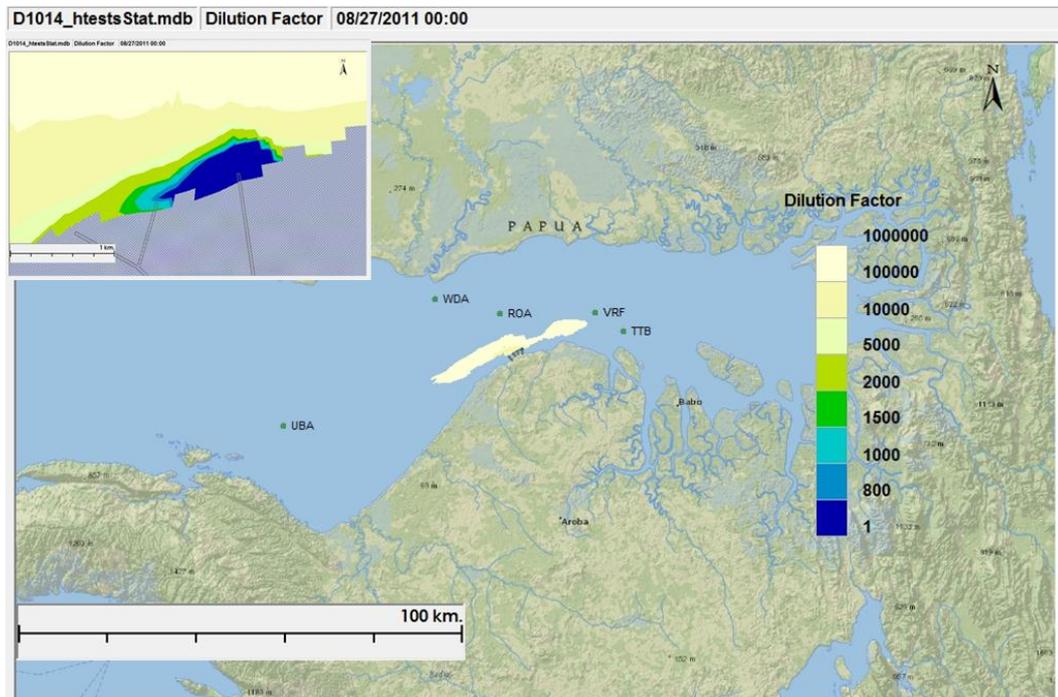
Untuk buangan air limbah *hydrotest* dari Dermaga 2, kecepatan arus pada saat pasang naik dan saat pasang surut juga serupa, yaitu secara berurutan, 0,042 m/detik dan 0,048 m/detik. Sehingga, proses pengenceran pada saat pasang naik dan pada saat pasang surut diketahui adalah serupa. Pada saat pasang naik, faktor pelarutan diperkirakan mencapai 66 (153) pada jarak 100 m (500 m) ke arah hilir dari titik pembuangan. Pada saat pasang surut, Faktor pelarutan (*dilution factor*) diperkirakan mencapai 75 (115) pada jarak 100m (500 m) ke arah hilir dari titik pembuangan. Pada saat kondisi pasang naik untuk Dermaga 2, CORMIX bekerja dengan asumsi posisi *plume* tercampur penuh secara vertikal (*vertically fully mixed plume*). Asumsi ini karena rendahnya kecepatan pada ambien yang bersangkutan. Namun, asumsi ini tidak akurat dan ada kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan pada penghitungan CORMIX. Pada kondisi ini, hasil dari model *far-field* harus dipertimbangkan.

Pada umumnya, pelarutan dari air limbah *hydrotest* dari Dermaga 1 dan 2 tidak terlihat secepat pelarutan buangan dari lokasi ROA, WDA, VRF, dan UBA.

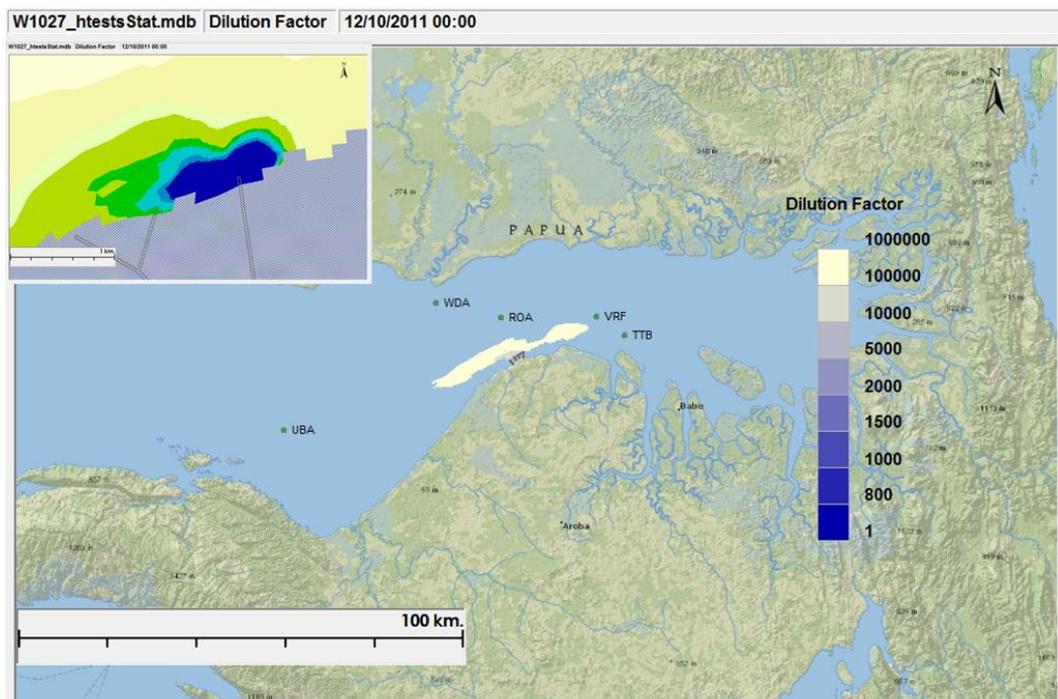
#### 8.4 PEMODELAN FAR-FIELD

Seperti yang diperkirakan, pembuangan pada wilayah dekat pantai dekat fasilitas terminal khusus menghasilkan pelarutan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan pembuangan lepas pantai. Semua konsentrasi maksimum terjadi pada lokasi dan kedalaman dari pembuangan. Se-sel *grid* pada area fasilitas terminal khusus berukuran 100 m, sehingga kadar konsentrasi pada sumbernya mewakili konsentrasi rata-rata pada 50 m pertama. Untuk konsentrasi yang lebih dekat dari ini pada titik pembuangan, seharusnya digunakan hasil model *near-field*.

Gambar 8-5 dan **Gambar 8-6** menunjukkan faktor pelarutan (*dilution factor*) minimum dari sebagian air limbah *hydrotest* dari gabungan aliran air limbah pada Dermaga 1, secara berurutan pada musim kemarau dan musim hujan. Hasil pelarutan terkecil terjadi pada titik pembuangan - buangan dilarutkan dengan faktor 21 dan 27, masing-masing untuk musim kemarau dan musim hujan. Hasil konsentrasi maksimum parameter ditunjukkan pada **Tabel 8-1**.

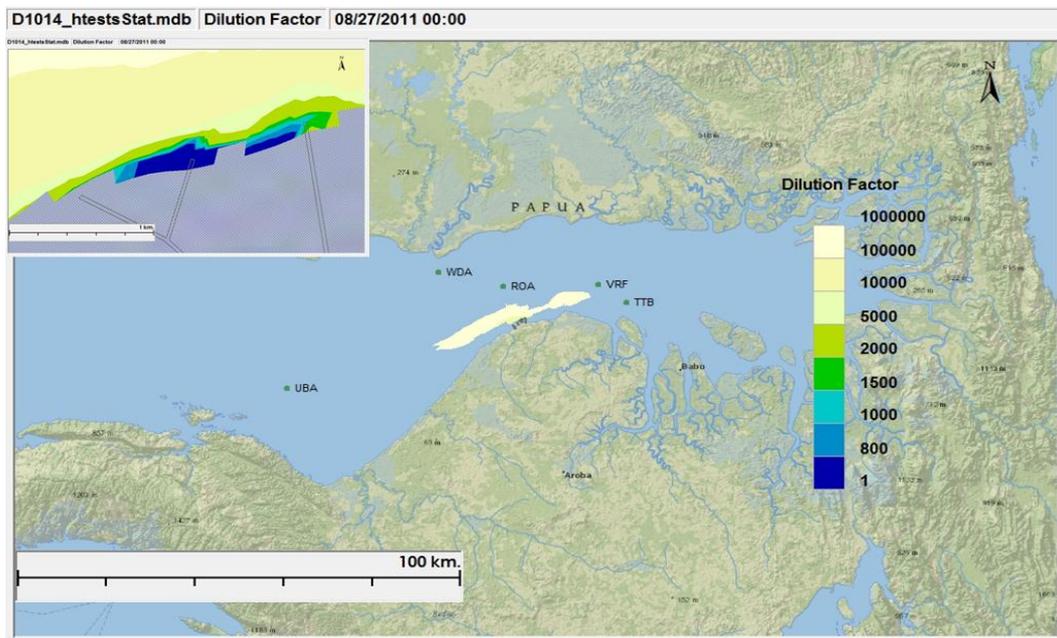


**Gambar 8-5** Plot Kontur untuk Gabungan Buangan Air Limbah *hydrotest* dan Buangan Campuran di Dermaga 1 pada Musim Kemarau dengan Faktor Pelarutan (*dilution factor*) Minimum

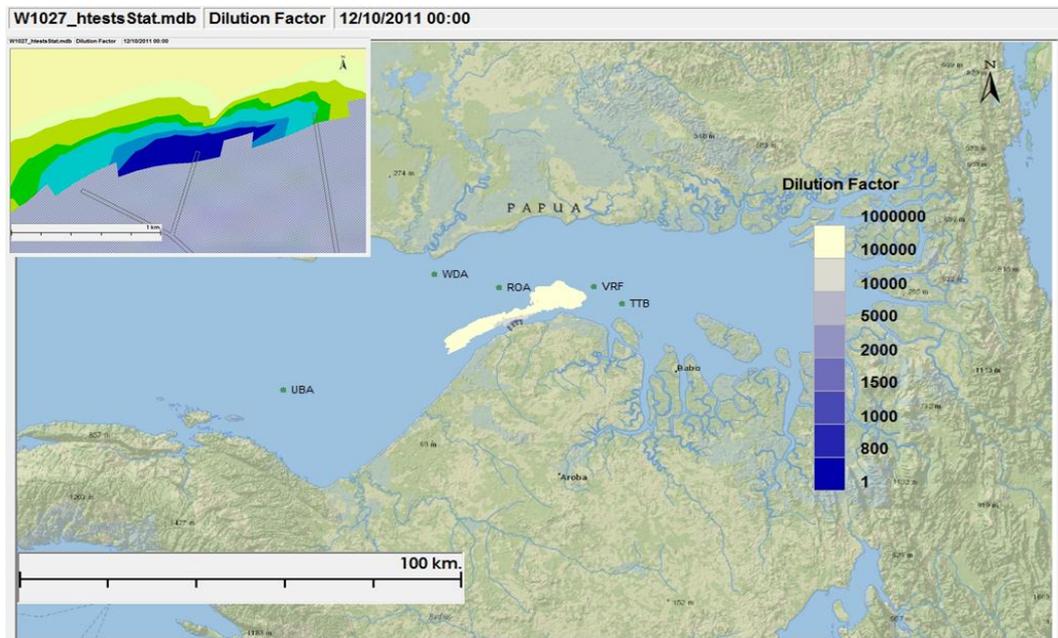


**Gambar 8-6** Plot Kontur untuk Gabungan Buangan Air Limbah *hydrotest* dan Buangan Campuran di Dermaga 1 pada Musim Hujan dengan Faktor Pelarutan (*dilution factor*) Minimum

Gambar 8-7 dan **Gambar 8-8** menunjukkan faktor pelarutan (*dilution factor*) minimum dari sebagian air limbah *hydrotest* dari gabungan aliran air limbah pada Dermaga 2, secara berurutan pada musim kemarau dan musim hujan. Hasil pelarutan terkecil terjadi pada titik pembuangan - buangan dilarutkan dengan faktor 49 dan 44, secara berurutan untuk musim kemarau dan musim hujan. Pembuangan pada Dermaga 2 memberikan hasil pelarutan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan pada Dermaga 1 karena persebaran yang lebih besar akibat dari pembuangan pada 3 m di atas permukaan laut. Hasil konsentrasi maksimum parameteranya ditunjukkan pada **Tabel 8-1**.



**Gambar 8-7** Plot Kontur untuk Gabungan Buangan Air Limbah *hydrotest* dan Buangan Campuran di Dermaga 2 pada Musim Kemarau dengan Faktor Pelarutan (*dilution factor*) Minimum



**Gambar 8-8** Plot Kontur untuk Gabungan Buangan Air Limbah *hydrotest* dan Buangan Campuran di Dermaga 2 pada Musim Hujan dengan Faktor Pelarutan (*dilution factor*) Minimum

**Tabel 8-1** Konsentrasi Ambien Maksimum yang Diperkirakan Akibat Gabungan Pembuangan Air Limbah *Hydrotest* and Buangan Air Limbah Campuran pada 50m dan 100m

Parameter	Konsentrasi Maksimum(mg/L)							
	Dermaga1				Dermaga2			
	Dry		Wet		Dry		Wet	
	50m	100m	50m	100m	50m	50m	50m	100m
<i>Oxygen Scavenger</i>	4,8	3,1	3,7	2,2	2,0	0,6	2,3	0,7
<i>Biocide</i>	26	17	20	12	11	3,6	13	3,9
<i>FluoresceinDye</i>	1,4	0,9	1,1	0,7	0,6	0,2	0,7	0,2

## 8.5 KESIMPULAN

Hasil dari pemodelan *far-field* menunjukkan bahwa buangan air limbah *hydrotest* dari titik pembuangan dermaga pada fasilitas terminal khusus berakibat konsentrasi bahan kimia tambahan yang jauh lebih tinggi daripada pembuangan pada lepas pantai. Hal ini terutama disebabkan oleh penurunan persebaran yang berhubungan dengan makin dangkalnya kedalaman dan makin dekatnya jarak dengan garis pantai. Faktor pelarutan (*dilution factor*) pada dermaga-dermaga tersebut adalah antara 20 sampai 50 pada jarak 50 m pertama. Besaran kelarutan tersebut pada anjungan lepas pantai lebih tinggi daripada di dermaga. Seperti terlihat pada Bagian 6.4, Dermaga 2 menghasilkan pelarutan dua kali lebih besar dibandingkan pelarutan pada Dermaga 1.

Selama pengoperasian pengerukan, material yang terlepas/terbuang disebabkan oleh adanya gangguan sedimen selama proses pengerukan dan karena adanya kebocoran dan luapan dari peralatan pengerukan. Penting untuk memperkirakan sebaran dampak (*fate*) dari material keruk ini, yang mungkin dapat meningkatkan konsentrasi TSS regional dan penumpukan sedimen di dekat lokasi pengerukan.

Skenario model yang dipertimbangkan dalam studi ini termasuk pembuangan material keruk selama proses pengerukan ke dasar BOF (**Gambar 3-2**) pada kondisi *metocean* yang mewakili kondisi yang sama pada musim hujan dan musim kemarau untuk menguji berbagai dampak lainnya pada studi ini. Area BOF digunakan untuk pemodelan ini karena area ini memerlukan jumlah pengerukan terbesar, sehingga mewakili kondisi skenario terburuk.

Dampak fisik, kimia, dan biologis dari pembuangan material keruk ke permukaan air dikaji dengan pemodelan sebaran dampak tiga dimensi (*three-dimensional fate and transport modeling*). Pemodelan ini menggunakan data yang diperoleh dari operasi pengerukan yang direncanakan dan arus yang dikembangkan sebagai bagian dari studi ini. *Input* pemodelan sebaran dampak (*fate and transport*) terdiri dari kondisi berikut ini:

- Kondisi *metocean* (kecepatan arus dan arahnya) yang dihitung dengan model hidrodinamika;
- kedalaman, bentuk dasar laut, jarak ke garis pantai serta konfigurasi garis pantai di dekatnya; dan
- volume, sifat-sifat, dan durasi tumpahan untuk substansi dan material keruk yang dibuang.

*Output* model digunakan untuk memperkirakan kecepatan sedimentasi, total padatan terlarut (TSS) yang ditambahkan pada kolom air, dan ketebalan *footprint* dari material yang mengendap yang menumpuk pada dasar laut. Berbagai skenario serta hasilnya diringkas pada bagian berikut ini.

### 9.1 KRITERIA KAJIAN

Potensi material hasil pengerukan terhadap dampak organisme air telah dikaji melalui perbandingan volume endapan sedimen dan konsentrasi Total Padatan Terlarut (TSS) di atas baku mutu ambien. Kadar yang dapat diterima untuk tiap kriteria ini telah berdasarkan atas literatur standar internasional serta baku mutu yang telah diterapkan sebelumnya yang akan dibahas di bawah ini.

Dalam dokumen Pedoman Bank Dunia (*The World Bank's Guidance*) tidak diberikan pedoman nilai TSS khususnya untuk kegiatan pengembangan Minyak dan Gas lepas pantai terkait buangan serbuk bor (IFC, 2007a). Meskipun tidak secara langsung berhubungan dengan buangan serbuk bor lepas pantai, nilai TSS yang ditetapkan oleh Bank Dunia untuk kualitas air limbah dan kualitas air ambien adalah 50 mg/L sebagai batas nilai untuk buangan air limbah domestik yang telah

diolah (IFC, 2007b). Undang-undang di Indonesia membolehkan nilai maksimum TSS adalah 80 mg/L TSS sebagai baku mutu perlindungan atas badan air dengan barisan mangrove (*mangrove-lined water bodies*).

Batas ketebalannya bervariasi sesuai spesies dan impermeabilitas sedimen. Ellis dan Heim (1985) (MarLIN, 2011) menyarankan nilai batas ketebalan sebesar 5 cm di atas *substratum* tersebut selama sebulan untuk membatasi dampak yang mungkin timbul terhadap komunitas benthos.

Berdasarkan hal di atas, diambil berbagai kriteria batas sebagai berikut untuk kajian saat ini :

- Kriteria 1 - Total padatan tersuspensi (TSS) maksimum yang diperbolehkan dalam kolom air di area penopang mangrove tidak boleh lebih dari 80 mg/L.
- Kriteria 2 - Ketebalan endapan maksimum yang diperbolehkan seharusnya tidak boleh lebih dari 5 cm dalam kurun waktu satu bulan.

Tidak ada kriteria tingkat sedimentasi yang digunakan karena tidak adanya terumbu karang (*coral*) di lingkungan tersebut.

## 9.2 RANCANGAN SKENARIO

Potensi persebaran dan pengendapan dari material hasil pengerukan telah diukur menggunakan teknik pemodelan dengan komputer. Pemodelan memungkinkan dibuatnya perkiraan terhadap tinggi muka air, kecepatan dan arah arus laut pada periode yang diinginkan. Material yang terbuang akan hanyut secara vertikal melalui kolom air, karena material hasil pengerukan lebih pekat/kental dari air penerimanya. Sebaran material hasil pengerukan pada dasarnya merupakan fenomena tiga dimensi.

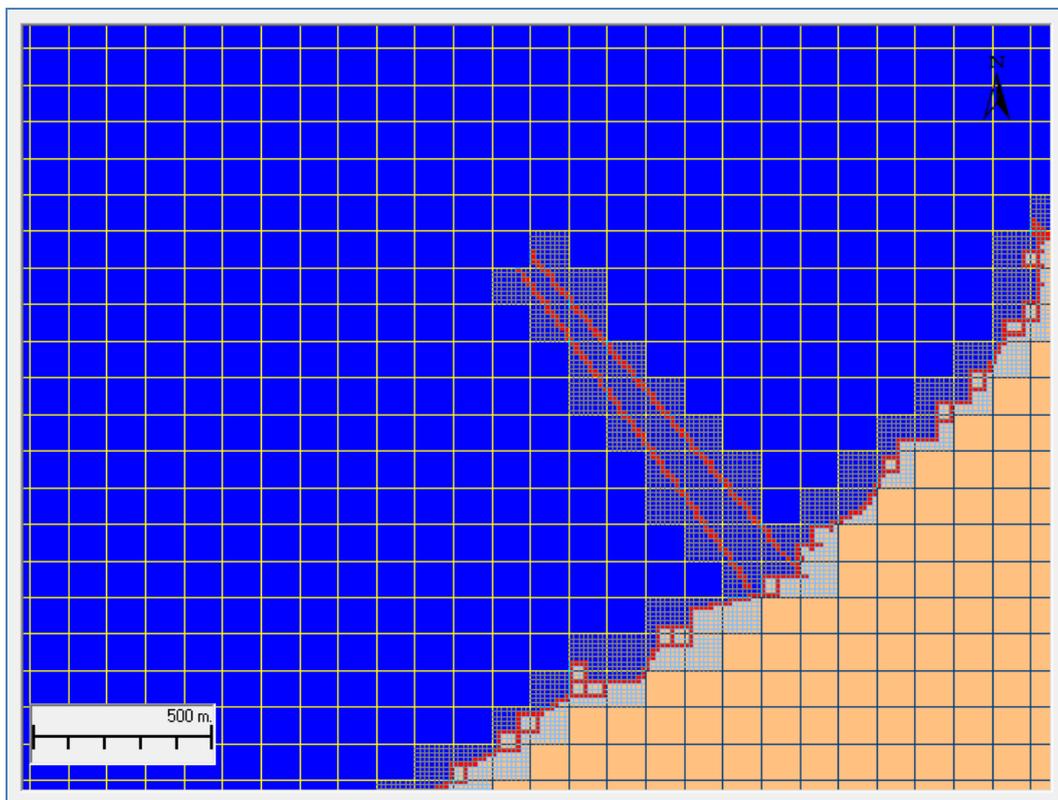
Perkiraan volume material hasil pengerukan diberikan oleh Tangguh LNG. Berat jenis dan distribusi ukuran partikelnya diasumsikan sesuai pengalaman proses pengerukan lepas pantai sebelumnya. Pembuangan disimulasikan untuk dua musim yang berbeda: musim kemarau (Agustus) dan musim hujan (Desember). Ringkasan dari skenario tersebut dapat dilihat pada **Tabel 9-1**. Dibuat model kegiatan pengerukan selama 8 jam pembuangan secara konstan untuk periode simulasi penuh pada tiap musimnya. Seluruh cairan pengeboran dan serbuk bor dibuang pada kedalaman tengah atau *mid-depth* (2,5 m di bawah LAT).

**Tabel 9-1 Daftar Skenario**

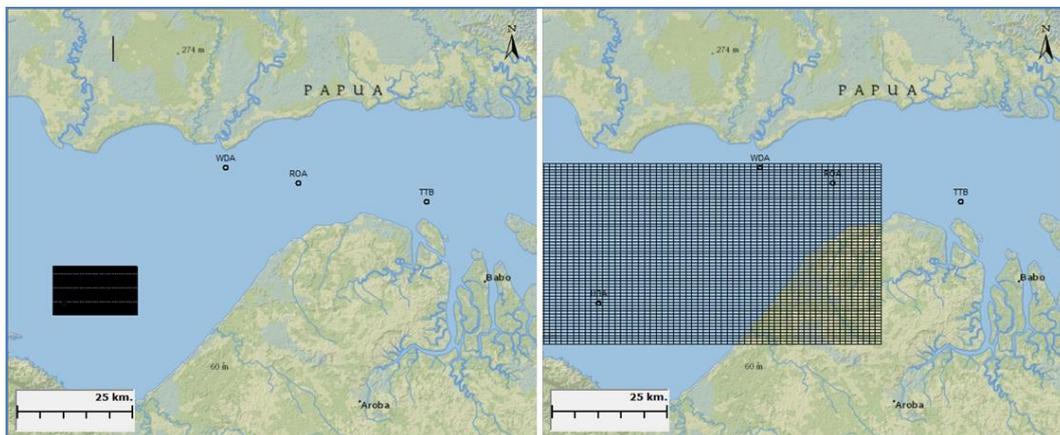
Lokasi	Musim	Skenario
BOF	Hujan	1W
	Kemarau	1D

Pemodelan persebaran material hasil pengerukan dilakukan untuk menentukan jumlah konsentrasi sedimen tersuspensi yang ditambahkan pada kolom air dari rona awal dan akumulasi pada dasar laut dari material yang dibuang tersebut ("the footprint") untuk kajian potensi dampak berbalik terhadap organisme benthos. Pemodelan material hasil pengerukan menggunakan model DREDGE *near-field* dan modul sebaran dampak (*fate and transport*) sedimen *far-field*, GEMSS-GIFT (*General Integrated Fate and Transport*).

Untuk pemodelan *far-field*, dibuat *grid* dua dimensi (2-D) yang mencakup area berukuran 2 km x 2 km dengan sel *grid* sebesar 17 m x 17 m pada tiap lokasi. *Subgrid* digunakan untuk mewakili garis pantai dan struktur yang rumit. Contoh *grid* ditunjukkan pada **Gambar 9-1**. *Grid* ini digunakan untuk perhitungan tingkat sedimentasi dan ketebalan endapan. Dibuat pula model *grid* tiga dimensi (3-D) yang adaptif untuk memperkirakan konsentrasi TSS, mencakup area dimana endapan tersuspensi menyebar. Pendekatan ini memberi resolusi adaptif dengan resolusi tinggi ketika *plume* TSS berada di dekat lokasi pembuangan dan cakupan yang lebih luas ketika *plume* TSS sudah mulai menyebar. Contoh dari pembuatan *grid* adaptif (*adaptive gridding*) ini ditunjukkan pada **Gambar 9-2**. Digunakan berbagai *grid* yang berbeda untuk sedimen tersuspensi dan sedimen yang mengendap disebabkan oleh tipikal jarak penyebarannya. Total kedalaman kolom air pada lokasi pengerukan adalah 5 m.



**Gambar 9-1** *Grid* Pengerukan dengan *Subgrid*-nya untuk Mewakili Garis Pantai dan Struktur yang Kompleks. Struktur yang Tampak pada *Grid* ini adalah Fasilitas BOF



**Gambar 9-2 Contoh Tampilan Layar *Grid* Adaptif TSS pada Dua Waktu yang Berbeda**

Rencana kegiatan pengerukan diasumsikan terjadi selama delapan jam sehari dengan total volume material keruk sebesar 2.000 m<sup>3</sup>. Berdasarkan durasi pengerukan selama delapan jam per hari, maka kecepatan pengerukannya adalah 250 m<sup>3</sup>/jam. Digunakan juga asumsi konservatif kehilangan sebesar 1% untuk memperkirakan pembuangan material selama pengoperasian kegiatan pengerukan. Jumlah pembuangan yang diperkirakan serta durasi pembuangannya terdapat pada **Tabel 9-2**.

**Tabel 9-2 Karakteristik Pembuangan**

Skenario	Jumlah Pembuangan (m <sup>3</sup> /jam)	Durasi Pembuangan (jam/hari)
1W	2,5	8
1D	2,5	8

Distribusi ukuran partikel untuk material hasil pengerukan terdapat pada **Tabel 9-3** berdasarkan data yang diberikan oleh Tangguh LNG. Karena kurangnya data, maka Berat Jenis (*density*) material hasil pengerukan diasumsikan dan berdasarkan pengalaman kegiatan pengerukan sebelumnya seperti yang terlihat pada **Tabel 9-4**.

**Tabel 9-3 Distribusi Ukuran Partikel Material Hasil Pengerukan**

Ukuran Partikel (µm)	Fraksi Volume %
4	23
30	44
125	30
2000	3

**Tabel 9-4 Berat Jenis Material Hasil Pengerukan**

Material	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )
Material hasil pengerukan	2650

#### 9.4 PEMODELAN NEAR-FIELD

Untuk mengkaji potensi persebaran dan pengendapan sedimen laut hasil pengerukan, maka digunakan model *United States Army Corps of Engineers' (USACE) DREDGE* (Hayes and Je, 2008). Model ini merupakan perhitungan dalam kondisi *steady-state*, dikembangkan untuk memperkirakan dampak dari pengoperasian kegiatan pengerukan yang direncanakan. DREDGE menghitung kecepatan yang mana sedimen menjadi tersuspensi sebagai akibat dari operasi pengerukan secara hidraulik dan mekanis, serta kemudian menghitung dimensi *plume* sedimen tersuspensi dan konfigurasi yang diakibatkannya menggunakan informasi spesifik dari lokasi pengerukan tersebut.

Menurut program pengerukan yang direncanakan yang tersedia pada saat studi pemodelan ini, diasumsikan untuk studi ini menggunakan *open clamshell*, pengerukan secara mekanis dengan volume 16-18 m<sup>3</sup>. Dengan menggunakan metode *Nakai's Turbidity Generation Unit (TGU)* (Palermo dkk., 2008), diperkirakan kecepatan pada sumber (*source rate*) sebesar 1,84 kg/detik (1% dari sumbernya). *Source rate* ini merupakan bagian dari sedimen yang tersuspensi kembali ke dalam kolom air sebagai akibat turbulensi yang dihasilkan dari mesin-mesin tersebut atau kebocoran material selama pembuangan material hasil pengerukan. Untuk melakukan *set-up* program, waktu siklusnya (*cycle time*) diasumsikan 55 detik. Waktu ini diperkirakan berdasarkan waktu yang dibutuhkan oleh pengerukan dengan *open clamshell* akan diambil untuk menyelesaikan satu siklus penuh pada dua kedalaman yang berbeda. **Tabel 9-5** merinci parameter-parameter input yang digunakan pada simulasi DREDGE.

**Tabel 9-5 Parameter Input**

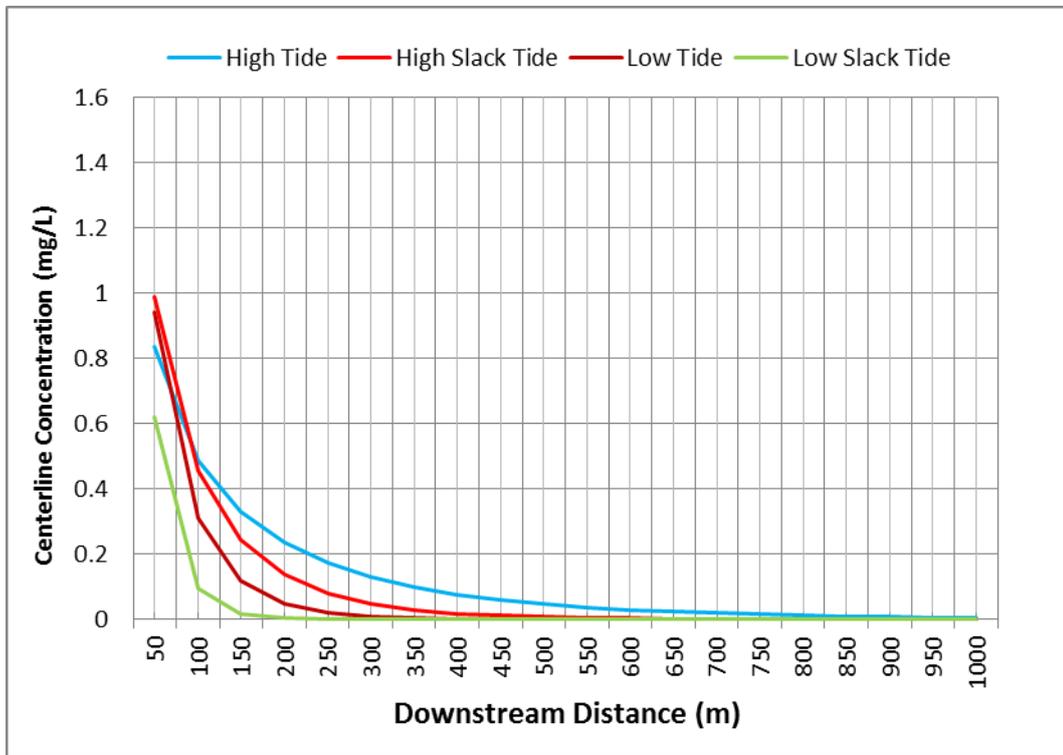
Parameter	Satuan	Nilai
<i>Bucket Type</i>	NA	<i>Open Clamshell</i>
<i>Bucket Size</i>	m <sup>3</sup>	18
<i>Cycle Time</i>	detik	55
<i>Settling Velocity</i>	m/detik	0,00002
<i>Water Depth</i>	m	5,15
<i>In-situ Dry Density</i>	kg/m <sup>3</sup>	1300
<i>Fraction of Particles Smaller Than 74µm</i>	NA	67%
<i>Fraction of Particles Smaller Than Particles With Settling Velocity</i>	NA	70%
<i>Lateral Diffusion Coefficient</i>	cm <sup>2</sup> /detik	10 <sup>7</sup>
<i>Vertical Diffusion Coefficient</i>	cm <sup>2</sup> /detik	1,0
<i>Specific Gravity</i>		2,65
<i>Mean Particle Size</i>	µm	35
<i>Source Strength</i>	kg/detik	1,84 (1% dari sumber)

TSS yang muncul selama proses pengerukan ini tergantung kepada beberapa faktor, mulai dari jenis pengerukan yang dilakukan, lama waktu/durasi siklus pengerukan, kedalaman lokasi yang sedang dikeruk, dan kecepatan air ambien. Kecepatan air ambien tersedia dari hasil pemodelan hidrodinamika yang telah diselesaikan untuk proyek ini, seperti yang terlihat pada **Tabel 9-6**.

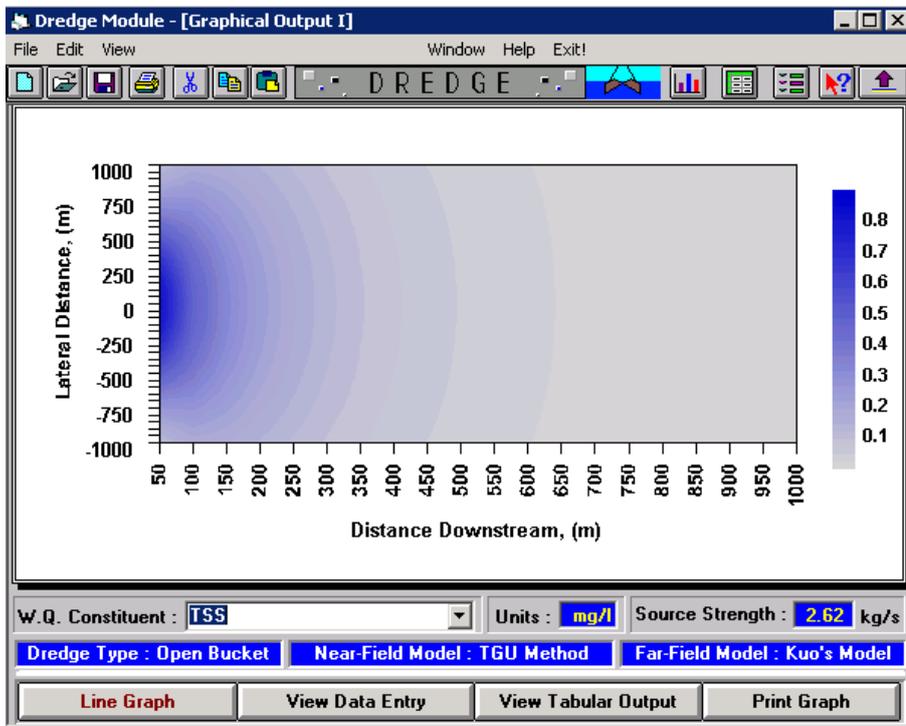
**Tabel 9-6 Rata-rata Kecepatan untuk Empat Simulasi Pasang Surut**

Tahap Pasang Surut	Kecepatan Rata-Rata (m/detik)
<i>High</i>	0,40
<i>High Slack</i>	0,18
<i>Low</i>	0,10
<i>Low Slack</i>	0,05

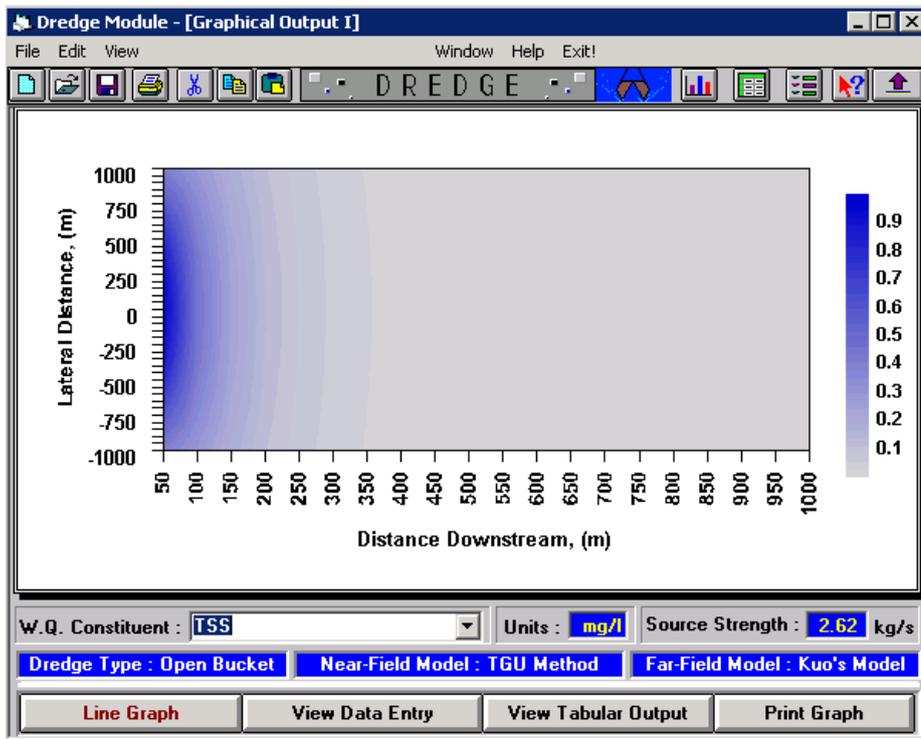
Input data yang ada pada Tabel 9-5 dan **Tabel 9-6** diberikan pada DREDGE sebagai bahan simulasi. DREDGE akan menghitung distribusi berbagai kolom air secara spasial dari parameter TSS. Hasilnya adalah dalam bentuk kontur konsentrasi TSS dan nilai konsentrasi TSS dalam matrik spasial. Konsentrasi TSS adalah yang tertinggi sepanjang garis tengah (*centerline*), garis yang melewati sepanjang lokasi pengerukan. **Gambar 9-3** menunjukkan konsentrasi TSS pada berbagai jarak yang berbeda sepanjang garis tengah untuk seluruh simulasi. **Gambar 9-4** sampai **Gambar 9-7** menunjukkan kontur TSS yang diperoleh dari DREDGE. Konsentrasi maksimum TSS adalah 1,0 mg/L yang diperkirakan selama pasang lendut tinggi (*high slack tide*) dekat dengan lokasi pengerukan, sedangkan konsentrasi minimum TSS adalah 0,6 mg/L yang didapat ketika air pasang lendut rendah (*low slack water*). Perlu dicatat bahwa konsentrasi TSS tersebut merupakan tambahan nilai TSS terhadap TSS rona awal, dan hanya mewakili TSS yang dilepaskan pada satu siklus pengerukan.



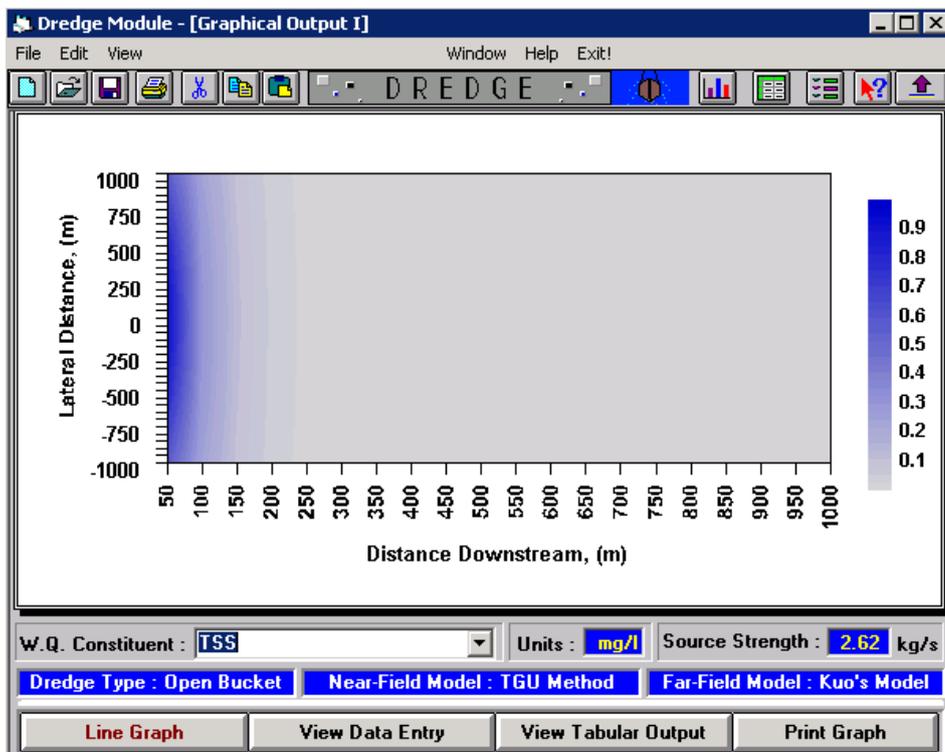
Gambar 9-3 Konsentrasi Centerline dari TSS Dibandingkan dengan Jarak ke Hilir pada Tiap Simulasi



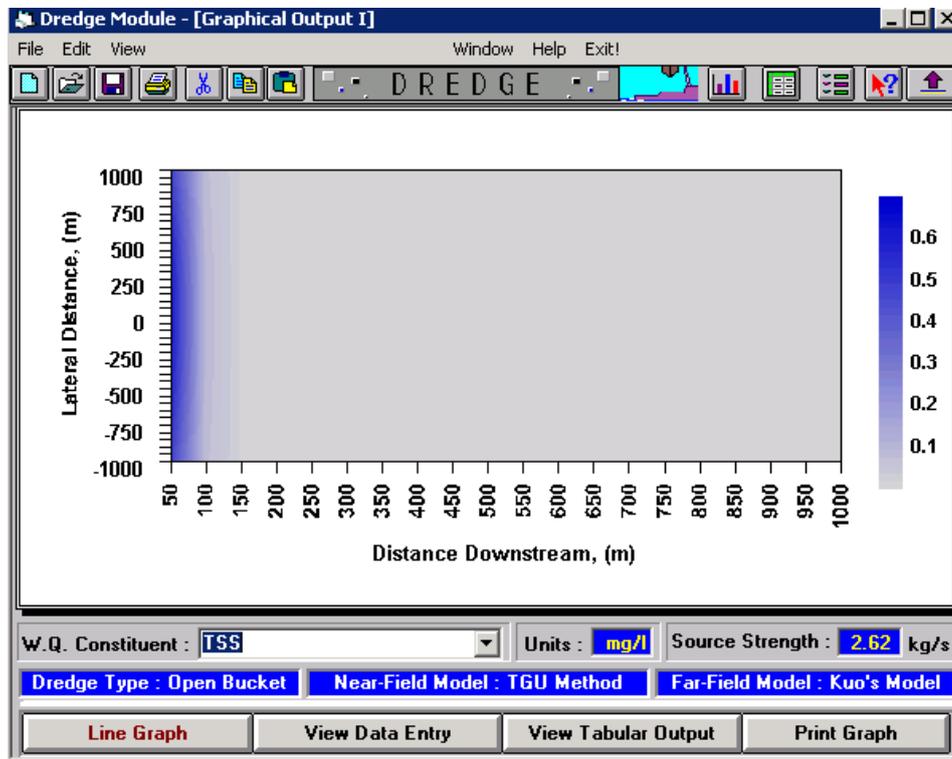
Gambar 9-4 Kontur Konsentrasi TSS (mg/L) untuk Pasang Tinggi



Gambar 9-5 TSS Kontur Kadar Konsentrasi TSS (mg/L) untuk Pasang Lendut Tinggi



Gambar 9-6 Kontur Konsentrasi TSS (mg/L) untuk Pasang Rendah



Gambar 9-7 Kontur Konsentrasi TSS (mg/L) untuk Pasang Lendut Rendah

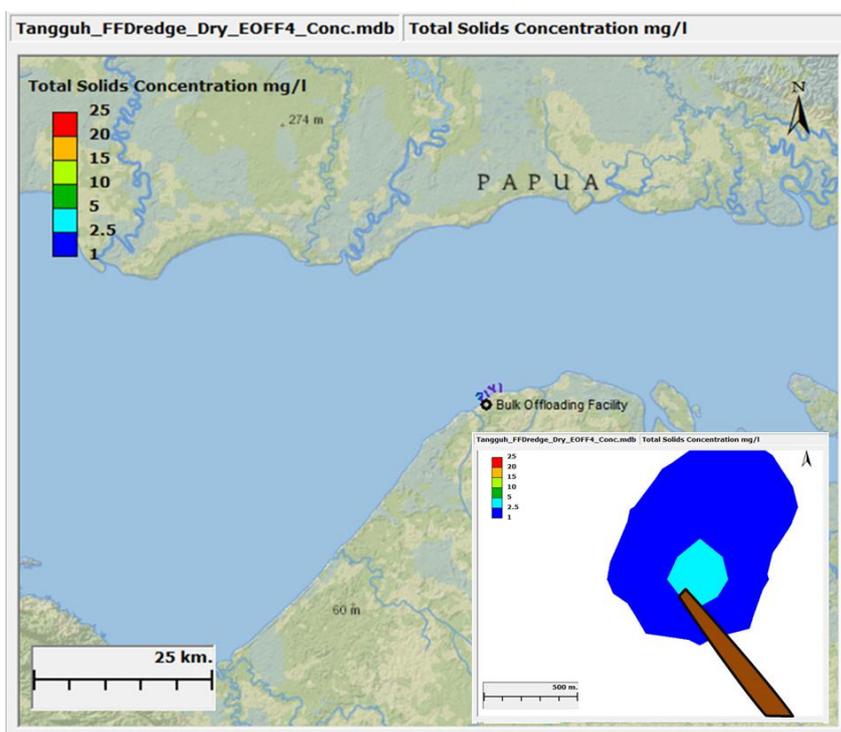
## 9.5 PEMODELAN FAR-FIELD

Bagian ini memaparkan hasil yang diperoleh dari model *far-field* selama operasi kegiatan pengerukan pada lokasi BOF. Pada kedua skenario (1W dan 1D), total material hasil pengerukan sebanyak 20 m<sup>3</sup> dibuang setiap harinya selama periode delapan jam. Pembuangan material hasil pengerukan ini terjadi setiap hari sepanjang periode simulasi. Pengoperasian kegiatan pengerukan yang sebenarnya akan terjadi selama beberapa bulan. Namun, periode 30 hari cukup dalam melakukan prediksi potensi sebaran dampak (*fate and transport*) dari padatan tersuspensi (*suspended solids*) dan sedimentasi diakibatkan pengoperasian kegiatan pengerukan ini.

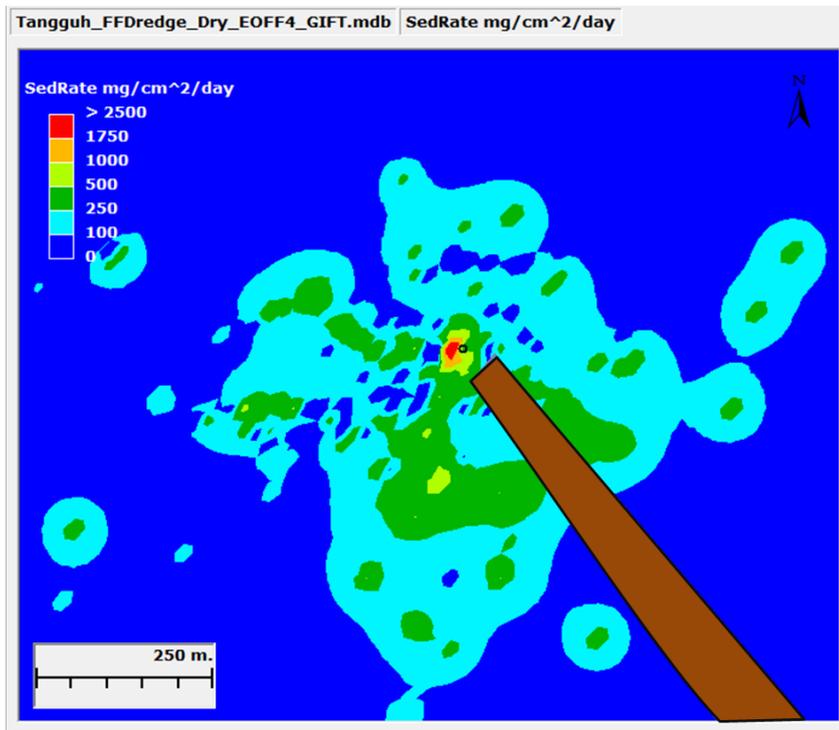
Dalam Skenario 1D, peningkatan maksimum nilai TSS sesaat adalah 4,8 mg/L. *Snapshot* dari *plume* TSS selama kegiatan pengerukan sekaligus dan lokasi vertikal ketika TSS maksimum terjadi ditunjukkan dalam **Gambar 9-8**. *Plume* terbatas pada wilayah di sekitar fasilitas BOF. Nilai TSS turun drastis di bawah 5 mg/L pada jarak lebih dari 200 m dari lokasi pengerukan. Tingkat sedimentasi maksimum sesaat adalah 2623 mg/cm<sup>2</sup>-d dan ketebalan sedimen maksimumnya adalah 136,2 mm, keduanya terjadi pada lokasi pengerukan dan sesaat. Tingginya tingkat sedimentasi diperkirakan terjadi karena dangkalnya kedalaman air (~5 m) pada area pengerukan. Sedimen yang terbangun segera mengendap di dekat lokasi BOF tanpa mengalami penyebaran yang berarti. **Gambar 9-9** dan **Gambar 9-10** menunjukkan *snapshot* tingkat sedimentasi dan ketebalan sedimen pada saat nilai maksimum tercapai. Perhatikan bahwa kedua tingkat sedimentasi dan ketebalan sedimen tersebut bersifat sementara karena proses pengendapan secara terus-

menerus (*continuous deposition*) dan erosi terjadi pada kondisi hidrodinamika yang bervariasi. Selain itu, buangan sedimen selama pengerukan akan menyebar mencakup seluruh lokasi pengerukan. Namun, dalam studi pemodelan, seluruh buangan terkait pengerukan terjadi pada satu lokasi menimbulkan analisis dengan konservatif yang tinggi. Baik tingkat sedimentasi maupun ketebalan sedimen turun drastis, secara berurutan masing-masing menjadi kurang dari 100 mg/cm<sup>2</sup>-d dan 1mm, dalam jarak 500 m dari lokasi pengerukan. Berbagai hasil ini dengan jelas menunjukkan bahwa TSS dan sedimentasi yang terjadi disebabkan karena pengeboran merupakan fenomena lokal saja.

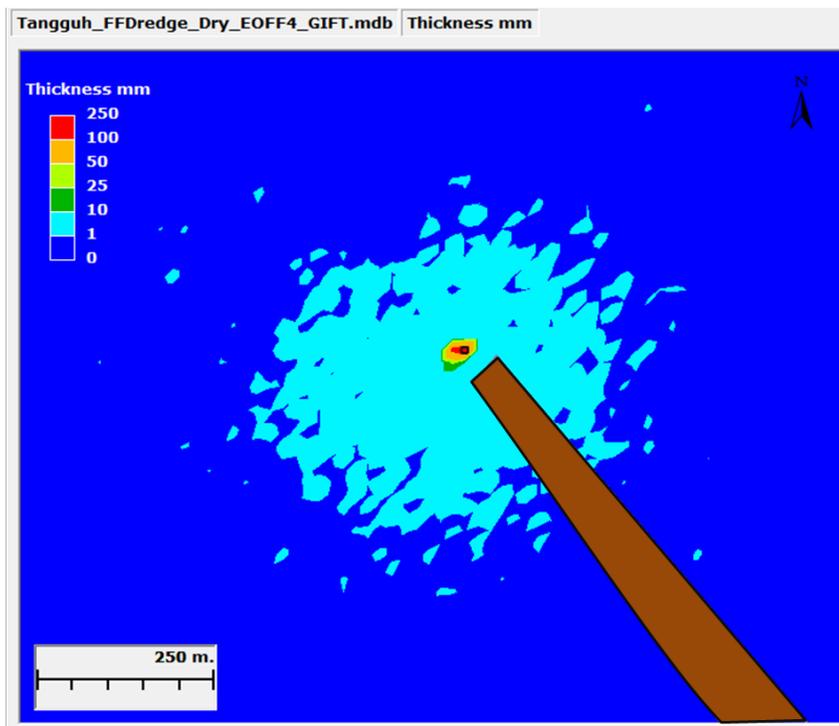
Dalam Skenario 1W, peningkatan TSS, tingkat sedimentasi dan ketebalan sedimen sebanding dengan pada musim kemarau. Peningkatan maksimum TSS diperkirakan menjadi 11,8 mg/L, dan tingkat sedimentasi maksimum serta ketebalan sedimen, secara berurutan masing-masing diperkirakan menjadi 15100 mg/cm<sup>2</sup>-d dan 58,7 mm. **Gambar 9-11**, **Gambar 9-12** dan **Gambar 9-13** menunjukkan peningkatan maksimum *plume* TSS sesaat, tingkat sedimentasi dan nilai ketebalan sedimen sebagai akibat dari kegiatan pengerukan pada lokasi BOF pada musim hujan.



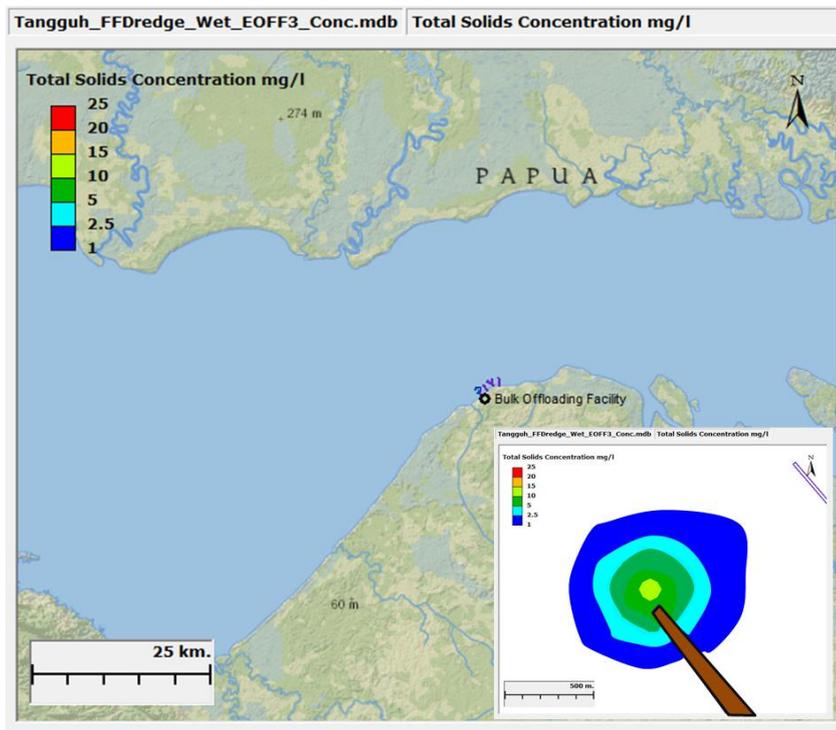
**Gambar 9-8** Peningkatan Maksimum Konsentrasi TSS selama Kegiatan Pengerukan pada Lokasi BOF pada Musim Kemarau



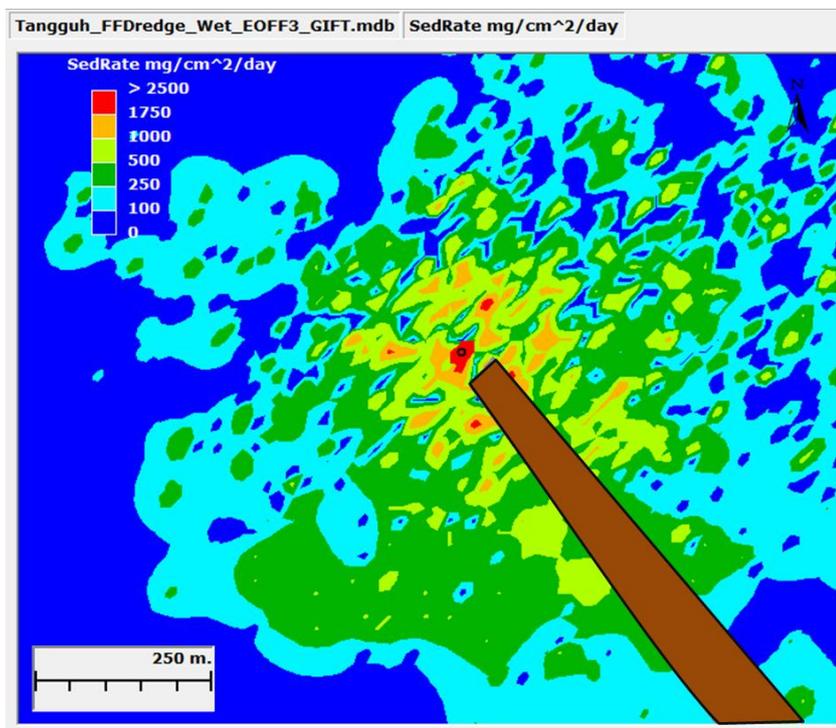
Gambar 9-9 Kecepatan Maksimum Sedimentasi Selama Kegiatan Pengerukan pada Lokasi BOF pada Musim Kemarau



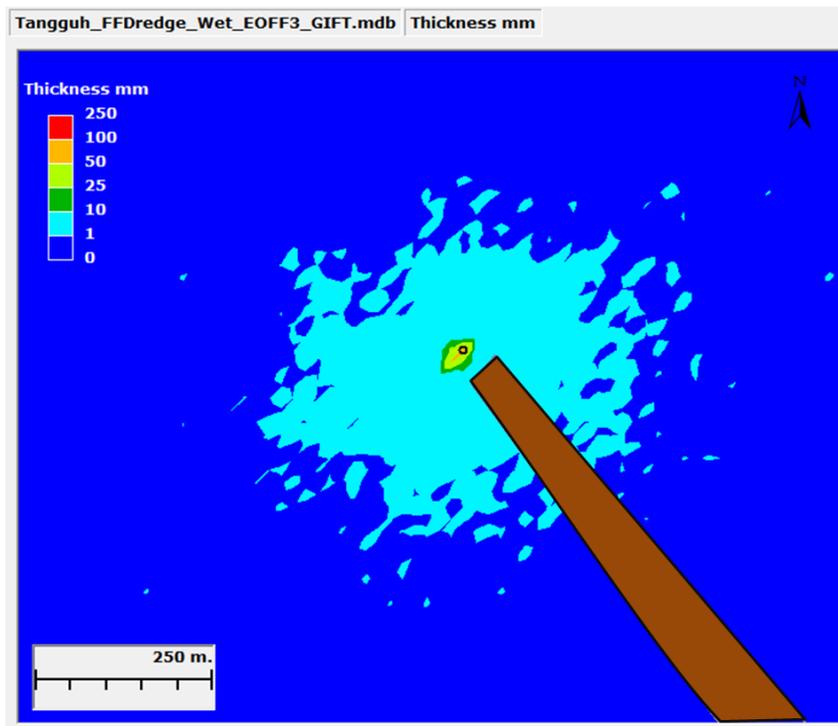
Gambar 9-10 Ketebalan Maksimum Sedimen Selama Kegiatan Pengerukan pada Lokasi BOF pada Musim Kemarau



**Gambar 9-11 Peningkatan Maksimum Konsentrasi TSS Selama Kegiatan Pengerukan pada Lokasi BOF pada Musim Hujan**



**Gambar 9-12 Nilai Maksimum Sedimentasi Selama Kegiatan Pengerukan pada Lokasi BOF pada Musim Hujan**



**Gambar 9-13 Ketebalan Sedimen Selama Proses Pengerukan pada lokasi BOF pada Musim Hujan**

## 9.6 KESIMPULAN

Hasil pemodelan dan plot yang ditampilkan menunjukkan bahwa endapan sedimen material keruk terkait kegiatan operasi kegiatan pengerukan hanya terjadi di lingkungan yang dekat dengan lokasi pengerukan, terutama dalam radius 500 m. Hasil yang ada menunjukkan nilai maksimum yang diperkirakan selama operasi kegiatan pengerukan. Nilai-nilai maksimum ini hanya terjadi dalam periode singkat karena kondisi ambien bersifat sementara dan *plume* dengan cepat menyebar atau mengendap ke dasar laut. *Plume* TSS, serupa dengan *plume* sedimentasi, terbatas luasannya karena kedalamannya dangkal yang memungkinkan pengendapan sedimen dengan cepat. Penambahan maksimum TSS diperkirakan hanya mencapai 11,8 mg/L. Nilai maksimum rona awal TSS selama musim kemarau adalah 27 mg/L yang ketika ditambahkan pada penambahan maksimum TSS oleh kegiatan pengerukan menghasilkan nilai TSS sebesar 38,8 mg/L, berada jauh di bawah baku mutu kualitas air laut ambien untuk badan air yang berbatasan dengan mangrove adalah 80 mg/L. Hasil yang diperkirakan ini menunjukkan bahwa operasi kegiatan pengerukan yang direncanakan tampaknya tidak mungkin melebihi baku mutu parameter lingkungan yang berlaku atau menimbulkan dampak yang signifikan. **Tabel 9-7** menunjukkan ringkasan dari TSS, tingkat sedimentasi dan ketebalan sedimen.

**Tabel 9-7 Ringkasan Hasil-hasil yang Diperkirakan untuk Skenario Operasi Kegiatan Pengerukan**

Skenario	Peningkatan Maksimum TSS (mg/L)	Peningkatan Maksimum Tingkat Sedimentasi ( <i>Sedimentation Rate</i> ) (mg/cm <sup>2</sup> -day)	Peningkatan Maksimum Ketebalan Endapan (mm)	Area Ketebalan Endapan > 5 cm (m <sup>2</sup> )
1D	4,8	2623	136,2	590
1W	11,8	15111	58,7	80

Materi hasil pengerukan dari lokasi BOF direncanakan akan dibuang di dua lokasi pada Teluk Bintuni. Pembuangan materi hasil pengerukan berpotensi menimbulkan risiko terhadap komunitas laut dan benthos karena peningkatan TSS dan endapan materi yang dibuang tersebut. Skenario yang dipertimbangkan bagi kajian dampak potensial dari pembuangan materi hasil pengerukan menggunakan lokasi pembuangan di bagian timur (**Gambar 3-1**) baik pada musim hujan maupun musim kemarau seperti pada skenario sebelumnya. Lokasi pembuangan di bagian timur dipilih karena kedekatannya dengan reseptor penerima dampak yang sensitif dan dengan demikian mewakili kasus yang konservatif terkait dampak.

Serupa dengan kajian kegiatan pengerukan, dampak fisika, kimia dan biologi dari materi hasil pengerukan yang dibuang ke air permukaan pada lokasi pembuangan yang direncanakan dikaji dengan menggunakan pemodelan sebaran dampak (*fate and transport*) tiga dimensi. Kajian *near-field* maupun *far-field* telah selesai. Sementara Model GEMSS-GIFT digunakan untuk pemodelan *far-field*, model yang lain, STFATE digunakan untuk pemodelan *near-field*.

### 10.1 DESAIN SKENARIO

Perkiraan volume materi hasil pengerukan diberikan oleh Tangguh LNG. Distribusi berat jenis (*specific gravity*) dan ukuran partikel diasumsikan berdasarkan pengalaman pengerukan sebelumnya. Buangan disimulasikan untuk dua musim yang berbeda: musim kemarau (Agustus) dan musim hujan (Desember). Ringkasan skenario tersebut dapat dilihat pada **Tabel 10-1**. Pembuangan materi hasil pengerukan dibuat pemodelan untuk pembuangan selama dua kali sepuluh menit dengan jeda selama empat jam untuk masing-masing musim. Pengerukan yang direncanakan akan dilakukan secara terus menerus selama delapan jam per hari dengan volume materi keruk sebanyak 2.000 m<sup>3</sup>. Tongkang pembuangan materi hasil pengerukan dengan kapasitas 1.000 m<sup>3</sup> akan digunakan untuk membuang materi keruk dua kali sehari. Diantisipasi bahwa seluruh materi keruk ini dapat dibuang dalam waktu 10 menit. Seluruh materi keruk ini dibuang 3 meter di bawah LAT.

**Tabel 10-1 Skenario Pembuangan Materi Hasil Pengerukan**

Lokasi Pembuangan	Musim	Skenario
Sisi Timur	Musim Hujan	2W
	Musim Kemarau	2D

### 10.2 DATA PEMBUANGAN DAN SEDIMEN

Sedimen yang dibuang sama dengan hasil dari proses pengerukan di fasilitas BOF. Sehingga, hal-hal yang diperlukan untuk pemodelan pembuangan ini sama dengan yang digunakan untuk pemodelan pengerukan pada Bagian 9.

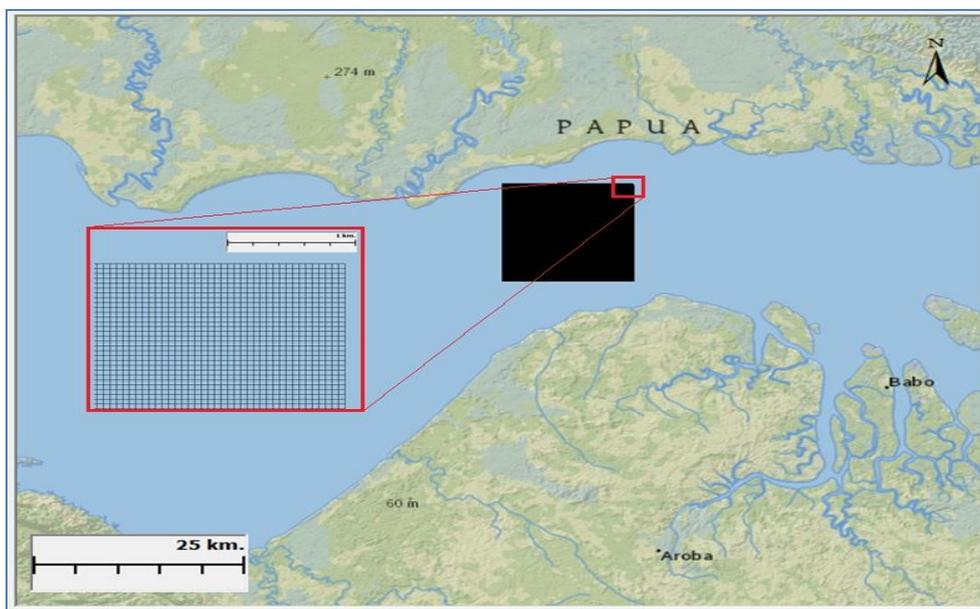
Grid dua dimensi (2-D) telah dibuat mencakup area seluas 15 km x 15 km, dengan sel *grid* berukuran 50 m x 50 m pada tiap lokasi. *Grid* tersebut ditunjukkan pada **Gambar 10-1**. *Grid* ini digunakan untuk perhitungan laju sedimentasi dan ketebalan endapan. *Grid* adaptif tiga dimensi (3-D) telah dibuat untuk konsentrasi TSS seperti yang ditunjukkan pada Bagian 9.

Perkiraan jumlah yang dibuang serta durasinya diberikan pada **Tabel 10-2**.

**Tabel 10-2 Karakteristik Pembuangan**

Skenario	Jumlah Pembuangan (m <sup>3</sup> /pembuangan)	Banyaknya Pembuangan per hari	Jeda Waktu antara Pembuangan (jam)	Durasi Pembuangan
2W	1000	2	4	10 menit
2D	1000	2	4	10 menit

Distribusi ukuran partikel untuk materi hasil pengerukan ada pada **Tabel 9-3** berdasarkan data yang diberikan oleh Tangguh LNG. Berat jenis materi hasil pengerukan diasumsikan berdasarkan pengalaman pekerjaan sebelumnya yang ada pada **Tabel 9-4**.



**Gambar 10-1 Grid Pengerukan dengan Model Sebaran Dampak (*fate and transport*) Pembuangan Hasil Pengerukan**

### 10.3 PEMODELAN NEAR-FIELD

Simulasi STFATE dijalankan untuk pembuangan tunggal materi hasil pengerukan sebesar 1.000 m<sup>3</sup> dari tongkang *split-hull* di tengah Lokasi Pembuangan bagian Timur. Tongkang *hopper* yang direncanakan akan digunakan berukuran 30 m x 10 m dan daya muat kapalnya adalah 3 m kosong dan 1 m dengan muatan penuh. Tongkang ini diasumsikan dapat melaju dengan kecepatan 1 knot (0,5 m/detik) selama proses pembuangan. Dibutuhkan waktu sekitar 10 menit untuk mengosongkan kapal.

*Grid* model yang digunakan untuk menjalankan STFATE adalah 2.286 m x 2.286 m. Luasan ini dibutuhkan untuk menampilkan buangan pada seluruh dasar dalam *grid*. Rata-rata kedalaman untuk *grid* ini adalah 5,15 m. Ketinggian kekasaran (*roughness height*) dasar laut diasumsikan sekitar 0,0015 m.

Profil kecepatan arus diatur menjadi empat tipe pasang surut yang berbeda: pasang tinggi, pasang tinggi lendut, pasang rendah, dan pasang rendah lendut. Kecepatan pasang surut pada kedalaman 2 m ditentukan sesuai hasil pemodelan hidrodinamika (Tabel 10-3). Profil arus secara logaritma digunakan untuk menghitung variasi vertikal pada arus dari permukaan air ke dasar laut.

**Tabel 10-3** Komponen Arus pada Kedalaman 10 ft pada Lokasi Pembuangan di Bagian Timur

Tahap Pasang Surut	Kecepatan-u (arah-z) (m/s)	Kecepatan-v (arah-x) (m/s)
<i>High</i>	0,70	0,02
<i>High Slack</i>	0,16	-0,30
<i>Low</i>	-0,60	-0,11
<i>Low Slack</i>	-0,16	-0,08

Untuk *set-up* keadaan model yang realistis, diasumsikan bahwa materi hasil pengerukan pada tongkang mempunyai tiga lapisan, karena terjadinya pengendapan di dalam tongkang selama pengangkutan ke lokasi pembuangan. Lapisan dasar memiliki konsentrasi volume (*volumetric concentration*) pasir yang lebih tinggi, dan konsentrasi pasir lebih rendah pada lapisan atas, serta konsentrasi *silt* dan lempung sedikit lebih tinggi. Rata-rata kepadatan untuk semua lapisan (*average bulk density*) adalah sekitar 1.300 kg/m<sup>3</sup>.

Model STFATE ini digunakan untuk mensimulasikan konsentrasi pasir tersuspensi (*suspended sand*), lanau (*silt*) serta lempung pada setiap jam selama periode empat jam. Output dari Model STFATE terdiri dari konsentrasi partikel pada kolom air pada kedalaman dan interval waktu tertentu selama periode simulasi. Model ini memprediksi bahwa partikel pasir serta gumpalan (*clumps*) yang lebih besar akan mengendap pada dasar laut dalam waktu kurang dari 1 jam. Output yang ditampilkan di sini adalah untuk konsentrasi *silt* dan lempung untuk dasar laut pada jam ke-1 dan jam ke-4.

**Tabel 10-4** meringkas dimensi dan posisi lanau (*silt*) dan lempung (*clay clouds*) pada dasar laut. **Gambar 10-2** sampai **Gambar 10-5** menampilkan akumulasi materi yang mengendap pada dasar laut. Ketebalan maksimum endapan sedimen pada dasar laut adalah kira-kira 30 mm selama empat tahap pasang surut air. Rata-rata luas persebaran materi endapan adalah kira-kira mencapai radius 200-400 m dari titik tengah pembuangan.

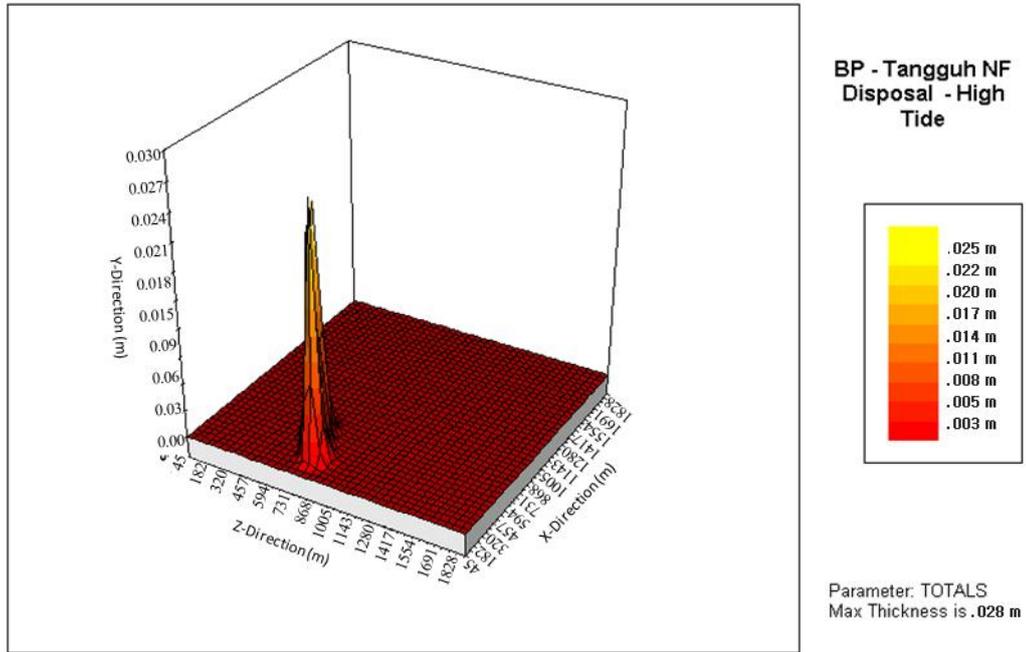
**Gambar 10-6** sampai **Gambar 10-9** merupakan plot kontur dari konsentrasi maksimum lanau (*silt*) dan lempung pada jam ke-1 dan jam ke-4 setelah pembuangan, untuk tiap tahap pasang surut air, dan menunjukkan hasil simulasi STFATE dari setiap pembuangan tunggal pada dasar laut. Lokasi buangan materi hasil pengerukan ditandai dengan segitiga biru kecil. Garis kontur berikut menunjukkan luas horizontal dari partikel lanau (*silt*) dan lempung terhadap nilai konsentrasi yang berbeda. Agar diperhatikan bahwa nilai konsentrasi merupakan nilai tambahan TSS pada TSS rona awal, dan hanya mewakili TSS yang dibuang karena adanya pembuangan tunggal. Hasilnya menunjukkan tingginya konsentrasi tambahan TSS awal dengan penurunan yang cepat pada kadar konsentrasi penambahan lanau (*silt*) dan lempung (*clay*) sampai jumlahnya kurang dari 20 dan 1,0 mg/L, secara berurutan, pada jam ke-1 dan jam ke-4 setelah pembuangan. Luas radial dari lanau (*silt*) dan lempung (*clay*) yang diperkirakan pada jam ke-1 pada saat partikel konsentrasi turun menjadi 20 mg/L adalah pada sekitar radius 150 m. Pada jam ke-4, kumpulan sedimen (lanau/lempung) dengan penambahan konsentrasi di atas 1 mg/L meluas sampai radius 400 m.

Pusat massa (*Centroid*) kumpulan lumpur dan lempung bergerak kira-kira 60 m pada saat pasang lendut (*slack tide*) dan sampai dengan 300 m pada saat pasang naik (*high tide*) dalam jangka waktu 4 jam sejak awal pembuangan. Konsentrasi maksimum lanau/lempung pada pusat massa kumpulan sedimen adalah 120 mg/L setelah awal pembuangan menuju lokasi pembuangan. Model ini memperkirakan penambahan konsentrasi kumpulan lanau (*silt*) dan lempung (*clay*) pada permukaan air lebih kecil dibandingkan dengan pada dasar laut. Namun, persebaran spasial pada permukaan air serupa dengan yang terjadi pada dasar laut.

Peningkatan maksimum TSS yang diperbolehkan sebesar 53 mg/L (standar 80 mg/L - 27 mg/L rona awal) pada lapisan dasar dari kolom air terlampau, namun masih dalam radius 100 m dari kumpulan sedimen dalam satu jam pertama setelah awal pembuangan. Peningkatan TSS di atas 53 mg/L setelah satu jam pertama tidak diperkirakan, dan turun di bawah 1 mg/L dalam 4 jam sejak pembuangan dalam satu siklus pembuangan.

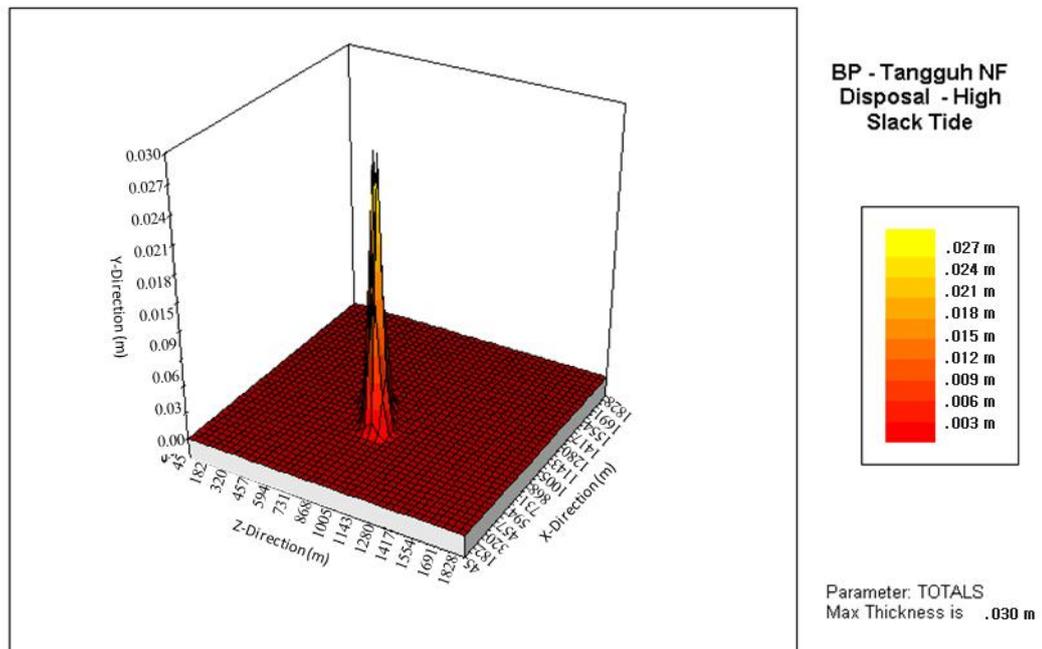
**Tabel 10-4 Dimensi dan posisi lumpur dan lempung pada dasar laut.**

Tahap Pasang Surut	Jenis	Konsentrasi Maksimum pada Pusat Massa Kumpulan Sedimen pada at Hour 4 (mg/L)	Travel Distance of Cloud Centroid Within 4 Hours (m)	Radial Extent of Clouds Falling to 20 mg/L (m)	Maximum Overall Deposited Sediment Thickness (mm)
High	Silt	80	300	120	30
	Clay	120	375	180	-
High Slack	Silt	90	180	135	30
	Clay	100	150	120	-
Low	Silt	90	150	135	30
	Clay	100	60	180	-
Low Slack	Silt	90	150	135	30
	Clay	100	100	180	-



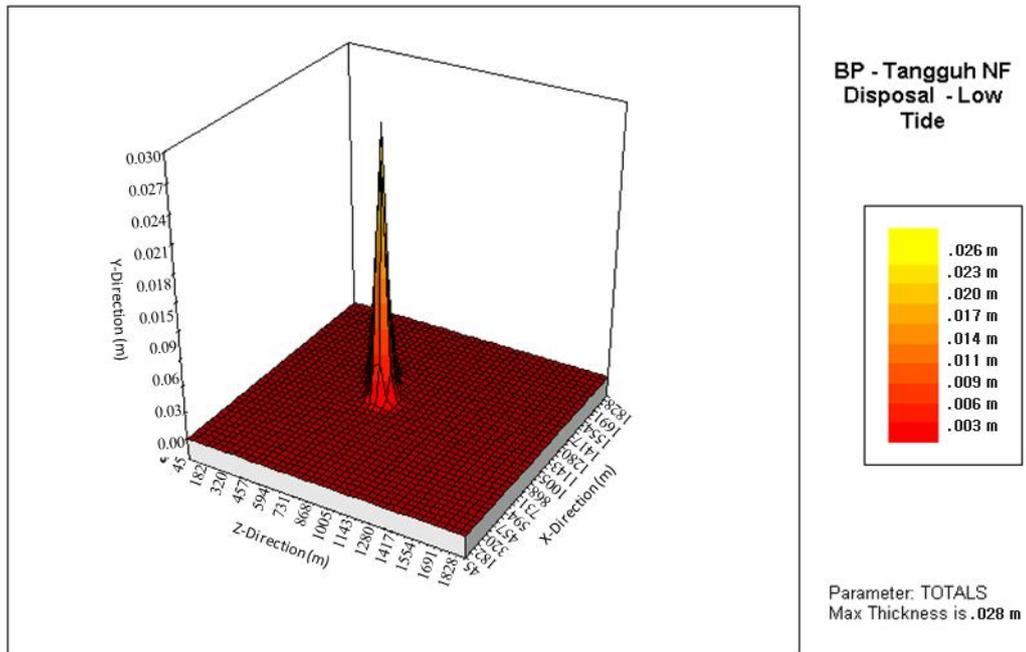
( Note : Legenda BP diganti dengan Tangguh LNG)

**Gambar 10-2 Ketebalan Maksimum Endapan Dasar Laut pada saat Pasang Naik**



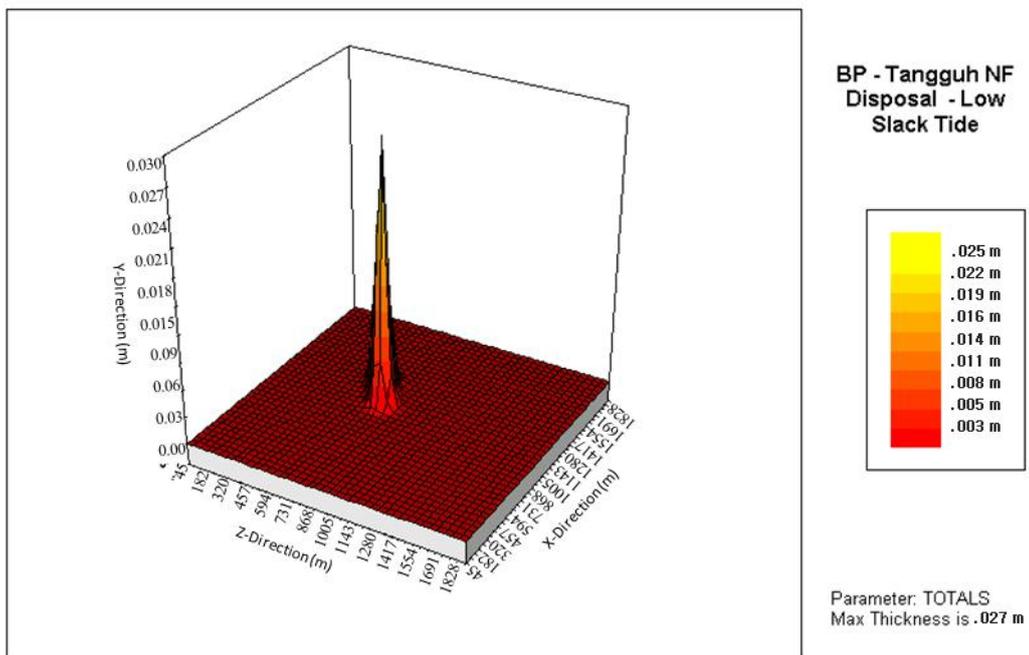
( Note : Legenda BP diganti dengan Tangguh LNG)

**Gambar 10-3 Ketebalan Maksimum Endapan Dasar Laut pada saat Pasang Lendut Tinggi**



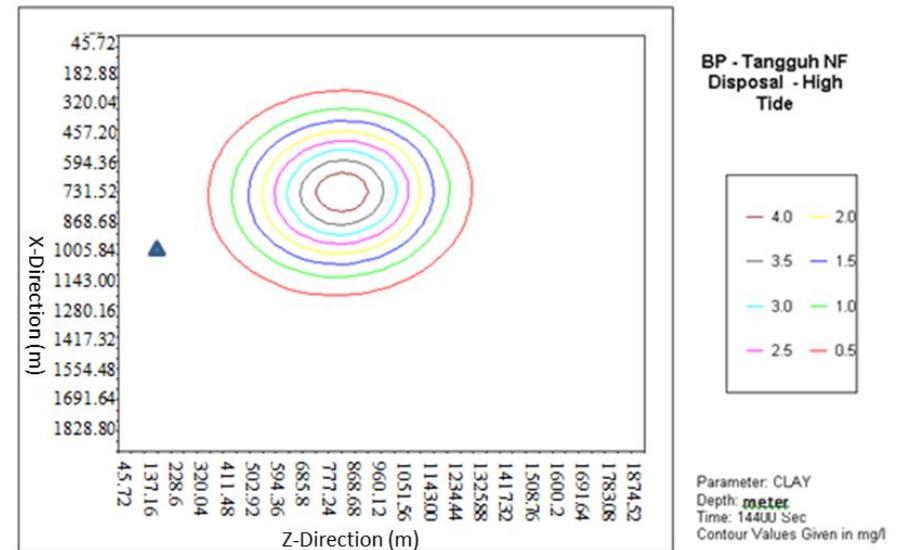
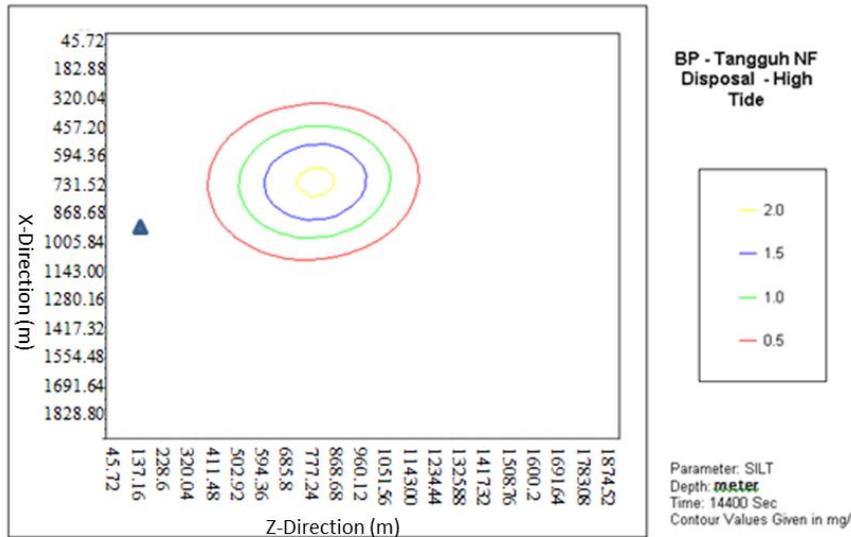
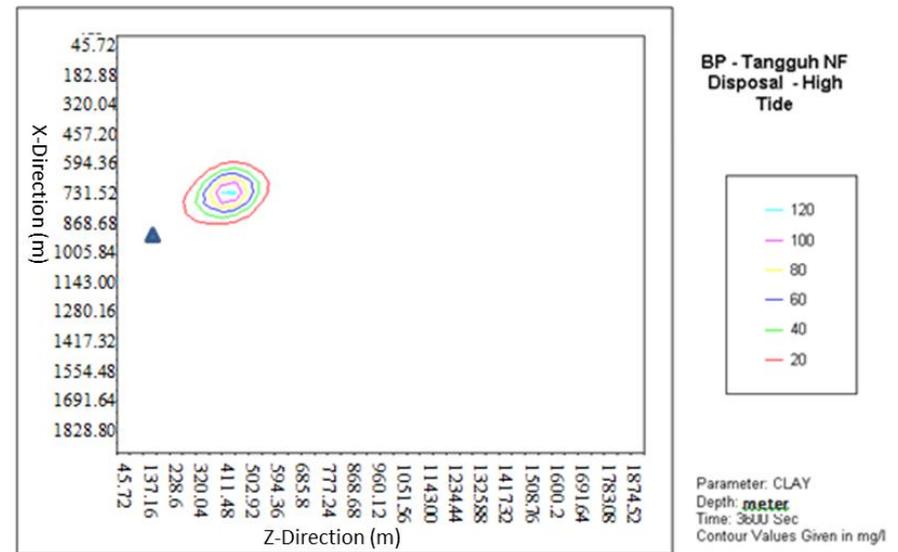
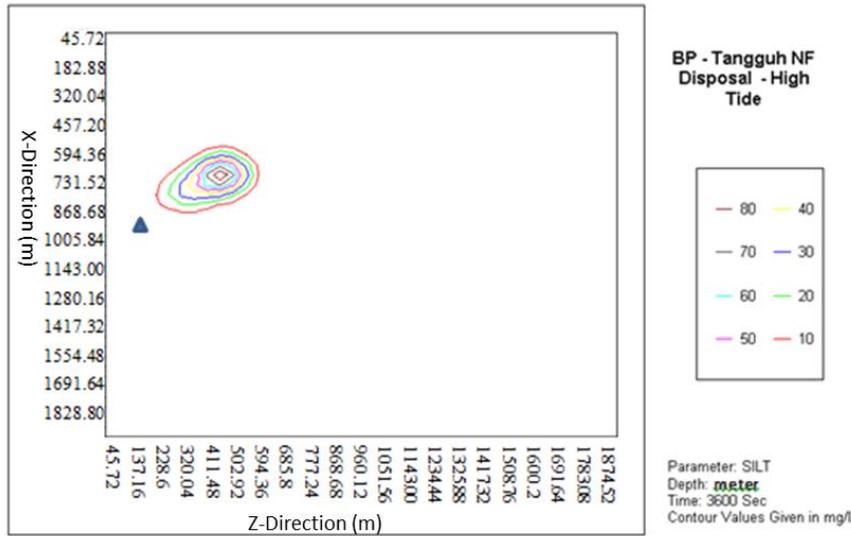
( Note : Legenda BP diganti dengan Tangguh LNG)

**Gambar 10-4** Ketebalan Maksimum Endapan Dasar Laut pada saat Pasang Surut

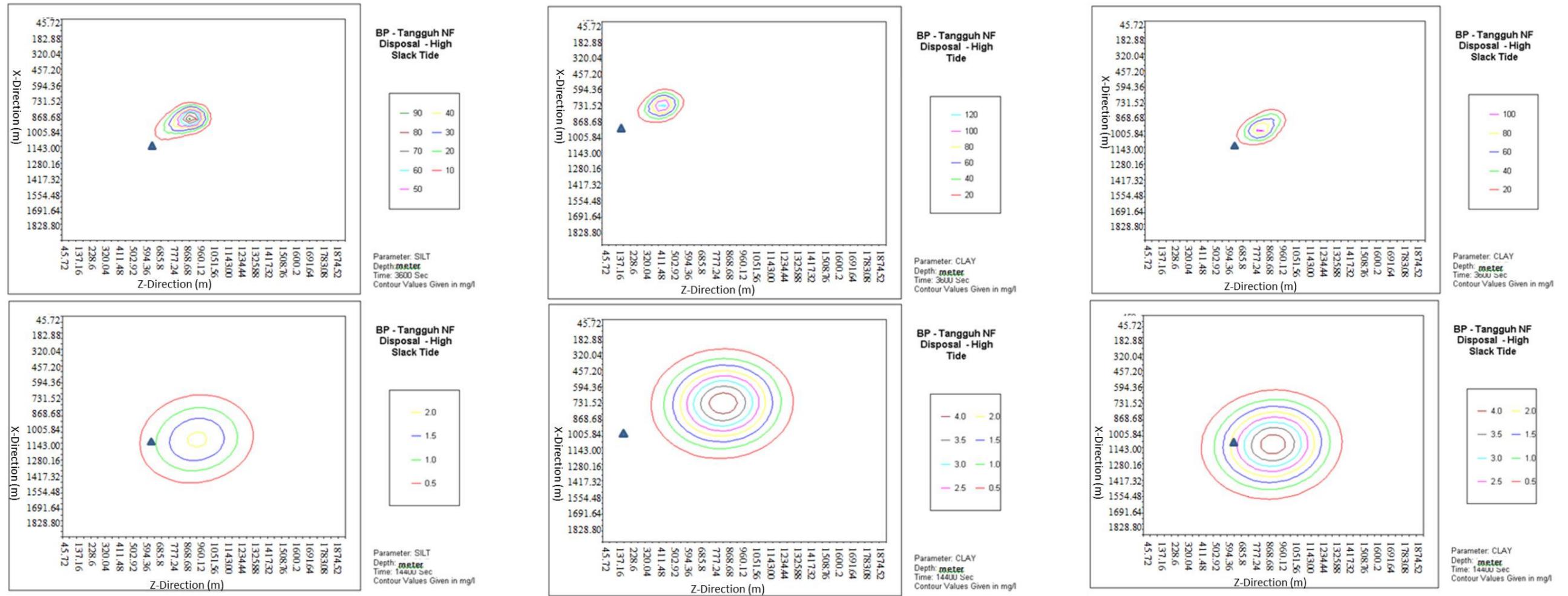


( Note : Legenda BP diganti dengan Tangguh LNG)>> Sama untuk gambar2 di bawah ini

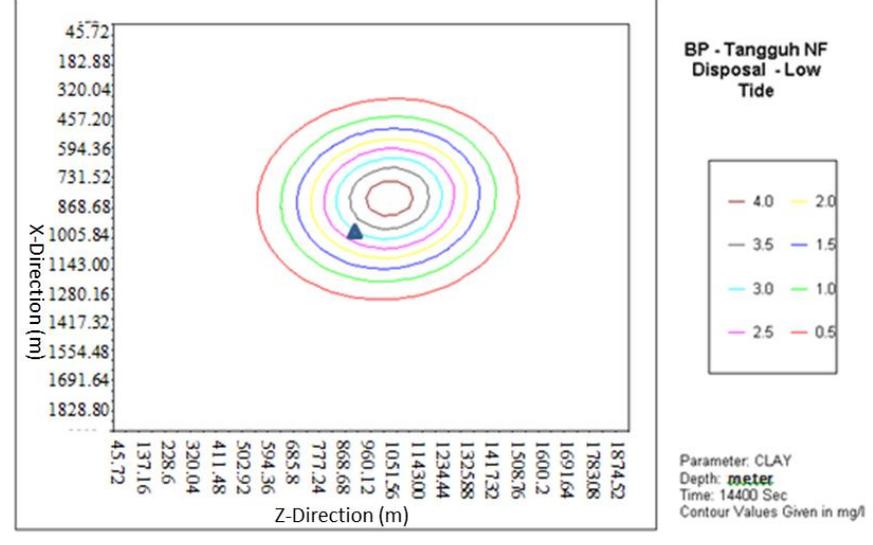
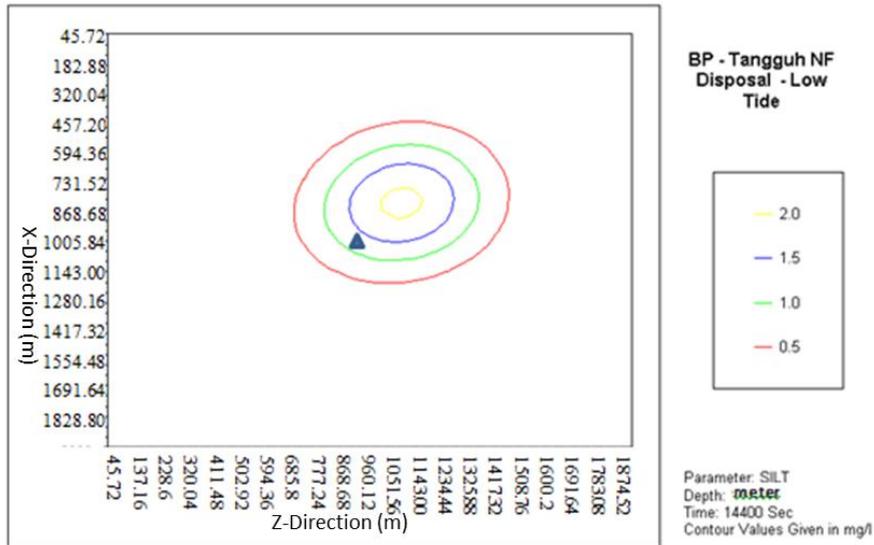
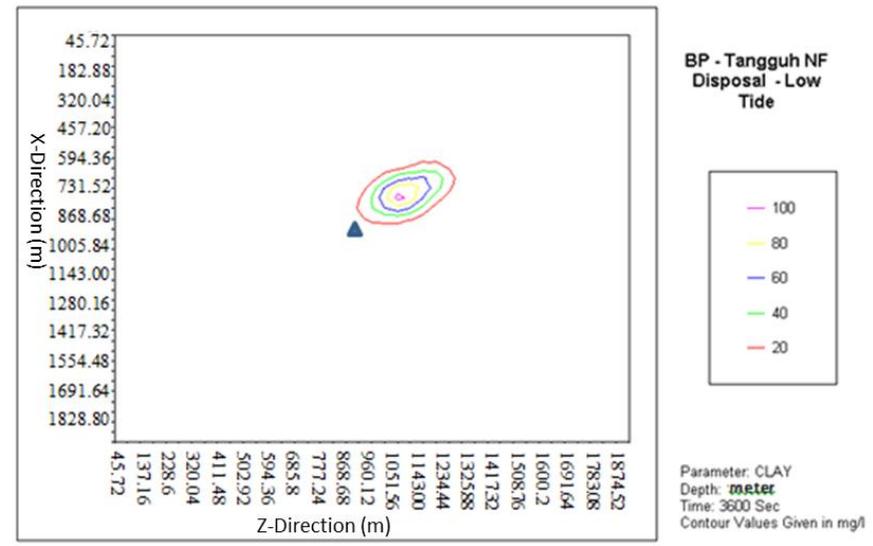
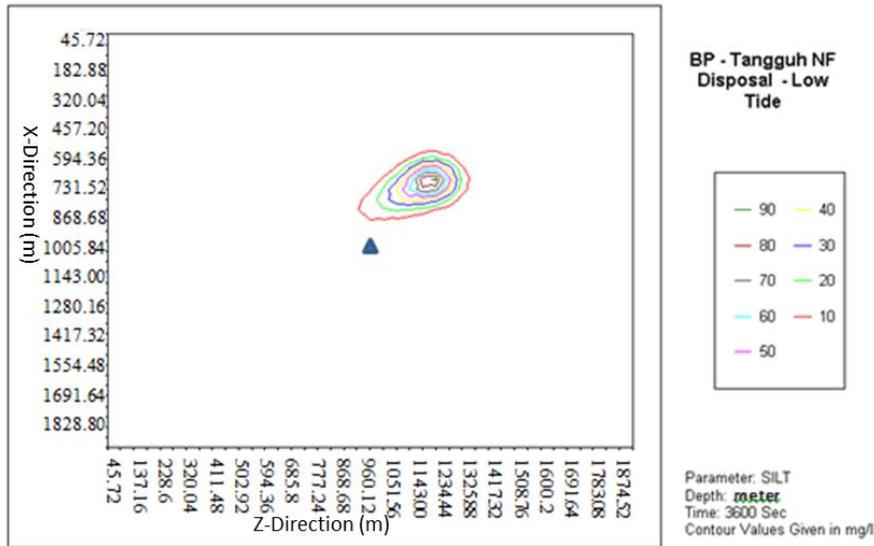
**Gambar 10-5** Ketebalan Maksimum Endapan Dasar Laut pada saat Pasang Rendah Lendut



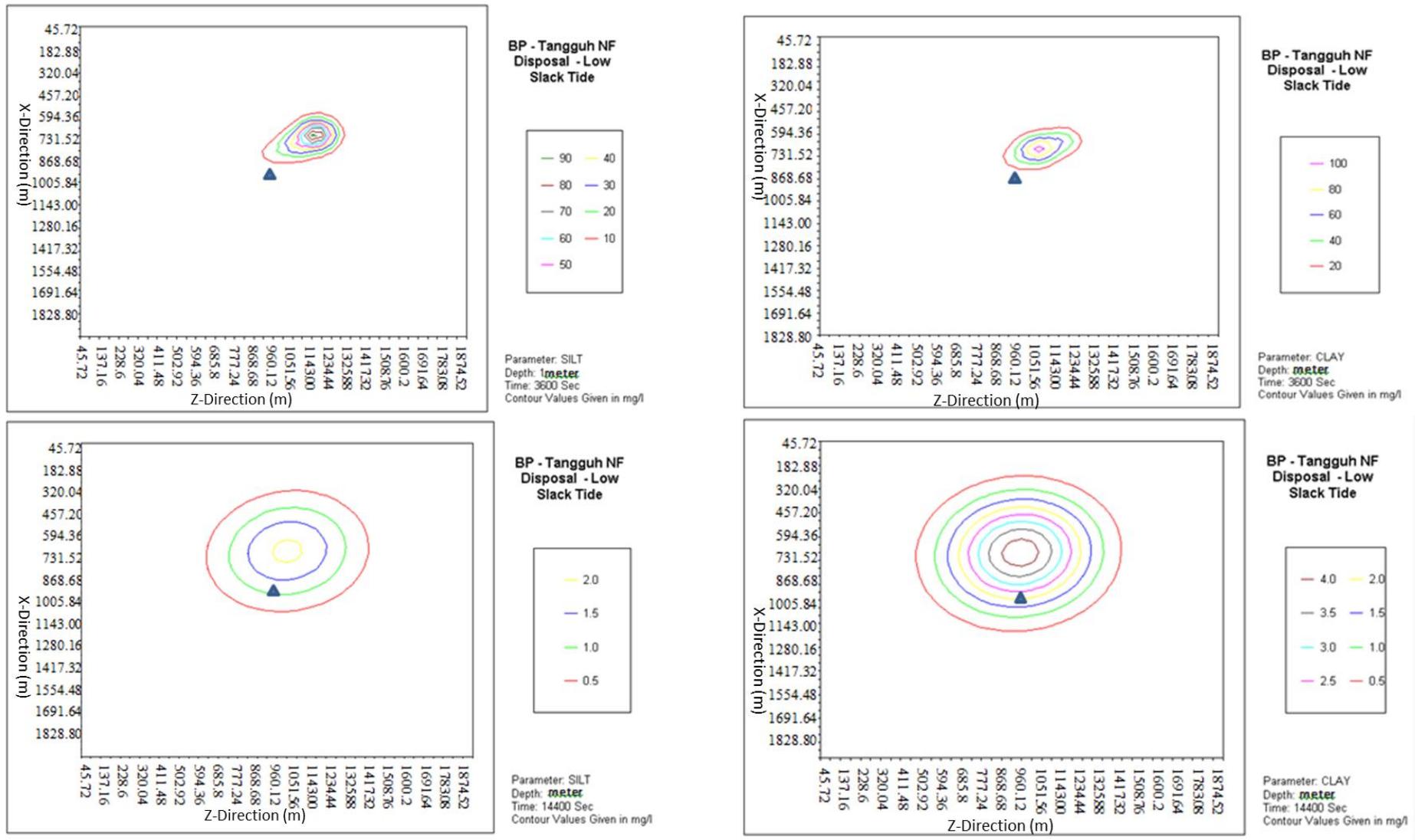
**Gambar 10-6** Gambaran Rencana Konsentrasi Maksimum Partikel Lanau (*silt*) dan Lempung (mg/L) di Dasar Laut pada Jam ke-1 dan Jam ke-4 Setelah Pembuangan Tunggal - pada saat Pasang Tinggi



Gambar 10-7 Tampilan Rencana Maksimal Kadar Konsentrasi Lumpur dan Lempung (mg/L) pada Dasar Laut pada Jam ke-1 dan Jam ke-4 Setelah Pengelepasan Tunggal - saat Pasang Lendut Tinggi



**Gambar 10-8** Tampilan Rencana Maksimal Kadar Konsentrasi Lumpur dan Lempung (mg/L) pada Dasar Laut pada Jam ke-1 dan Jam ke-4 Setelah Pengelepasan Tunggal - saat Pasang Rendah

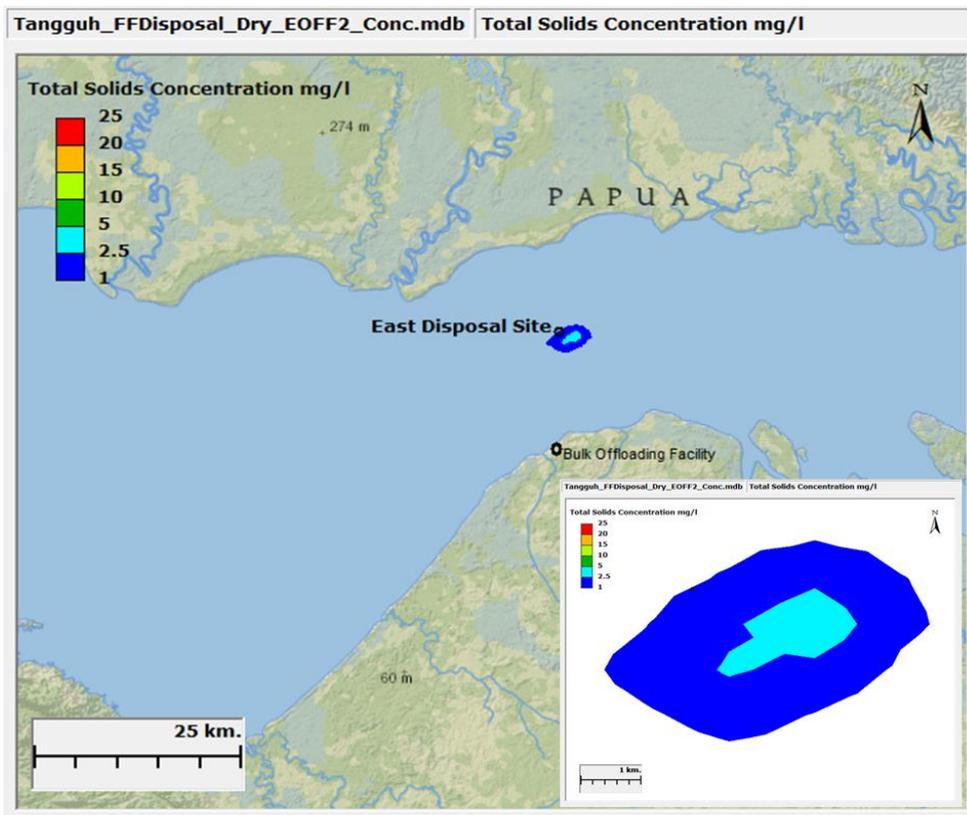


**Gambar 10-9 Tampilan Rencana Maksimal Kadar Konsentrasi Lumpur dan Lempung (mg/L) pada Dasar Laut pada Jam ke-1 dan Jam ke-4 Setelah Pengelepasan Tunggal - saat Pasang Lendut Rendah**

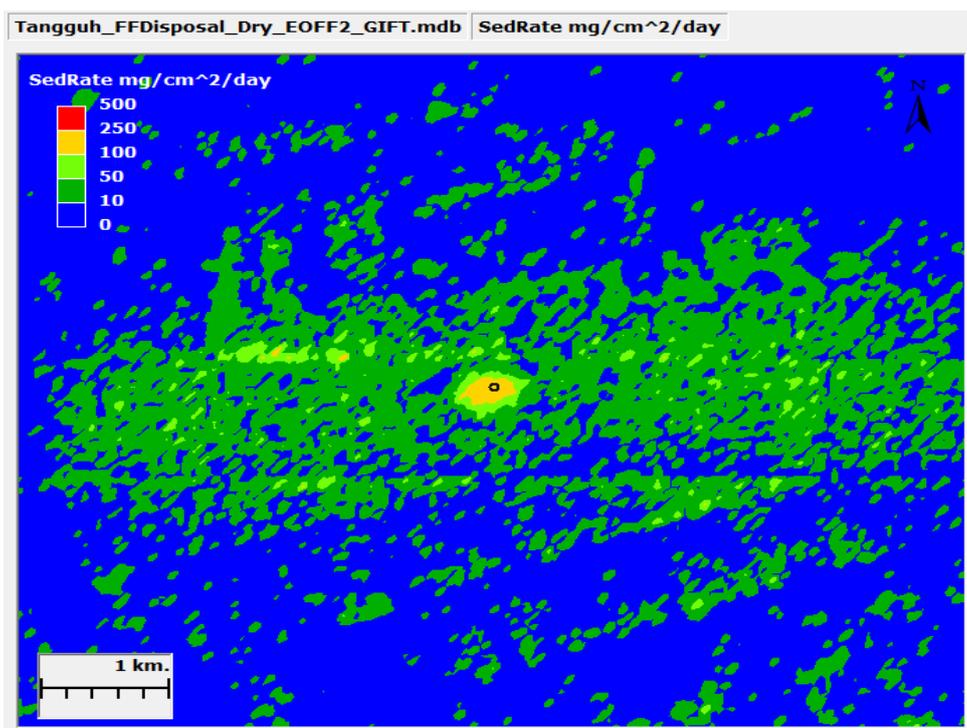
Bagian ini memaparkan hasil yang diperoleh dari model *far-field* selama pembuangan materi hasil pengerukan pada lokasi pembuangan di bagian timur. Pada kedua skenario (2W dan 2D), setiap hari sebanyak 2000 m<sup>3</sup> materi hasil pengerukan dibuang dalam dua kali pembuangan, masing-masing selama 10 menit. Pembuangan materi hasil pengerukan ini diulang setiap hari sepanjang periode simulasi. Pengoperasian pengerukan yang sebenarnya akan terjadi selama beberapa bulan. Namun, buangan hariannya sama dan jangka periode 30 hari cukup untuk memperkirakan potensi sebaran dampak (*fate and transport*) dari padatan tersuspensi (*suspended solids*) serta sedimentasi yang diakibatkan oleh pembuangan materi keruk.

Dalam skenario 2D, penambahan maksimum nilai TSS sesaat adalah 3,9 mg/L. *Snapshot* dari *plume* TSS selama kegiatan pembuangan sekaligus dan lokasi vertikal ketika TSS maksimum terjadi ditunjukkan dalam **Gambar 10-10**. *Plume* terbatas pada wilayah di sekitar lokasi pembuangan bagian timur. Nilai TSS turun drastis di bawah 2,5 mg/L pada jarak lebih dari 1,0 km dari lokasi pembuangan dengan luasan keseluruhan dari *plume* TSS (>1,0 mg/L) terlihat pada radius 10,0 km. Laju sedimentasi maksimum yang terjadi sesaat mencapai 218 mg/cm<sup>2</sup>-d dan ketebalan maksimum sedimennya adalah 36,2 mm, keduanya terjadi pada lokasi pembuangan. Pembuangan sedimen hasil pengerukan terjadi berulang kali pada lokasi yang sama dalam Model. Dalam prakteknya hal ini mungkin tidak terjadi, karena kemungkinan tongkang akan membuang sedimen pada lokasi yang berbeda dalam area sekitar lokasi pembuangan pada setiap perjalanannya, sehingga hasil pemodelan bersifat konservatif. **Gambar 10-11** dan **Gambar 10-12** menunjukkan gambaran (*snapshot*) laju sedimentasi dan ketebalan sedimen sekaligus ketika nilai maksimum tercapai. Baik laju sedimentasi dan ketebalan sedimen akan menurun, masing-masing sampai kurang dari 50 mg/cm<sup>2</sup>-d dan 2,5 mm dalam radius 500 m dari lokasi pembuangan. Hasil-hasil ini dengan jelas menunjukkan bahwa peningkatan pada TSS dan sedimentasi yang dihasilkan karena pembuangan materi hasil pengerukan merupakan fenomena lokal.

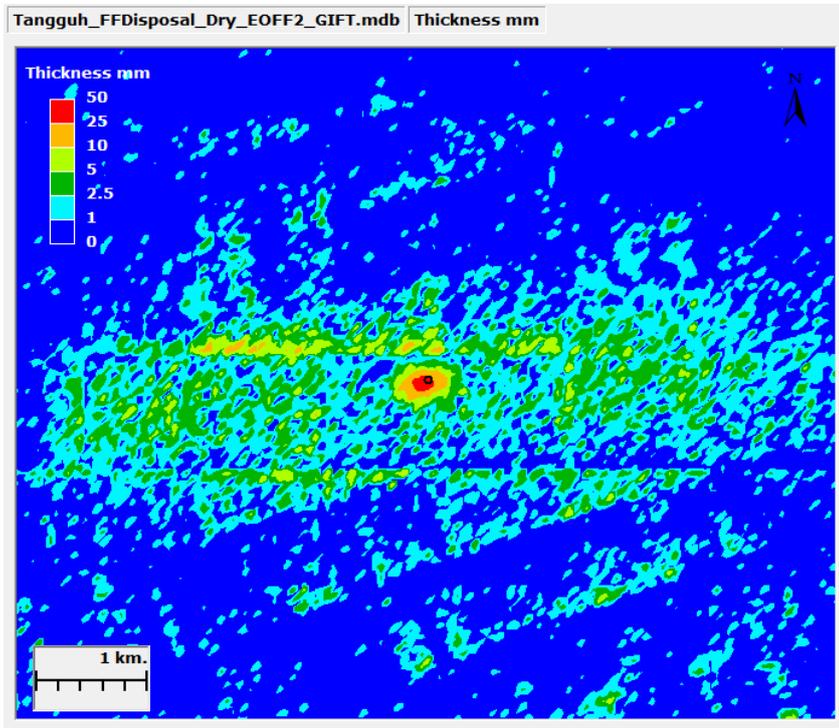
Dalam Skenario 2W, penambahan nilai TSS, laju sedimentasi dan ketebalan sedimen sebanding dengan pada musim kemarau. Penambahan maksimum nilai TSS diperkirakan menjadi 5,5 mg/L, dan laju sedimentasi serta ketebalan sedimen maksimum, masing-masing secara berurutan, diperkirakan menjadi 277 mg/cm<sup>2</sup>-d dan 28,2 mm. **Gambar 10-13**, **Gambar 10-14** dan **Gambar 10-15** menunjukkan penambahan maksimum *plume* TSS sesaat, laju sedimentasi dan ketebalan sedimen sebagai akibat dari pembuangan materi hasil pengerukan pada lokasi pembuangan bagian timur pada kondisi musim hujan.



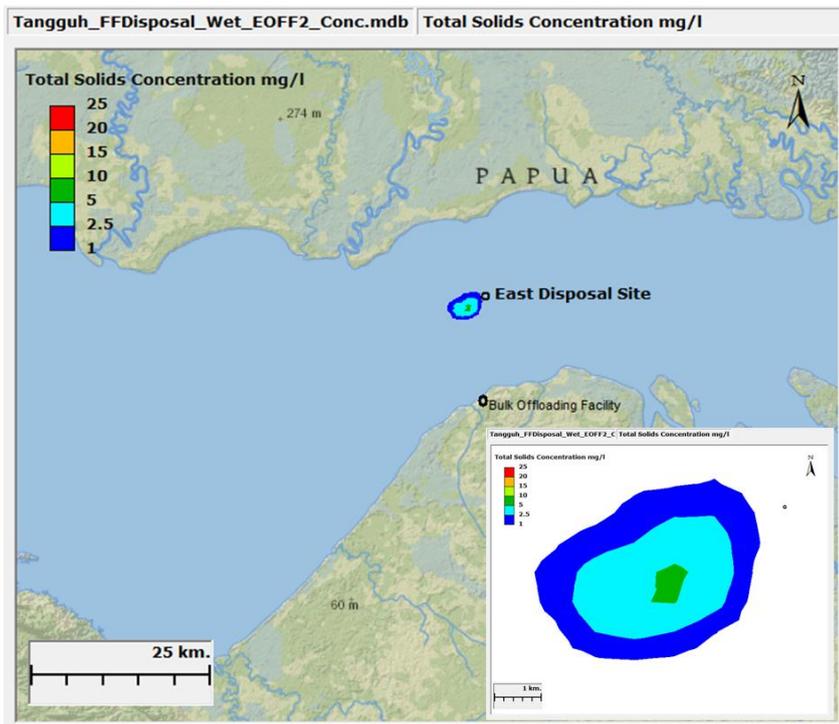
Gambar 10-10 Penambahan Maksimum TSS Selama Pembuangan Materi Hasil Pengerukan pada Lokasi Pembuangan Bagian Timur pada Kondisi Musim Kemarau



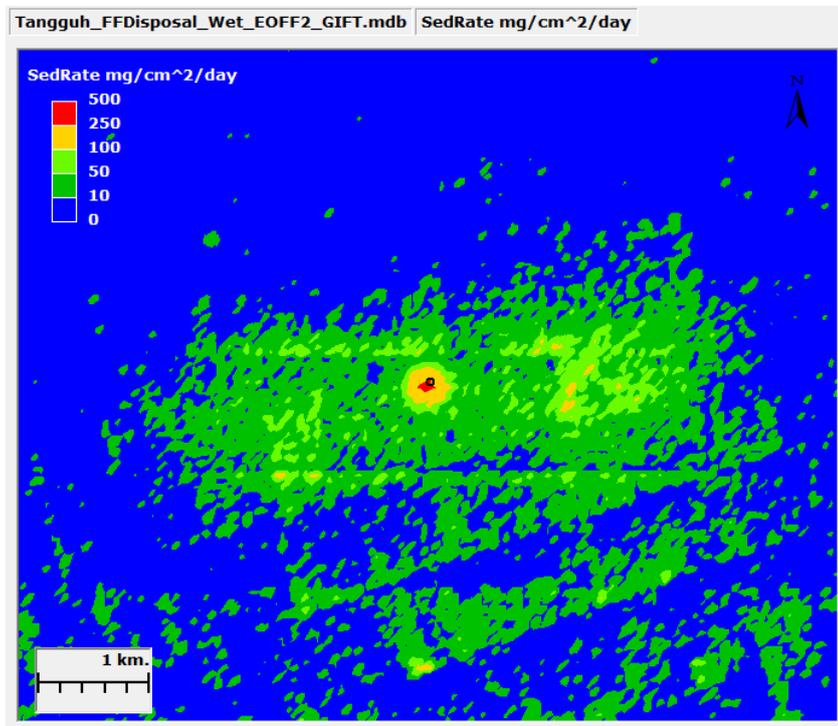
Gambar 10-11 Laju Sedimentasi Maksimum Selama Pembuangan Materi Hasil Pengerukan pada Lokasi Pembuangan Bagian Timur pada Kondisi Musim Kemarau



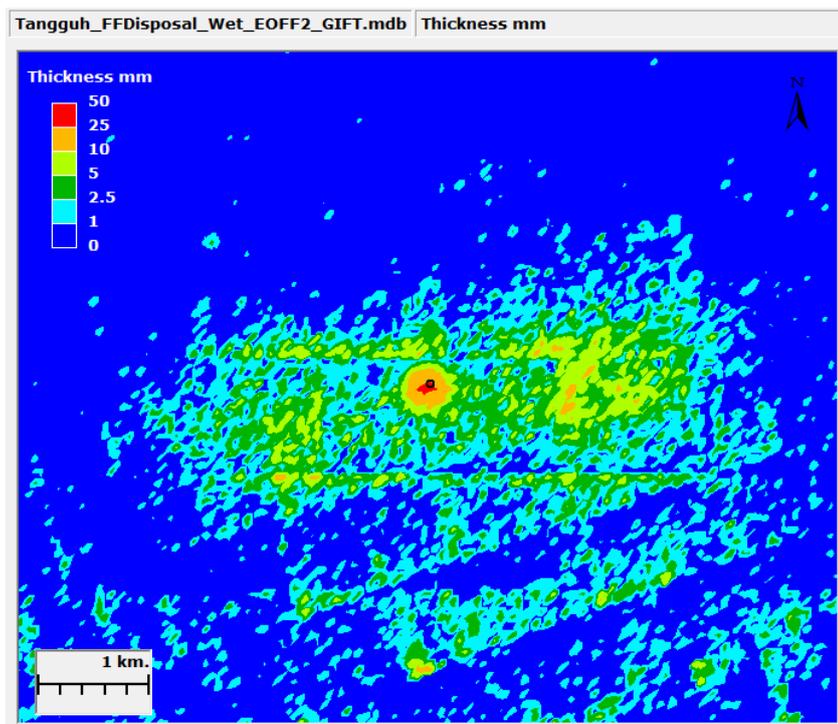
Gambar 10-12 Ketebalan Maksimum Sedimen selama Pembuangan Materi Hasil Pengerukan pada Lokasi Pembuangan Bagian Timur pada Kondisi Musim Kemarau



Gambar 10-13 Penambahan Maksimum TSS selama Pembuangan Materi Hasil Pengerukan pada Lokasi Pembuangan Bagian Timur pada Kondisi Musim Hujan



Gambar 10-14 Laju Sedimentasi selama Pembuangan Materi Hasil Pengerukan pada Lokasi Pembuangan Bagian Timur pada Kondisi Musim Hujan



Gambar 10-15 Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pembuangan Materi Hasil Pengerukan pada Lokasi Pembuangan Bagian Timur pada Kondisi Musim Hujan

Hasil dari pemodelan dan plot yang ditampilkan menunjukkan bahwa hasil pembuangan materi hasil pengerukan adalah adanya peningkatan TSS setempat pada kualitas air laut dan endapan sedimen dalam radius 10 km, dengan TSS > 2,5 mg/L dalam radius 1,0 km. Hasil-hasil yang ditunjukkan adalah nilai perkiraan maksimum selama kegiatan operasi pembuangan. Nilai-nilai maksimum ini hanya terjadi dalam periode waktu singkat karena kondisi ambien bersifat sementara dan *plume* dengan cepat menyebar atau mengendap pada dasar laut. Luas *plume* TSS dan *plume* sedimentasi diperkirakan serupa. Penambahan maksimum TSS terhadap kualitas air laut ambien diperkirakan hanya 5,5 mg/L. Nilai maksimum rona awal TSS selama musim kemarau adalah 27 mg/L yang mana jika ditambahkan dengan TSS maksimum tambahan setelah adanya pembuangan menghasilkan nilai total TSS sebesar 32,5 mg/L, yang berada di bawah baku mutu kualitas air laut ambien pada badan air yang berbatasan dengan mangrove sebesar 80 mg/L. Perkiraan hasil ini menunjukkan bahwa pembuangan materi hasil pengerukan yang direncanakan kemungkinan tidak akan melebihi batas baku mutu lingkungan yang berlaku atau menimbulkan dampak yang signifikan. **Tabel 10-5** menunjukkan ringkasan dari nilai TSS yang dihasilkan di atas kualitas air laut ambien, laju sedimentasi, ketebalan sedimen, dan area ketebalan endapan di atas 5 cm.

**Tabel 10-5 Ringkasan Perkiraan Hasil dari Skenario Kegiatan Operasi Pengerukan**

Scenario	Maximum TSS Above Ambient Seawater Quality (mg/L)	Maximum Sedimentation Rate (mg/cm <sup>2</sup> -day)	Maximum Depositional Thickness (mm)	Area of Depositional Thickness > 5 cm (m <sup>2</sup> )
2D	3,9	218	36,2	0
2W	5,5	277	28,2	0

Proyek Pengembangan Tangguh LNG juga melibatkan pengeboran sumur produksi gas tambahan. Sumur-sumur ini berlokasi di beberapa lapangan gas di sepanjang Teluk Bintuni. Selama pengeboran, serbuk dan lumpur bor akan dibuang. Serbuk dan lumpur bor tersebut mungkin akan menimbulkan dampak pada komunitas air dan benthic disebabkan adanya peningkatan TSS pada kolom air dan peningkatan sedimentasi pada dasar laut. Sehingga penting untuk memperkirakan perubahan pada TSS ambien dan sedimentasi yang disebabkan operasi pengeboran ini.

Pemilihan empat sumur dalam pemodelan ini adalah berdasarkan keunikan dan kedekatan lokasi-lokasi tersebut berkaitan dengan berbagai penerima dampak yang sensitif. Skenario model tersebut terdiri dari pembuangan serbuk dan lumpur bor yang diestimasi untuk empat sumur tersebut (**Gambar 3-1**) pada lokasi spesifik kondisi metocean untuk musim hujan dan musim kemarau.

Dampak fisik, kimia dan biologi serbuk bor ( terakhir melibatkan lumpur sisa pengeboran-*residual drilling mud*) yang dibuang pada permukaan air pada sumur-sumur yang direncanakan dikaji menggunakan pemodelan sebaran dampak tiga dimensi (*three-dimensional fate dan transport modeling*). Pemodelan menggunakan data yang didapat dari rencana desain pengeboran dan pemodelan hidrodinamika yang telah dilakukan sebagai bagian dari studi ini. Input model ini terdiri dari:

- kondisi metocean (kecepatan dan arah arus) diperkirakan dengan model hidrodinamika, yang digunakan pada model pengeboran untuk persebaran (*transport*) serbuk dan lumpur bor;
- kedalaman, bentuk dasar laut, dan jarak serta konfigurasi garis pantai di dekatnya; dan,
- volume, sifat-sifat, dan durasi tumpahan untuk pembuangan berbagai materi dan serbuk bor.

Pemodelan digunakan untuk memperkirakan laju sedimentasi, total padatan terlarut (TSS) yang ditambahkan ke kolom air, dan ketebalan *footprint* dari materi yang mengendap menumpuk di materi pada dasar laut. Berbagai skenario tersebut beserta hasilnya diringkas dalam bab ini.

### 11.1 RANCANGAN SKENARIO

Potensi persebaran dan pengendapan serbuk bor yang dibuang telah dihitung dengan menggunakan teknik pemodelan hidrodinamika dengan komputer. Pemodelan ini bisa memperkirakan dan menjelaskan ketinggian muka air, kecepatan dan arah arus laut. Materi yang dibuang akan melalui kolom air secara vertikal, karena serbuk bor lebih padat dibandingkan air penerima. Persebaran serbuk bor ini pada dasarnya merupakan fenomena tiga dimensi.

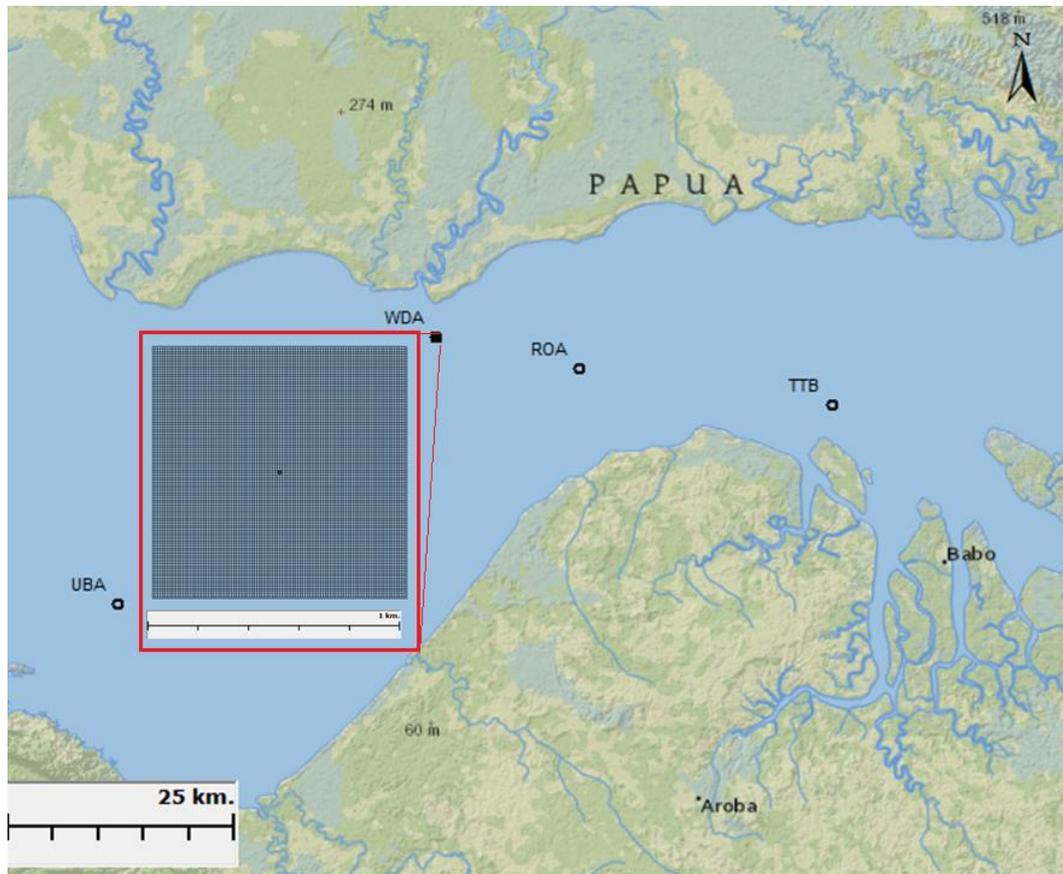
Data perkiraan volume serbuk bor (termasuk sisa lumpur bor) diberikan oleh Tangguh LNG. Berat jenis serta distribusi ukuran partikel diasumsikan berdasarkan pengalaman pengeboran lepas pantai sebelumnya. Pembuangan disimulasikan untuk dua musim: musim kemarau (Agustus) dan musim hujan (Desember). Ringkasan skenario dapat dilihat pada **Tabel 11-1**. Tangguh LNG merencanakan akan menggunakan lumpur berbasis air (WBM) dan lumpur berbasis sintetik (SBM). Seluruh fluida dan serbuk bor akan dibuang dari *rig* pengeboran 5 meter di bawah LAT.

**Tabel 11-1 Skenario**

Lokasi	Musim	Skenario	Kedalaman Badan Air pada Lokasi (m)
ROA	Hujan	3W	36
	Kemarau	3D	
TTB	Hujan	4W	28
	Kemarau	4D	
WDA	Hujan	5W	62
	Kemarau	5D	
UBA	Hujan	6W	22
	Kemarau	6D	

## 11.2 DATA LUMPUR DAN SERBUK BOR

Model 3 dimensi, GIFT, yang dipakai untuk melihat dampak terkait proses pengerukan juga dipakai untuk serbuk bor dan pembuangan lumpur. *Grid* dua dimensi (2D) dibuat untuk mencakup wilayah seluas 1 km x 1 km, dengan sel *grid* berukuran 20 m x 20 m pada tiap lokasi. Contoh *grid* ditunjukkan di bawah ini pada **Gambar 11-11** di site. *Grid* ini digunakan untuk perhitungan laju sedimentasi dan ketebalan endapan.



**Gambar 11-1** Grid Sedimentasi dan Ketebalan Endapan

Perkiraan jenis dan jumlah pembuangan materi yang dibuang, karakteristik fisik sumur, dan durasi pembuangan diberikan pada **Tabel 11-2**.

**Tabel 11-2** Karakteristik Pembuangan

Hari	Lumpur	Serbuk Bor
1	1500	624,5
2	1500	624,5
3	1500	624,5
4	1500	624,5
5-7	0	0
8	1500	624,5
9	1500	624,5
10	1500	624,5
11-13	0	0
14	1500	624,5
15	1500	624,5
16-18	0	0
19	1500	624,5
20-22	0	0
<b>Total (bbl)</b>	<b>15000</b>	<b>6245</b>

Distribusi ukuran partikel serbuk dan lumpur bor diberikan pada Tabel 11-3 berdasarkan nilai yang didapat pada proyek pengeboran yang serupa sebelumnya. Kepadatan serbuk dan lumpur bor yang digunakan untuk studi ini diberikan pada Tabel 11-4.

**Tabel 11-3 Persebaran Ukuran Partikel Serbuk dan Lumpur Bor**

Serbuk Bor		WBM		SBM	
Ukuran Partikel (µm)	Fraksi Volume %	Ukuran Partikel (µm)	Fraksi Volume %	Ukuran Partikel (µm)	Fraksi Volume %
52	2	1	2,2	52	2
170	9	1,5	3	170	9
450	15	3	8,6	450	15
910	18	5	20,2	910	18
2600	16	7,5	9,1	2600	16
4400	15	15	20,8	4400	15
15000	25	30	19,5	15000	25
		35	2		
		75	11,4		
		150	3,3		

**Tabel 11-4 Berat Jenis Serbuk dan Lumpur Bor**

Materi	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )
Cuttings	2650
WBM	1510
SBM	2059

### 11.3 PEMODELAN FAR-FIELD

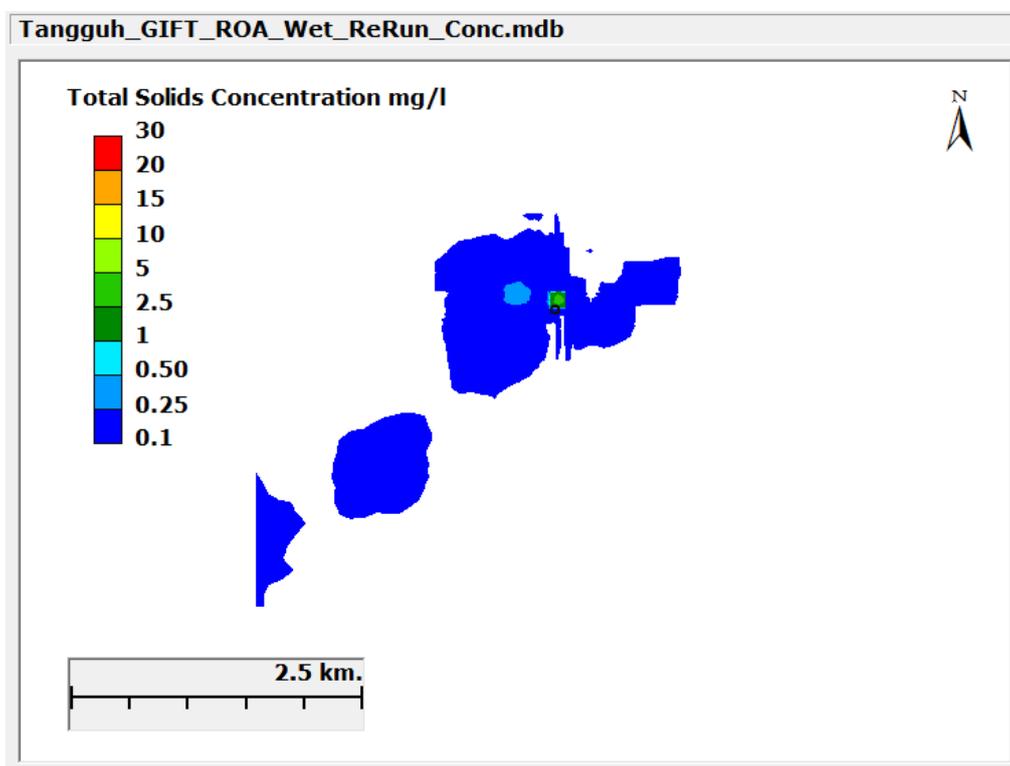
Bagian ini memaparkan hasil yang didapat dari model *far-field* selama pengeboran pada ROA, TTB, WDA, dan UBA. Pada seluruh delapan skenario, total serbuk bor sebesar 991 m<sup>3</sup> dan lumpur bor sebesar 356 m<sup>3</sup> dibuang di ROA. Seluruh operasi pengeboran tempat terjadinya pembuangan ini berlangsung selama 26,5 hari. Model dijalankan untuk tambahan 4 hari setelah pengeboran dihentikan untuk menangkap sebaran dampak (*fate*) dari serbuk dan lumpur bor sampai akhir pembuangannya.

#### 11.3.1 Pengeboran di ROA

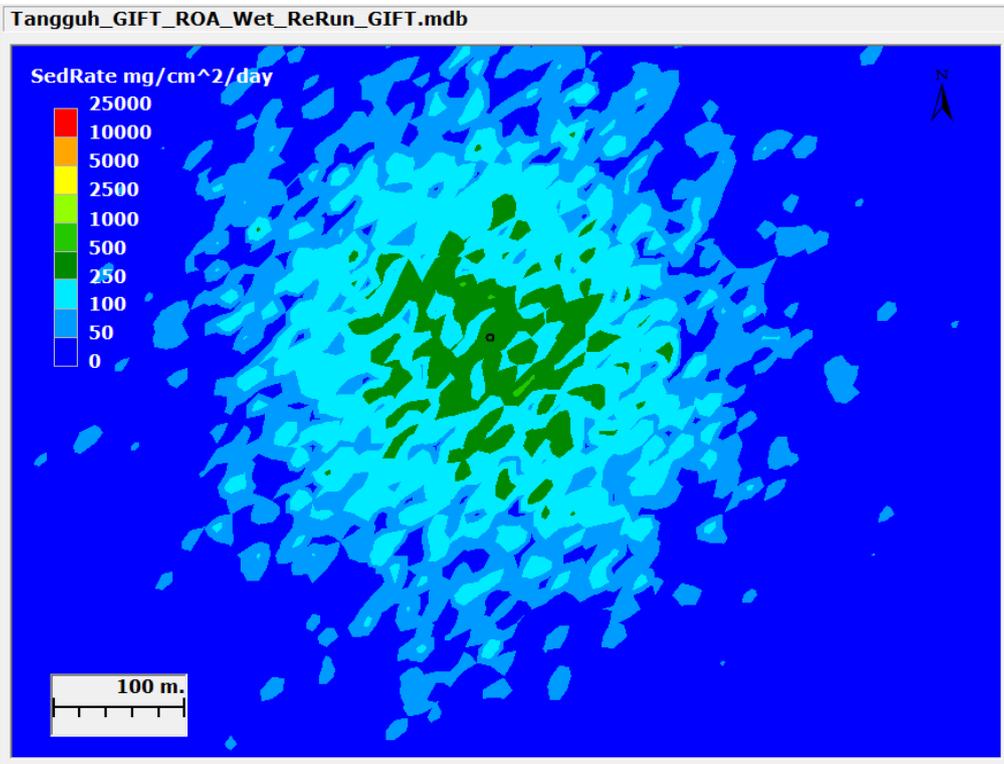
Pada Skenario 3W, nilai penambahan maksimum TSS sesaat adalah 3,0 mg/L. Gambaran (*snapshot*) *plume* TSS selama kegiatan operasi pengeboran sekaligus dan lokasi vertikal ketika TSS maksimum terjadi ditunjukkan pada **Gambar 11-2**. *Plume* ini memanjang dan menghadap ke arah timur. Nilai TSS turun drastis di bawah 0,5 mg/L pada jarak lebih dari 250 m dari lokasi pengeboran. Laju sedimentasi maksimum sesaat adalah 594 mg/cm<sup>2</sup>-d dan ketebalan sedimen maksimumnya adalah 10,1 mm, keduanya terjadi pada lokasi pengeboran. **Gambar 11-3** dan

**Gambar 11-4** menunjukkan *snapshot* laju sedimentasi dan ketebalan sedimen pada saat nilai maksimum tercapai. Perhatikan bahwa laju sedimentasi dan ketebalan sedimentasi tersebut bersifat sementara karena proses deposisi yang bersifat menerus (*continuous deposition*) dan terjadinya erosi pada berbagai kondisi hidrodinamika. Baik laju sedimentasi serta ketebalan sedimen keduanya turun sampai kurang dari 100 mg/cm<sup>2</sup>-d dan 3,0 mm, masing-masing secara berurutan, dalam radius 250 m dari lokasi pengeboran. Hasil ini dengan jelas menunjukkan bahwa penambahan TSS serta sedimentasi karena pengeboran merupakan fenomena lokal.

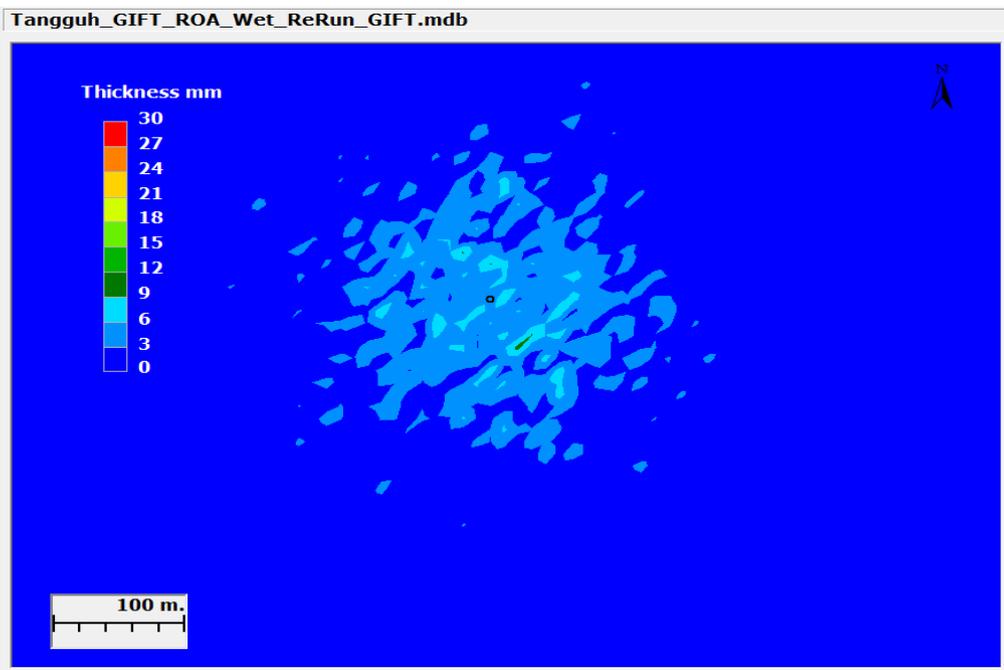
Pada Skenario 3D, penambahan TSS, laju sedimentasi dan ketebalan sedimennya tidak terlalu jauh dengan nilai pada musim hujan. Penambahan TSS maksimum diperkirakan 3,0 mg/L dan laju sedimentasi maksimum serta ketebalan sedimen, secara berurutan, diperkirakan mencapai 608 mg/cm<sup>2</sup>-d dan 11,4 mm. **Gambar 11-5**, **Gambar 11-6** dan **Gambar 11-7** menunjukkan nilai maksimum penambahan sesaat *plume* TSS, laju sedimentasi dan ketebalan sedimen akibat pengeboran di ROA dalam kondisi musim hujan.



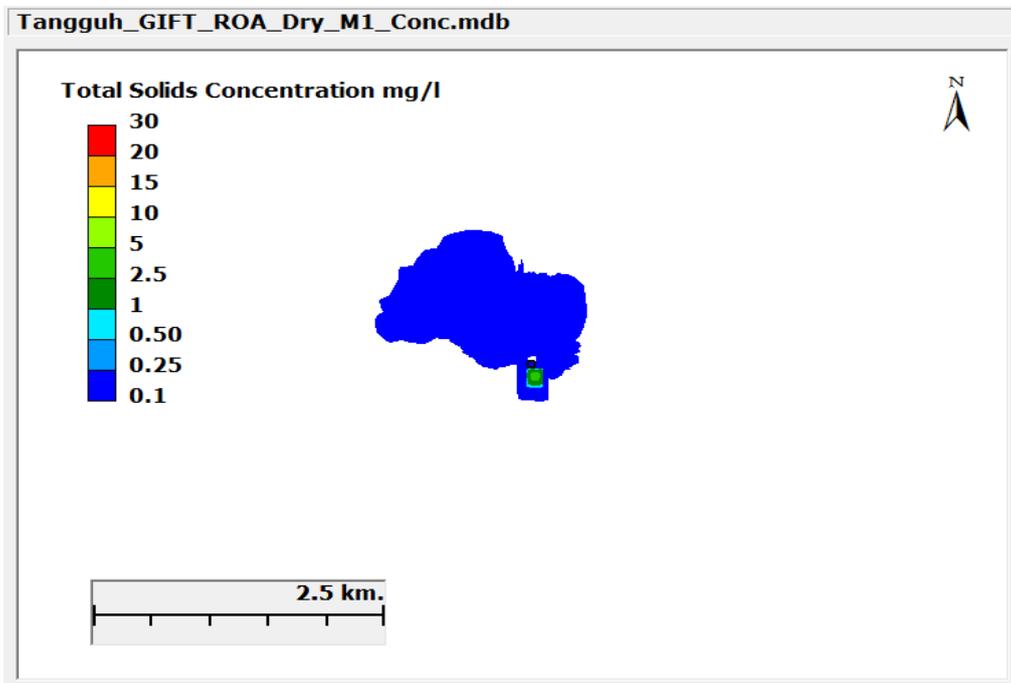
**Gambar 11-2** Pertambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di ROA pada Musim Hujan



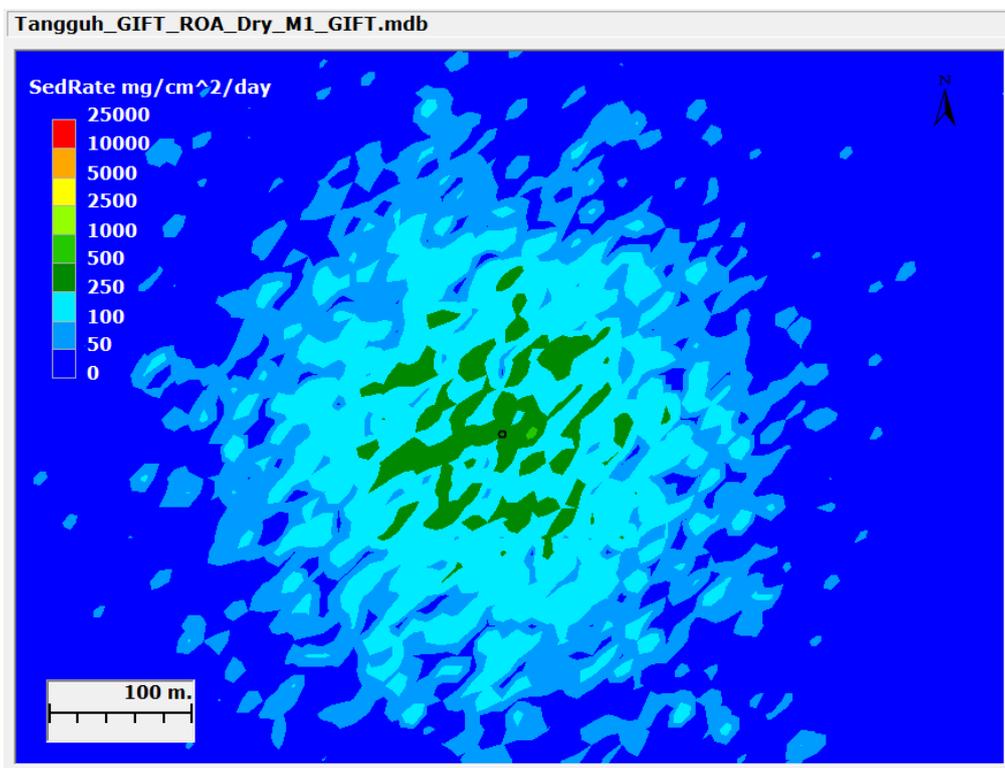
Gambar 11-3 Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di ROA pada Musim Hujan



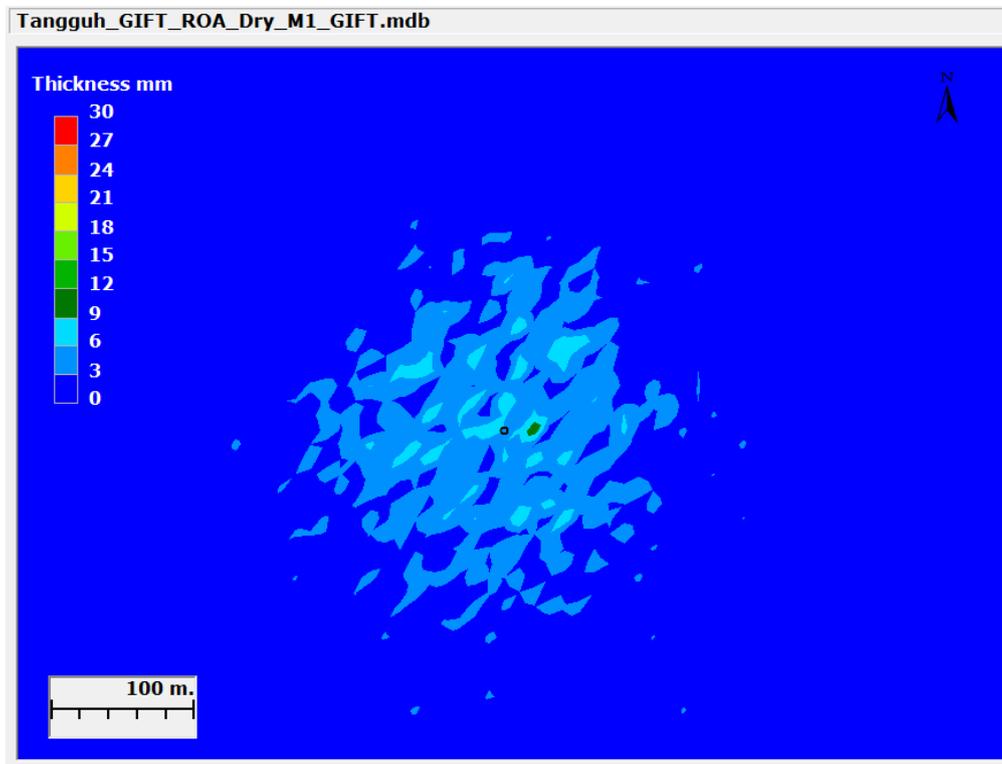
Gambar 11-4 Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di ROA pada Musim Hujan



Gambar 11-5 Penambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di ROA pada Musim Kemarau



Gambar 11-6 Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di ROA pada Musim Kemarau

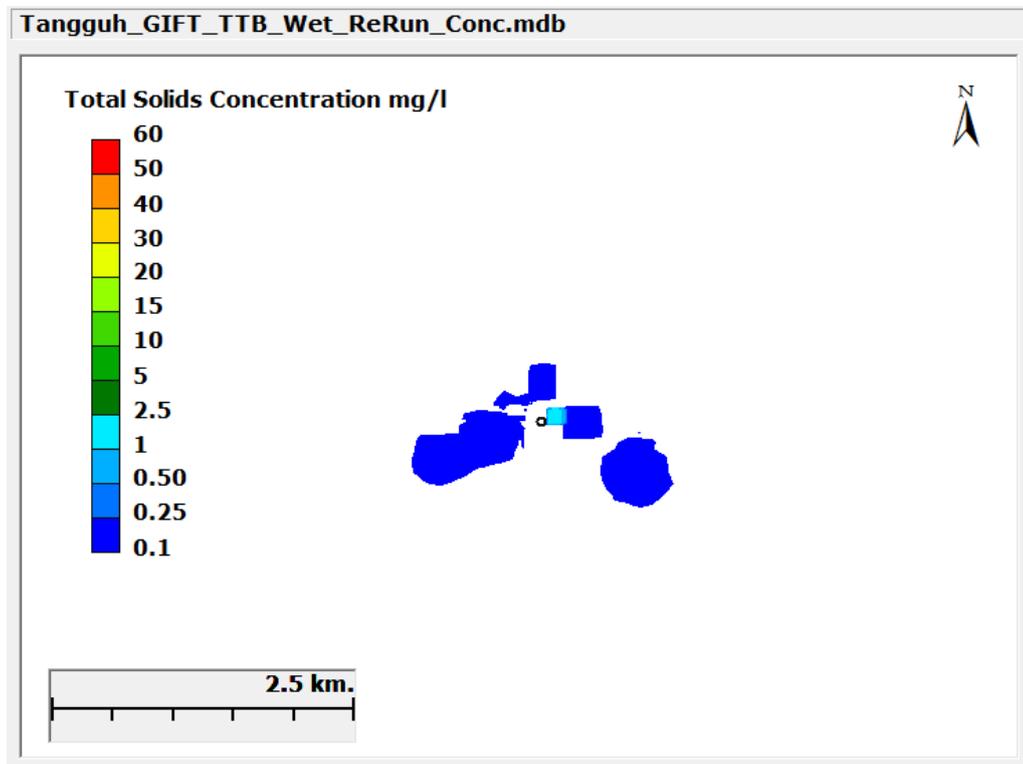


**Gambar 11-7** Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di ROA pada Musim Kemarau

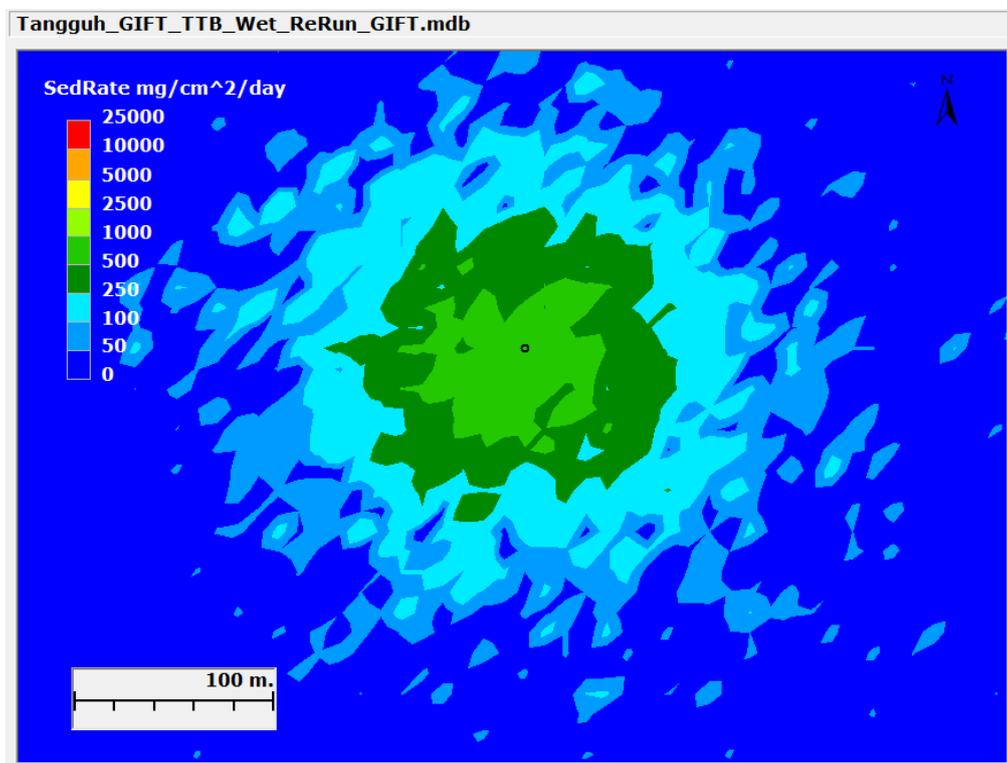
### 11.3.2 Pengeboran di TTB

Pada Skenario 4W, nilai penambahan TSS sesaat adalah 2,0 mg/L. Gambaran *plume* TSS selama operasi pengeboran sekaligus dan lokasi vertikal ketika TSS maksimum terjadi ditunjukkan pada **Gambar 11-8**. *Plume* ini memanjang dan menghadap ke tenggara karena orientasi garis pantainya. Nilai TSS turun drastis di bawah 0,25 mg/L pada jarak lebih dari 250 m dari lokasi pengeboran. Laju sedimentasi maksimum sesaat adalah 937 mg/cm<sup>2</sup>-d dan ketebalan sedimen maksimumnya adalah 15 mm di mana keduanya terjadi pada lokasi pengeboran. **Gambar 11-9** dan **Gambar 11-10** menunjukkan gambaran laju sedimentasi dan ketebalan sedimen pada saat nilai maksimum tercapai. Baik laju sedimentasi serta ketebalan sedimen keduanya turun sampai kurang dari 100 mg/cm<sup>2</sup>-d dan 3,0 mm, masing-masing secara berurutan, dalam radius 150 m dari lokasi pengeboran. Hasil ini dengan jelas menunjukkan bahwa TSS serta sedimentasi yang terjadi karena pengeboran TTB merupakan fenomena yang bersifat lokal, hasil serupa dengan yang didapat di ROA.

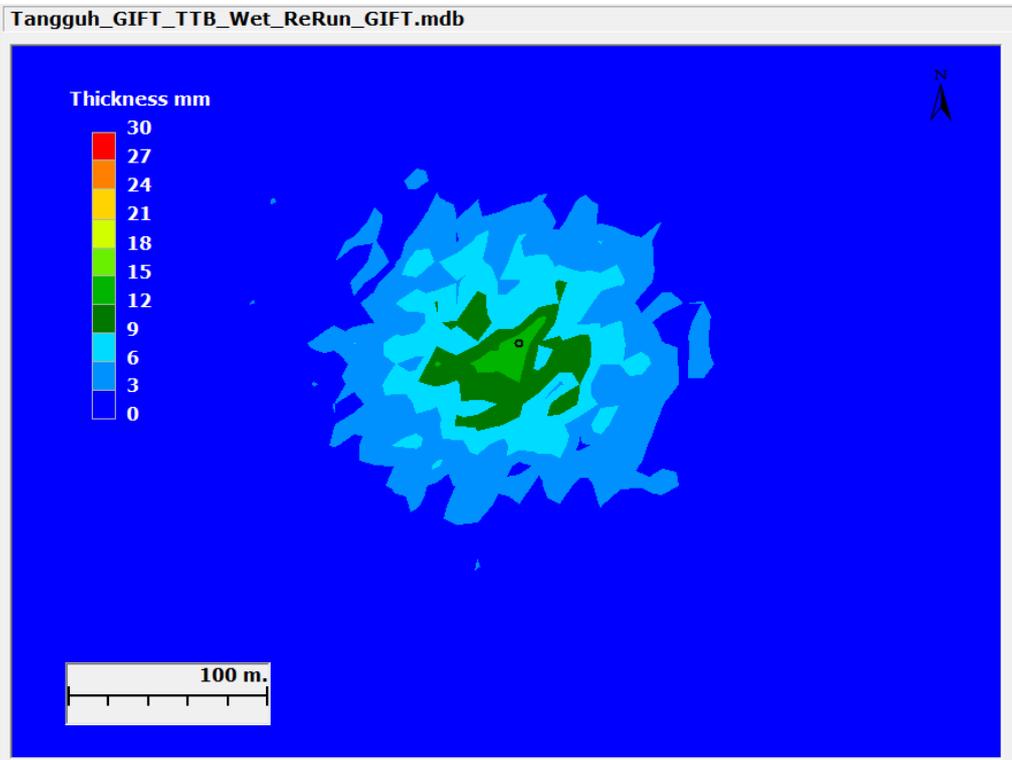
Pada Skenario 4D, penambahan TSS, laju sedimentasi dan ketebalan sedimen tidak berbeda jauh dengan nilai pada musim hujan. Penambahan TSS maksimum diperkirakan 7,2 mg/L dan laju sedimentasi maksimum serta ketebalan sedimen, secara berurutan, diperkirakan mencapai 799 mg/cm<sup>2</sup>-d dan 14,9 mm. **Gambar 11-11**, **Gambar 11-12** dan **Gambar 11-13** menunjukkan nilai maksimum penambahan sesaat *plume* TSS, laju sedimentasi dan ketebalan sedimen sebagai akibat dari pengeboran di TTB pada kondisi musim hujan.



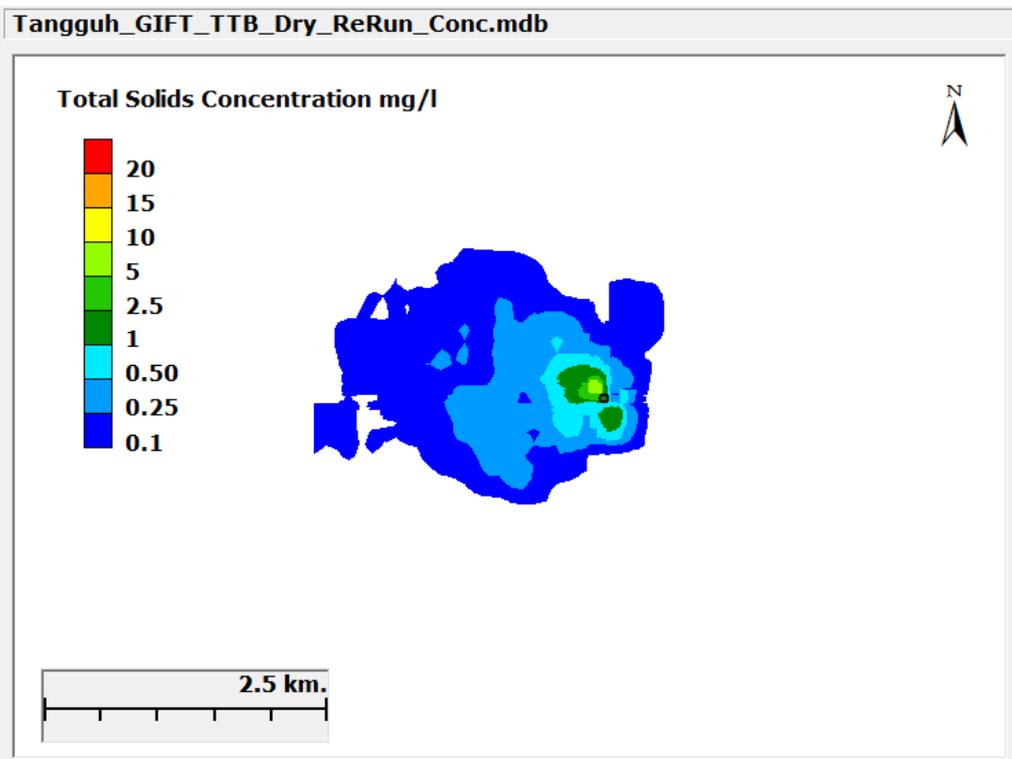
Gambar 11-8 Penambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di TTB pada Musim Hujan



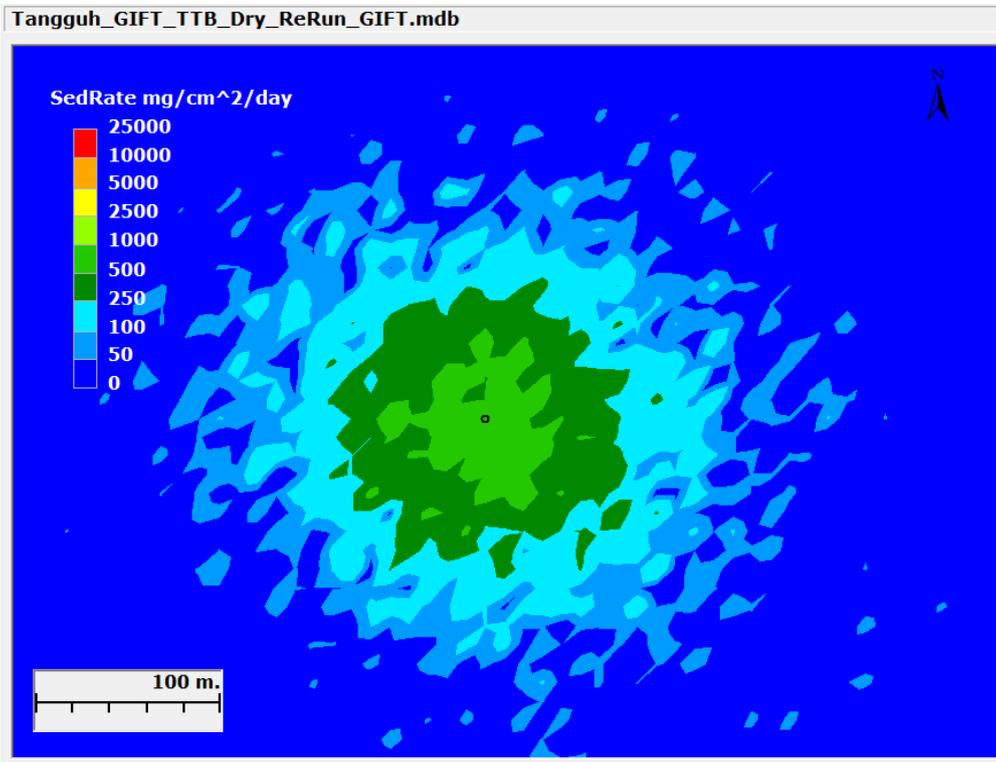
Gambar 11-9 Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di TTB pada Musim Hujan



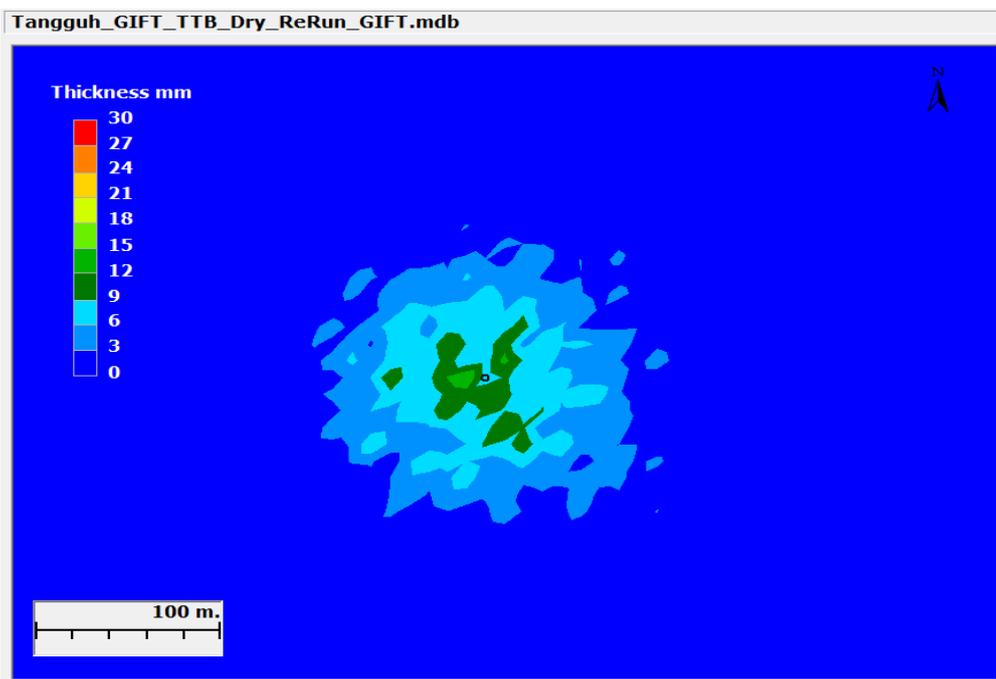
Gambar 11-10 Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di TTB pada Musim Hujan



Gambar 11-11 Penambahan Maksimum TSS selama Pengeboran di TTB pada Musim Kemarau



Gambar 11-12 Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di TTB pada Musim Kemarau

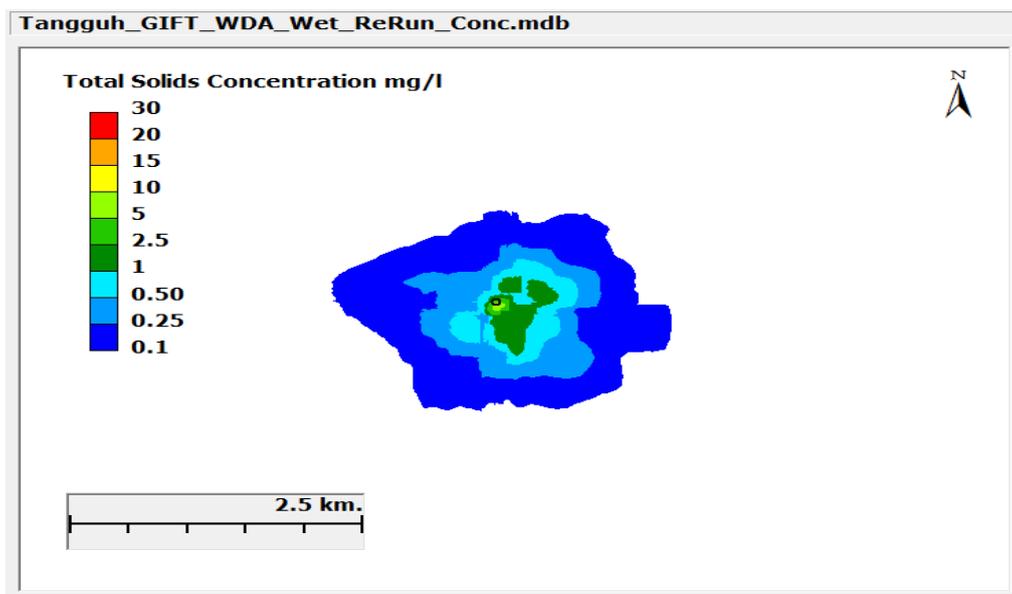


Gambar 11-13 Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di TTB pada Musim Kemarau

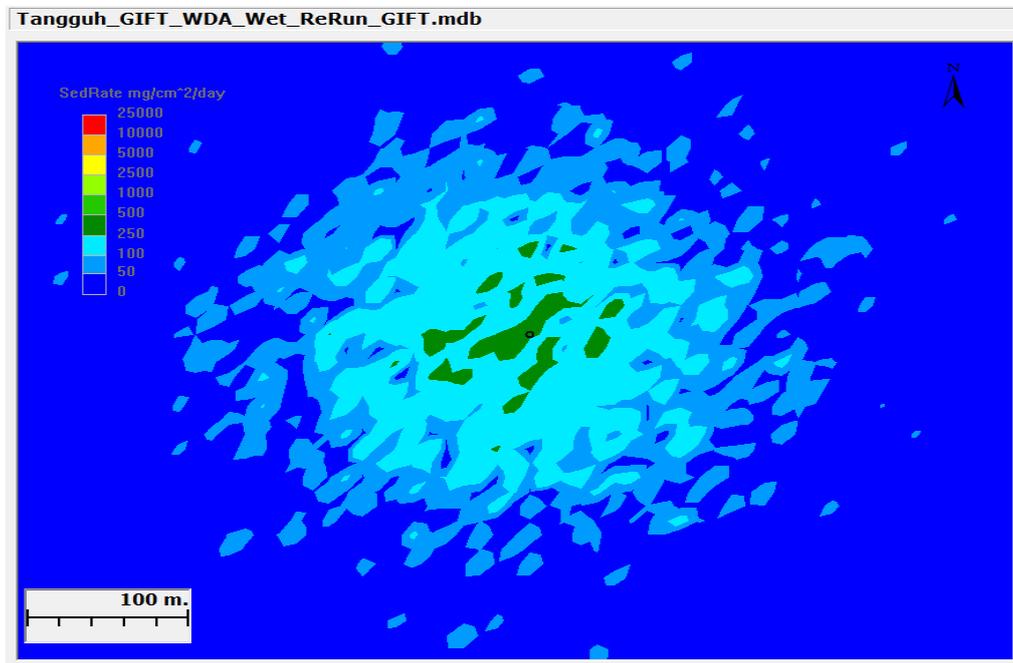
### 11.3.3 Pengeboran di WDA

Pada Skenario 5W, nilai penambahan maksimum TSS sesaat dihitung mencapai 6,8 mg/L. Gambaran *plume* TSS selama proses operasi pengeboran pada saat tersebut dan lokasi vertikal ketika TSS maksimum terjadi ditunjukkan pada **Gambar 11-14**. *Plume* memanjang dan menghadap ke timur laut sesuai garis pantai dan arah arus pasang yang dominan. Nilai TSS turun drastis di bawah 0,25 mg/L pada jarak lebih dari 1,5 km dari lokasi pengeboran. Laju sedimentasi maksimum sesaat adalah 382 mg/cm<sup>2</sup>-d dan ketebalan sedimen maksimumnya adalah 7,8 mm keduanya terjadi pada lokasi pengeboran. Laju sedimentasi dan ketebalan sedimen berada di bawah nilai yang didapat di ROA dan TTB. Nilai ini lebih rendah karena WDA jauh lebih dalam (kedalaman 62 meter) dibandingkan ROA (36 m) dan TTB (28 m). Kedalaman badan air yang lebih besar memungkinkan serbuk dan lumpur bor terhanyut lebih jauh secara vertikal yang menghasilkan penyebaran *plume* tambahan dan pelarutan sebelum terjadinya sedimentasi. **Gambar 11-15** dan **Gambar 11-16** menunjukkan gambaran laju sedimentasi dan ketebalan sedimen pada saat tersebut ketika nilai maksimum tercapai. Baik laju sedimentasi serta ketebalan sedimen keduanya turun sampai kurang dari 100 mg/cm<sup>2</sup>-d dan 3,0 mm, masing-masing secara berurutan, dalam radius 150 m dari lokasi pengeboran.

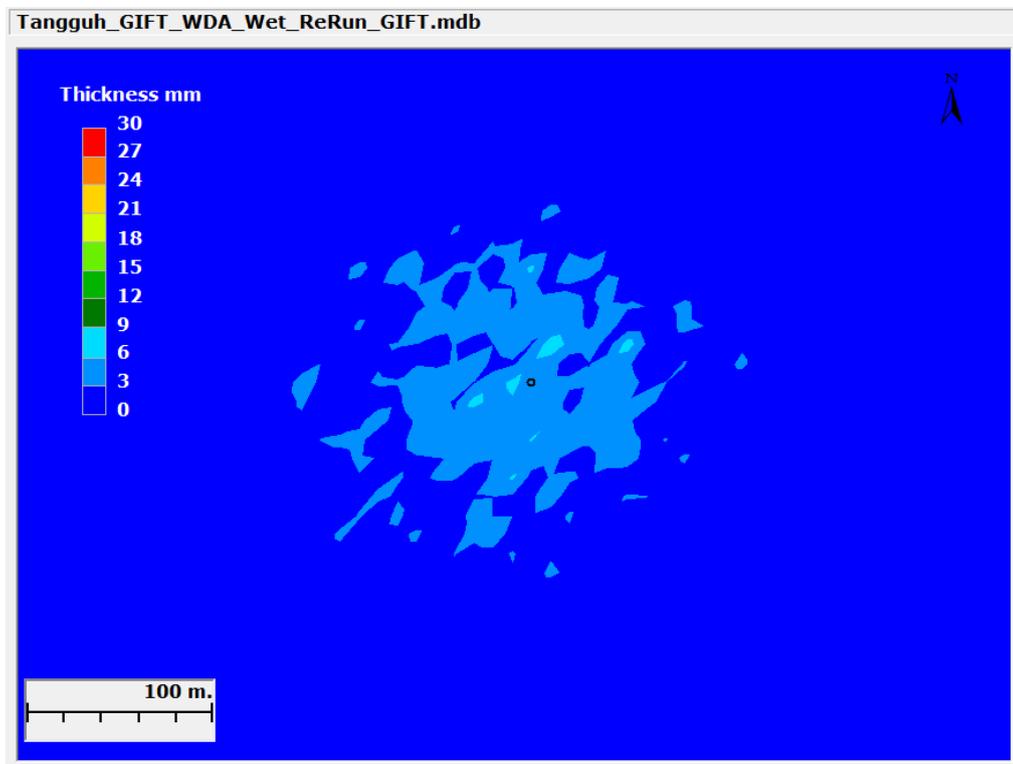
Pada Skenario 5D, penambahan TSS, laju sedimentasi dan ketebalan sedimennya tidak berbeda jauh dengan pada musim hujan. Penambahan TSS maksimum diperkirakan 5,9 mg/L dan laju sedimentasi maksimum serta ketebalan sedimen, secara berurutan, diperkirakan mencapai 344 mg/cm<sup>2</sup>-d dan 6,3 mm. **Gambar 11-17**, **Gambar 11-18** and **Gambar 11-19** menunjukkan nilai maksimum penambahan sesaat *plume* TSS, laju sedimentasi dan ketebalan sedimen akibat pengeboran di WDA dalam kondisi musim hujan.



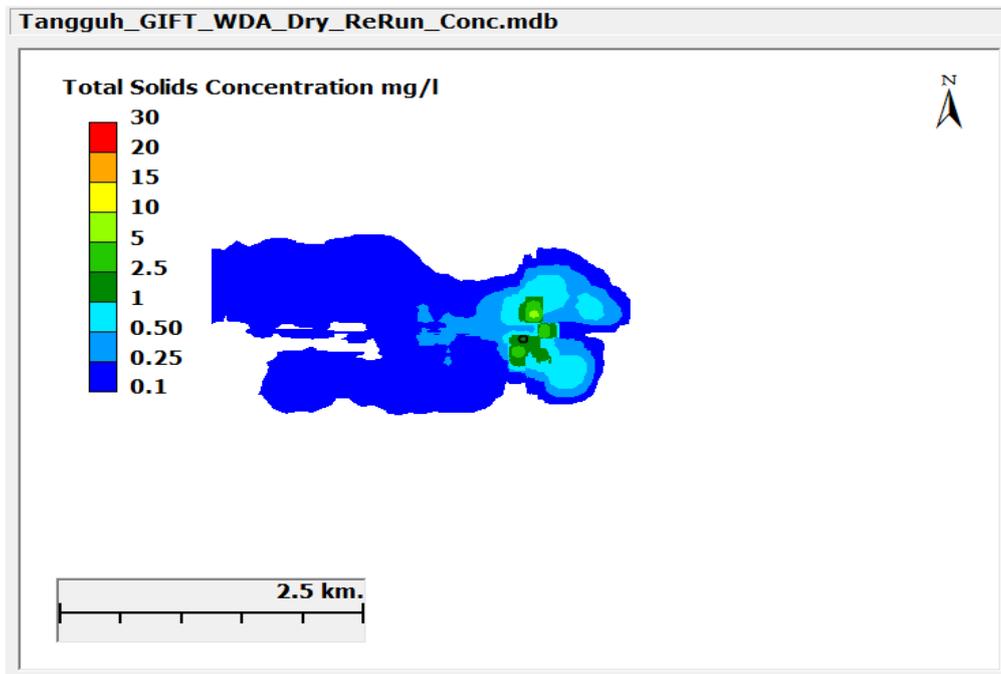
**Gambar 11-14** Penambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di WDA pada Musim Hujan



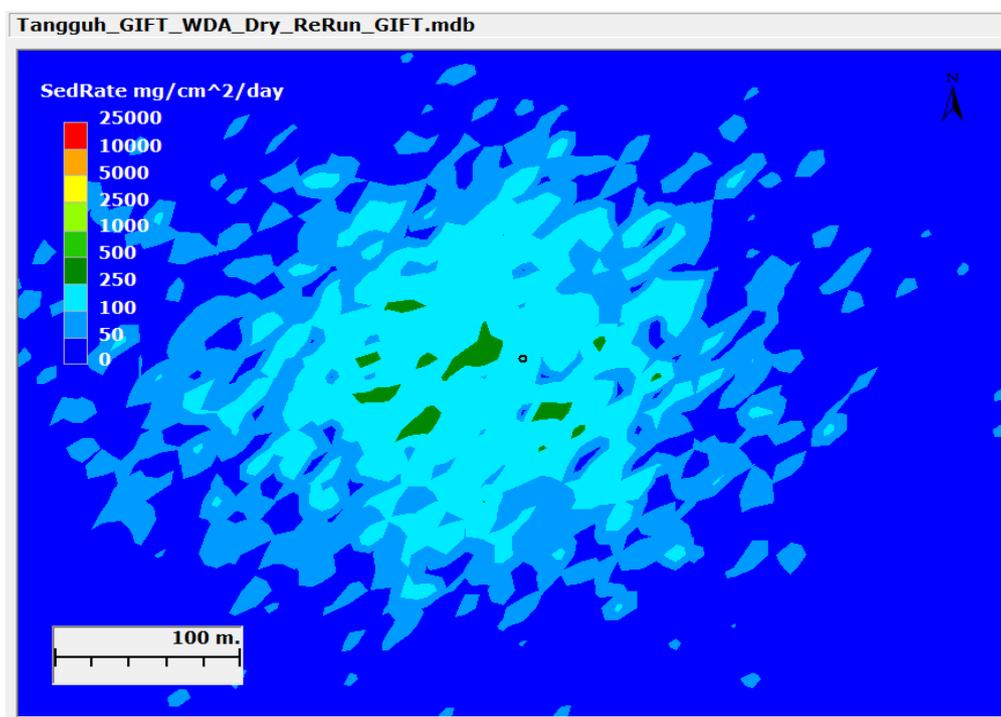
**Gambar 11-15** Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di WDA pada Musim Hujan



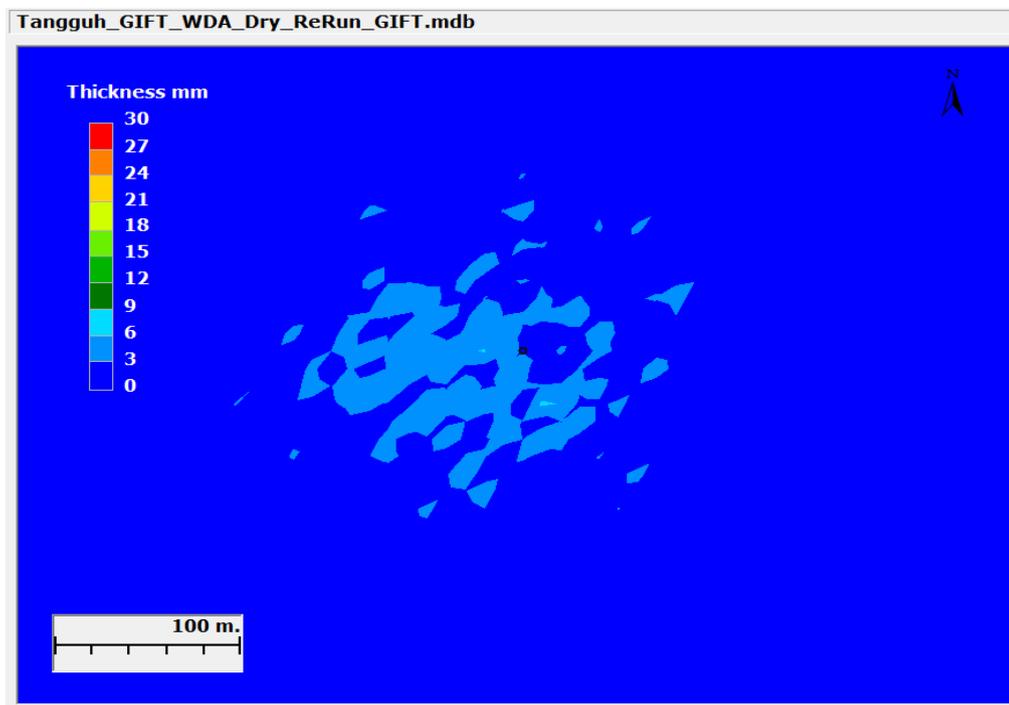
**Gambar 11-16** Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di WDA pada Musim Hujan



Gambar 11-17 Penambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di WDA pada Musim Kemarau



Gambar 11-18 Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di WDA pada Musim Kemarau

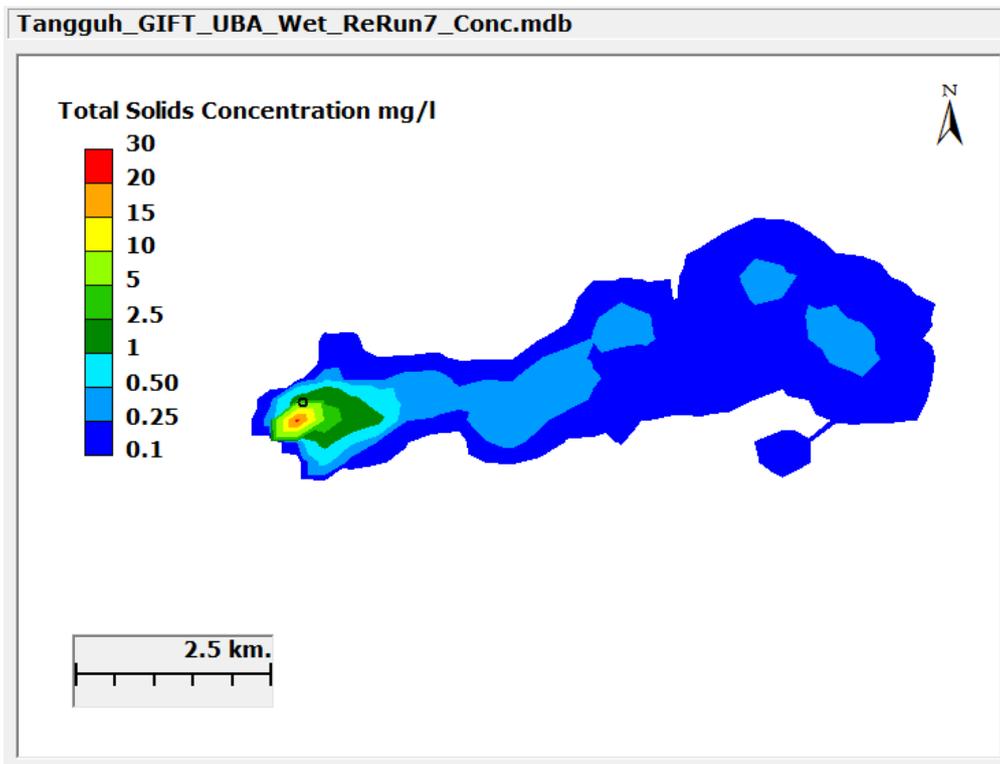


**Gambar 11-19** Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di WDA pada Musim Kemarau

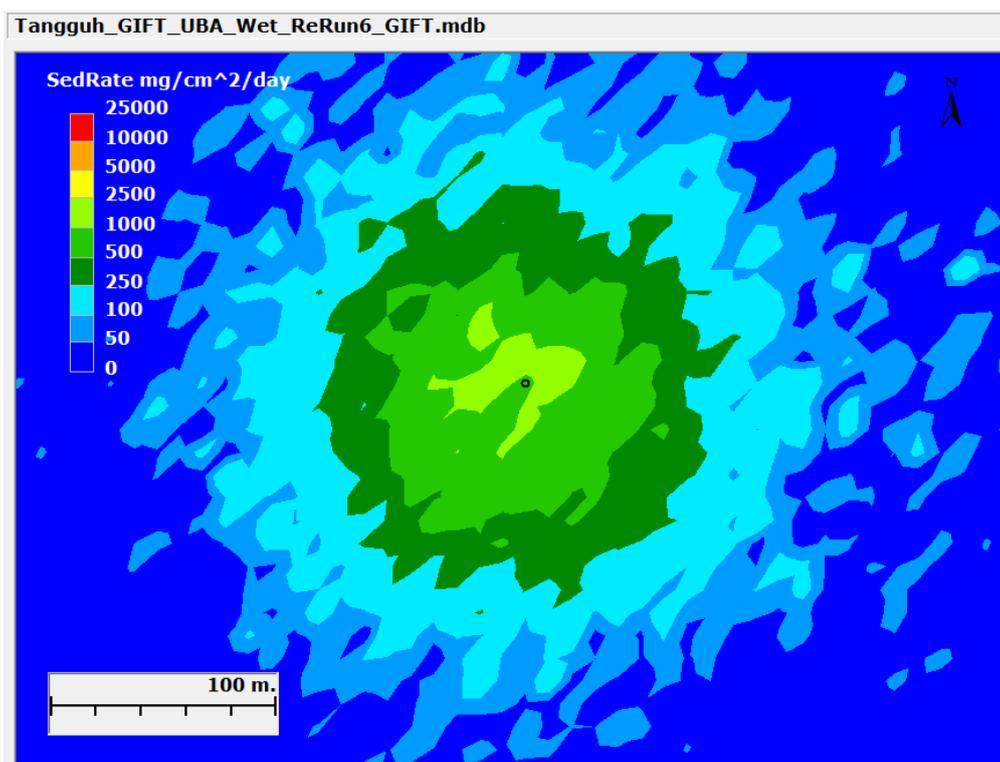
#### 11.3.4 Pengeboran di UBA

Pada Skenario 6W, nilai penambahan maksimum TSS sesaat dihitung mencapai 21,1 mg/L. Gambaran *plume* TSS selama proses operasi pengeboran pada saat tersebut dan lokasi vertikal ketika TSS maksimum terjadi ditunjukkan pada **Gambar 11-20**. *Plume* memanjang dan menghadap ke arah timur laut mengikuti arah arus pasang-surut dominan. Nilai TSS turun drastis di bawah 1 mg/L pada jarak lebih dari 1,0 km dari lokasi pengeboran. Laju sedimentasi maksimum sesaat adalah 1.199 mg/cm<sup>2</sup>-d dan ketebalan sedimen maksimumnya adalah 21,2 mm keduanya terjadi pada lokasi pengeboran. **Gambar 11-21** dan **Gambar 11-22** menunjukkan gambaran laju sedimentasi dan ketebalan sedimentasi pada saat nilai maksimum tercapai. Baik laju sedimentasi serta ketebalan sedimen keduanya turun sampai kurang dari 100 mg/cm<sup>2</sup>-d dan 3,0 mm, masing-masing secara berurutan, dalam radius 150 m dari lokasi pengeboran.

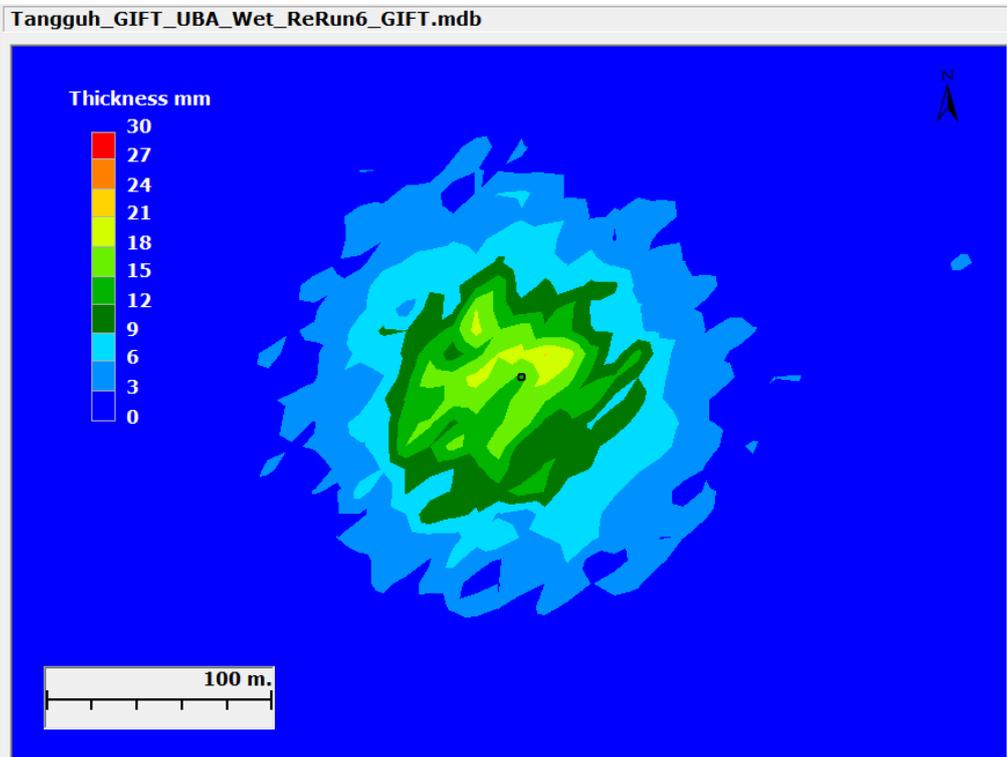
Pada Skenario 6D, penambahan TSS, laju sedimentasi dan ketebalan sedimen tidak berbeda jauh dengan nilai pada musim hujan. Penambahan TSS maksimum diperkirakan 7,0 mg/L dan laju sedimentasi maksimum serta ketebalan sedimen, secara berurutan, diperkirakan mencapai 1.021 mg/cm<sup>2</sup>-d dan 17,2 mm. **Gambar 11-23**, **Gambar 11-24** dan **Gambar 11-25** menunjukkan nilai maksimum penambahan sesaat *plume* TSS, laju sedimentasi dan ketebalan sedimen akibat pengeboran di UBA dalam kondisi musim hujan.



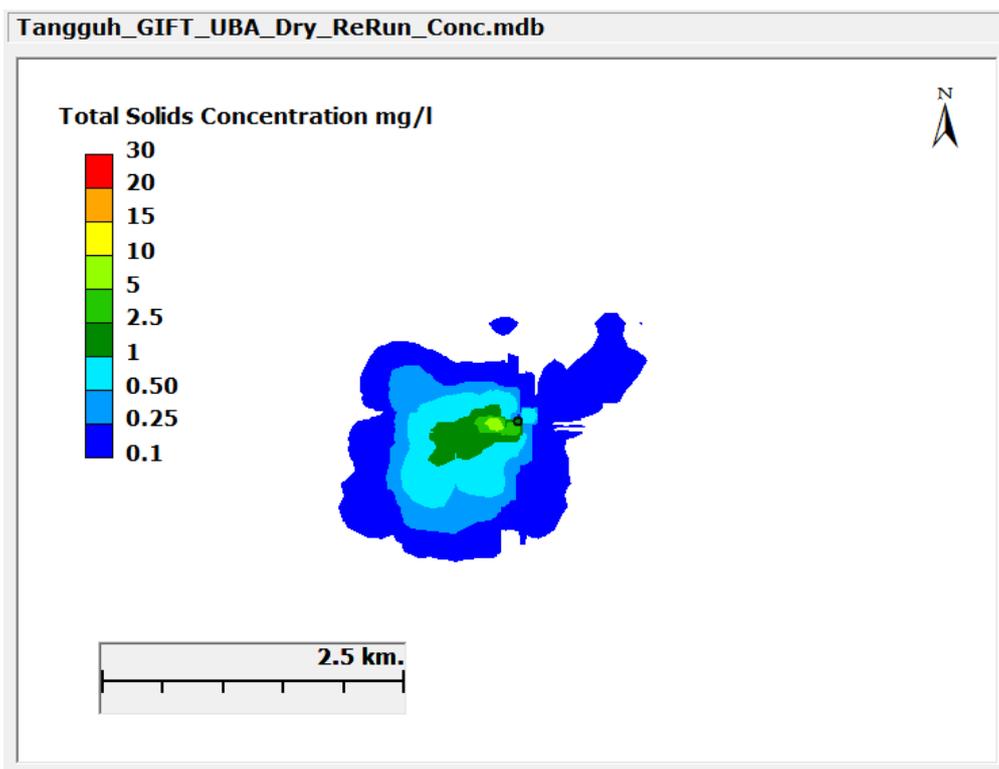
Gambar 11-20 Penambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di UBA pada Musim Hujan



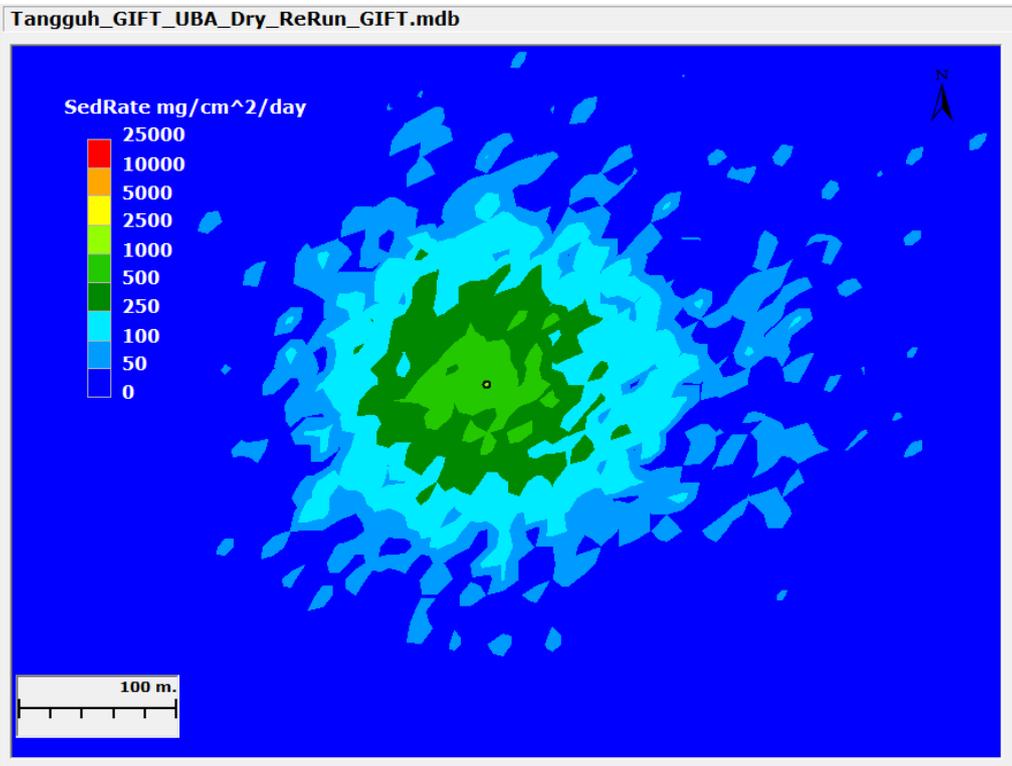
Gambar 11-21 Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di UBA pada Musim Hujan



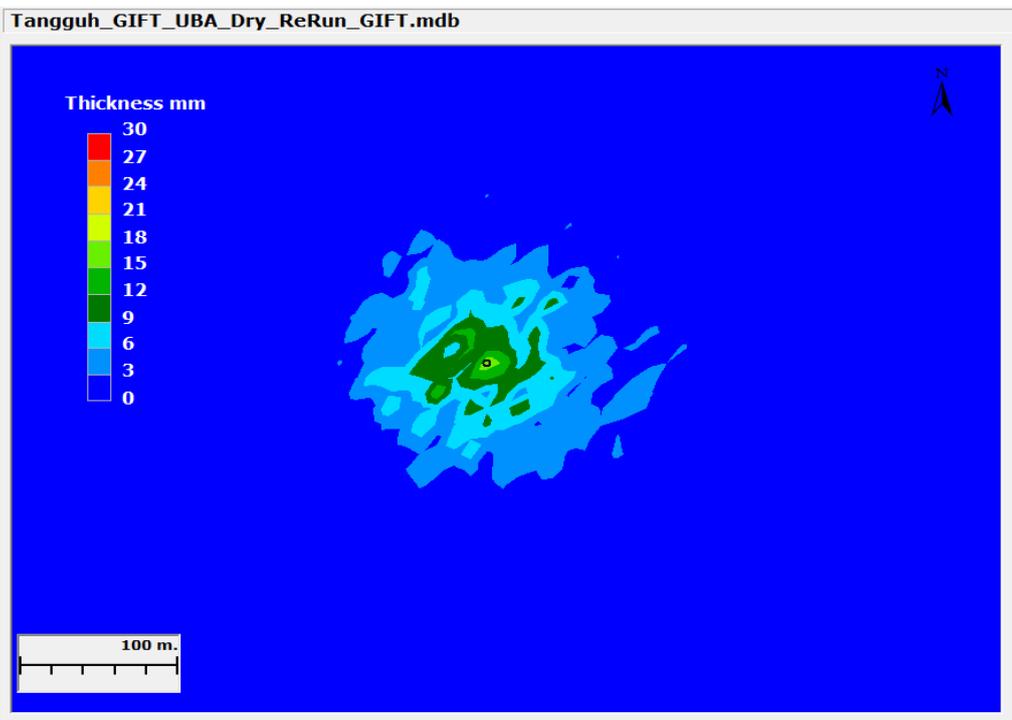
Gambar 11-22 Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di UBA pada Musim Hujan



Gambar 11-23 Penambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di TTB pada Musim Kemarau



Gambar 11-24 Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di UBA pada Musim Kemarau



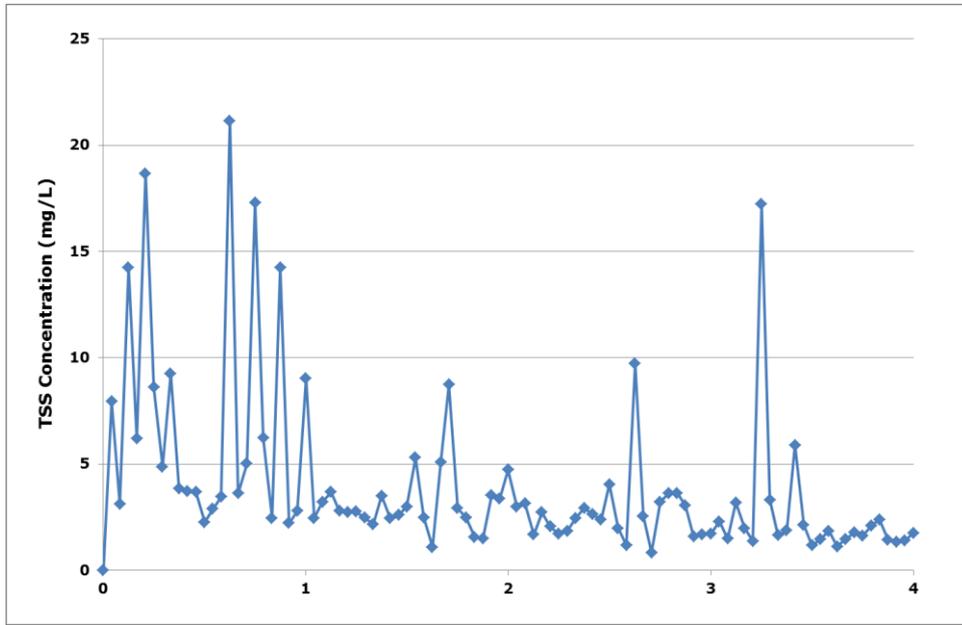
Gambar 11-25 Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di UBA pada Musim Kemarau

## 11.4 KESIMPULAN

Hasil dari pemodelan dan plot yang disajikan pada semua skenario mengindikasikan bahwa pengendapan serbuk dan lumpur bor hanya terjadi di area sekitar lokasi pengeboran, sebagian besar dalam radius 150 m. Hasil ini merupakan nilai maksimum yang diperkirakan selama operasi pengeboran ini. Nilai maksimum ini hanya terjadi dalam periode waktu singkat karena kondisi ambien yang bersifat sementara dan *plume* dengan cepat menyebar atau mengendap ke dasar laut. *Plume* TSS menyebar lebih jauh dari jangkauan perkiraan sedimentasi. Namun, nilai maksimum penambahan TSS atas kualitas ambien air laut diperkirakan hanya sekitar 21,1 mg/L. Cakupan area maksimum yang diperkirakan dari batas baku mutu TSS sebesar 1,0 mg/L adalah pada radius 1,5 km. Nilai rona awal TSS maksimum selama musim kemarau adalah 27 mg/L di mana jika ditambahkan dengan nilai maksimum penambahan TSS akibat pengeboran menghasilkan nilai TSS sebesar 48,1 mg/L, sedikit berada di bawah baku mutu kualitas air laut ambien untuk badan air yang berbatasan dengan mangrove, yaitu sebesar 80 mg/L. Selain itu, nilai maksimum konsentrasi TSS yang diperkirakan adalah bersifat sementara dan nilainya berkurang lebih rendah dengan cepat. **Gambar 11-26** menunjukkan konsentrasi TSS selamat empat hari pertama dari pembuangan menerus (*continuous release*). Hasil-hasil yang diperkirakan ini menunjukkan bahwa operasi pengeboran yang direncanakan tidak mungkin mengakibatkan melebihi baku mutu lingkungan yang berlaku atau menimbulkan dampak penting. **Tabel 11-5** menunjukkan ringkasan TSS yang dihasilkan di atas kualitas air laut ambien, laju sedimentasi, ketebalan sedimen, dan area dari ketebalan endapan melebihi 5 cm.

**Tabel 11-5 Ringkasan Hasil Perkiraan untuk Semua Skenario Operasi Pengeboran**

Skenario	TSS Maksimum di atas Kualitas Ambien Air Laut (mg/L)	Laju Sedimentasi Maksimum (mg/cm <sup>2</sup> -day)	Ketebalan Endapan Maksimum (mm)	Area dengan Ketebalan > 5 cm (m <sup>2</sup> )
3W	3,0	594	10,1	0
3D	3,0	608	11,4	0
4W	2,0	937	15,0	0
4D	7,2	799	14,9	0
5W	6,8	382	7,8	0
5D	5,9	344	6,3	0
6W	21,1	1199	21,2	0
6D	7,0	1021	17,2	0



**Gambar 11-26** Konsentrasi TSS Maksimum selama Pengeboran di UBA pada Musim Hujan

ADDAMS:	<i>Automated Dredging and Disposal Alternatives Modelling System</i>
BOF:	<i>Bulk Offloading Facility</i>
CAD:	<i>Computer Aided Design</i>
CORMIX:	<i>Cornell Mixing Zone Model</i>
FF:	<i>Far Field</i>
GEMSS:	<i>Generalized Environmental Modelling System for Surfacewaters</i>
GIFT:	<i>Generalized Integrated Fate and Transport</i>
HDM:	<i>Hydrodynamic Module</i>
LAT:	<i>Lowest Astronomical Tide</i>
LNG:	<i>Liquefied Natural Gas</i>
NF:	<i>Near Field</i>
OSU:	<i>Oregon State University</i>
OTPS:	<i>OSUTidal Prediction Software</i>
RMSE:	<i>Root Mean Square Error</i>
STFATE:	<i>Short Term Fate</i>
TLNG:	<i>Tanggung LNG Coordinates</i>
TGU:	<i>Turbidity Generation Unit</i>
TSS:	<i>Total Suspended Solids</i>
UDC:	<i>User-Defined Constituent</i>
USACE:	<i>United States Army Corps of Engineers</i>

- Adenekan, A.E., V.S. Kolluru, and J.P. Smith. 2009. Transport and Fate of Chlorination By-Products Associated with Cooling Water Discharges. Proceedings of the 1<sup>st</sup> Annual Gas Processing Symposium pp. 1-13.
- Alberson, S., A. Ahmed, M. Roberts, G. Pelletier, and V. Kolluru. 2009. "Model-Derived Hydrodynamics of Inlets in South Puget Sound." Proceedings of the Eleventh Annual Conference on Estuarine and Coastal Modeling. American Society of Civil Engineers. pp. 128-136, 2009.
- Asian Development Bank, 2005. "Summary Environmental Impact Assessment: Tangguh LNG Project in Indonesia" June 2005.
- Buchak, E. M. and J. E. Edinger. 1984. Generalized, Longitudinal-Vertical Hydrodynamics and Transport: Development, Programming and Applications. Prepared for U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss. Contract No. DACW39-84-M-1636. Prepared by J. E. Edinger Associates, Wayne, PA. Document No. 84-18-R. June.
- Edinger J.E., J. Wu and E.M. Buchak. 1997. Hydrodynamic and Hydrothermal Analyses of the Once-through Cooling Water System at Hudson Generating Station. Prepared for Public Service Electric and Gas (PSE&G). Prepared by J. E. Edinger Associates, Inc., June 1997.
- Edinger, J. E. and E. M. Buchak. 1980. Numerical Hydrodynamics of Estuaries in Estuarine and Wetland Processes with Emphasis on Modeling, (P. Hamilton and K. B. Macdonald, eds.). Plenum Press, New York, New York, pp. 115-146.
- Edinger, J. E. and E. M. Buchak. 1980. Numerical Hydrodynamics of Estuaries in Estuarine and Wetland Processes with Emphasis on Modeling, (P. Hamilton and
- Edinger, J. E. and E. M. Buchak. 1985. Numerical Waterbody Dynamics and Small Computers. Proceedings of ASCE 1985 Hydraulic Division Specialty Conference on Hydraulics and Hydrology in the Small Computer Age. American Society of Civil Engineers, Lake Buena Vista, FL. Aug. 13-16.
- Edinger, J. E. and E. M. Buchak. 1995. Numerical Intermediate and Far Field Dilution Modelling. Journal Water, Air and Soil Pollution 83: 147-160, 1995. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Edinger, J. E., E. M. Buchak, and M. D. McGurk. 1994. Analyzing Larval Distributions Using Hydrodynamic and Transport Modelling. Estuarine and Coastal Modeling III. American Society of Civil Engineers, New York.

- Edinger, J. E., V. S. Kolluru, 1999. "Implementation of Vertical Acceleration and Dispersion Terms in an Otherwise Hydrostatically Approximated Three-Dimensional Model." In Spaulding, M.L, H. L. Butler (eds.). Proceedings of the 6th International Conference on Estuarine and Coastal Modeling. pp. 1019 - 1034.
- El-Dessouky, H. T. and H. M. Ettouney, 2002. Fundamentals of Salt Water Desalination, Technology & Engineering.
- Ellis D., C. Heim, 1985. Submersible surveys of benthos near a turbidity cloud. Marine Pollution Bulletin, 16(5), 197-203.
- Febbo E., V. Kolluru, S. Prakash, A. Adenekan. 2012. "Numerical Modeling of Thermal *Plume* and Residual Chlorine Fate in Coastal Waters of the Arabian Gulf". SPE-156813-PP. Presented at the SPE/APPEA International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Perth, Western Australia. 11-13 September 2012.
- Fichera, M.J., V.S. Kolluru, C. Buahin, C. Daviau, and C.A. Reid. 2013. "Comprehensive Modeling Approach for EIA Studies in the Oil and Gas Industry." IAIA 2013.
- Hawker D.W. & D.W. Connell. 1992. Standards and Criteria for Pollution Control in Coral Reef Areas. Chapter 7 of Pollution in Tropical Aquatic Systems. Connell DW & Hawler DW ed. CRC Press.
- Hayes, D.F. and C.H. Je. 2000. DREDGE Module User's Guide. Department of Civil and Environmental Engineering. University of Utah. July 2000.
- HGL and Aqua Terra. 1999. Selection of Water Quality Components for Eutrophication-Related Total Maximum Daily Load Assessments. Task 4: Documentation of Review and Evaluation of Eutrophication Models and Components EPA Contract Number 68-C6-0020 Work Assignment No. 2-04. Prepared by HydroGeoLogic, Inc. Herndon, VA 20170 and AQUA TERRA Consultants, Mountain View, CA. June.
- ITB and BP, 2012. "Drilling Cutting and Mud Dispersion Simulation". January 2012.
- Johnson, B. H., D.N. McComas, D.C. McVan and M.J. Trawle. 1994. Development and verification of numerical models for predicting the initial fate of dredged material disposed in open water. Report 1, Physical model tests of dredged material disposal from a split-hull barge and a multiple bin vessel. Draft Technical Report, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Koh, R.C.Y. and Y.C. Chang. 1973. Mathematical model for barged ocean disposal of waste. Environmental Protection Technology Series EPA 660/2-73-029, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

- Kolluru, V. S., E. M. Buchak and J. E. Edinger, 1998. "Integrated Model to Simulate the Transport and Fate of Mine Tailings in Deep Waters," in the Proceedings of the Tailings and Mine Waste '98 Conference, Fort Collins, Colorado, USA, January 26-29.
- Kolluru, V. S., E. M. Buchak, J. Wu, 1999. "Use of Membrane Boundaries to Simulate Fixed and Floating Structures in GLLVHT." In Spaulding, M.L, H.L. Butler (eds.). Proceedings of the 6th International Conference on Estuarine and Coastal Modeling. pp. 485 - 500.
- Kolluru, V. S., J. E. Edinger, E. M. Buchak and P. Brinkmann 2003. "Hydrodynamic Modeling of Coastal LNG Cooling Water Discharge." Journal of Energy Engineering. Vol. 129, No. 1, April 1, 2003. pp 16 - 31.
- Kolluru, V.S. and Mike Fichera, 2003. "Development and Application of Combined 1-D and 3-D Modeling System for TMDL Studies." Proceedings of the Eighth International Conference on Estuarine and Coastal Modeling. American Society of Civil Engineers. pp. 108-127, 2003.
- Kolluru, V.S. and S. Prakash. 2012. "Source Water Protection: Protecting our drinking waters". India Water Week 2012. April 10-14. New Delhi, India.
- Kolluru, V.S., E. Buchak, J.E. Edinger, and P.E. Brinkmann. 2005. "Three-Dimensional Thermal Modeling of the RasGas Cooling Water Outfall." 2005.
- Kolluru, V.S., M. J. Fichera, and S. Prakash. 2006. SETAC.
- Kolluru, V.S., S. Prakash and E. Febbo. 2012. "Modeling the Fate and Transport of Residual Chlorine and Chlorine By-Products (CBP) in Coastal Waters of the Arabian Gulf". The Sixth International Conference on Environmental Science and Technology 2012. June 25-29. Houston, Texas, USA.
- Kolluru, V.S., S. R. Chitikela and M. J. Fichera. 2009. "Watershed Water Quality Attainment Using TMDL - A Delaware USA Review." International Conference "Water, Environment, Energy and Society" (WEES-2009), New Delhi. 12-16 January.
- Kruk, M., M. Kempa, T. Tjomsland, D. Durand. 2011. "Vistula Water Quality Modeling." pp. 165-180.
- Mapstone B.D., J. H. Choat, R. L. Cumming and W. G. Oxley. 1989. The fringing reefs of Magnetic Island: benthic biota and sedimentation - a baseline study. A report to the Great Barrier Reef Marine Park Authority.
- Marine Life Information Network (MarLIN). 2011. Benchmarks for the Assessment of Sensitivity and Recoverability. The Marine Biological Association of the UK, Citadel Hill, Plymouth, Devon, U.K. URL: <http://www.marlin.ac.uk/sensitivitybenchmarks.php> (Accessed April 2011).
- Meteorological Data Collection Program, 2000

- Palermo, M. R., P. R. Schroeder, T. J. Estes, N. R. Francingues, 2008. "Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments". ADA488763.
- Pastorok, R.A. and G.R. Bilyard. 1985. Effects of sewage pollution on coral-reef communities. Marine Ecology Progress Series 21: 175-189.
- Pertamina, 2002. "Tanggung LNG, ANDAL: Integrated ANDAL Activities Gas Exploitation, Gas Transmission, LNG Plant, Sea Port, Airfield, and Resettlement, Tangguh LNG Project, Manokwari, Sorong, and Fak-Fak Regencies, Papua Province ". October 2002.
- Prakash, S. and V.S. Kolluru. 2006. "Implementation of higher order transport schemes with explicit and implicit formulations in a 3-D hydrodynamic and transport model." Published in the 7<sup>th</sup> International Conference on Hydrosience and Engineering (ICHE 2006), Sep 10 - Sep 13, Philadelphia, USA
- Prakash, S., J.A. Vandenberg and E. Buchak. 2011. "*The Oil Sands Pit Lake Model - Sediment Diagenesis Module*." MODSIM 2011. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 12-16, 2011. Perth, Australia.
- Prakash, S., J.A. Vandenberg and E. Buchak. 2012. "*CEMA Oil Sands Pit Lake Model*". CONRAD 2012 Water Conference. April 20-22. Edmonton, Alberta.
- Prakash, S., V. S. Kolluru, and P. Tutton. 2012. "*Semi-Lagrangian Approach to Studying Grassing Issue on a Nuclear Power Plant Cooling Water Intake*." Proceedings of the 10th Intl. Conf.onHydrosience& Engineering, Nov. 4-7, 2012, Orlando, Florida, U.S.A.
- PT Calmarine, 2000. "Meteorological Data Collection Program (0N-4) Report (Part-1) Tanah Merah". 900-SDY-151. 12 April 2000.
- Schroeder, P.R. and M.R. Palermo. 1990. Automated dredging and disposal alternatives management system, User's Guide. Technical Note EEDP-06- 12, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Environmental Laboratory, Hydraulics Laboratory. 1986. CE-QUAL-W2: A Numerical Two-Dimensional, Laterally Averaged Model of Hydrodynamics and Water Quality; User's Manual. Instruction Report E-86-5. Prepared for Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.Final Report.August.
- Vandenberg, J.A., S. Prakash, N. Lauzon andK. Salzsauler.2011. "*Use of water quality models for design and evaluation of pit lakes*."Australian Center for Geomechanics. Mine Pit Lakes: Closure and Management. Page 63-81.
- Water Environment Federation. 2001. Water Quality Models: A Survey and Assessment. Order No.: D13209WW (Electronic Media).



## Lampiran IV.3

# **Permodelan Dispersi Pencemar Udara dari Kegiatan Operasional Tangguh LNG**

**Laporan**  
**Pemodelan Dispersi Pencemar Udara**  
**dari Kegiatan Operasional**  
**Proyek Pengembangan Tangguh LNG**

---

# Daftar Isi

---

1	Pendahuluan .....	1
1.1	Latar Belakang dan Tujuan Pemodelan .....	1
1.2	Deskripsi Kegiatan .....	1
1.3	Acuan Peraturan.....	3
2	Metodologi .....	4
2.1	ISC-AERMOD View.....	4
2.1.1	<i>AERMOD Meteorological Processor (AERMET)</i> .....	5
2.1.2	<i>AERMOD Terrain Preprocessor (AERMAP)</i> .....	6
2.1.3	<i>AERMIC Dispersion Model (AERMOD)</i> .....	7
	Prediksi Konsentrasi pada CBL .....	8
	Prediksi Konsentrasi pada SBL .....	11
2.2	WRPLOT View .....	11
2.3	MM5 Modeling .....	12
2.4	Prosedur Pengerjaan .....	14
3	Parameter Input dan Data Pendukung .....	15
4	Prakiraan Dispersi Gas dan Partikulat dari Operasional Tangguh LNG.....	23
5	Kesimpulan .....	39
	References.....	40

# Daftar Gambar

---

Gambar 1.1	Lokasi Sumber Emisi pada Tahap Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG .....	2
Gambar 2.1	Aliran Data dalam Sistem Pemodelan Menggunakan AERMOD.....	4
Gambar 2.2	Tahapan Proses dalam AERMET .....	5
Gambar 2.3	Alur Estimasi Parameter PBL dalam AERMET.....	6
Gambar 2.4	Dua Kondisi Pendekatan dalam Menghitung Konsentrasi dalam AERMOD .....	8
Gambar 2.5	Gambaran Plume pada kondisi CBL .....	9
Gambar 2.6	Pendekatan Perlakuan Tiga Jenis <i>Plume</i> di dalam AERMOD pada Kondisi CBL.....	10
Gambar 2.7	WRPLOT View Windows .....	12
Gambar 2.8	Contoh Domain MM5 dengan Stasiun Meteorologi.....	13
Gambar 3.1	Lokasi Sumber Emisi dan .....	15
Gambar 3.2	Peta Topografi untuk Area Pemodelan Dispersi Gas dan Partikulat dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG .....	16
Gambar 3.3	Diagram <i>Windrose</i> untuk Area Tangguh LNG .....	20
Gambar 3.4	Distribusi Kecepatan Angin .....	21
Gambar 4.1	Prakiraan Sebaran Konsentrasi NO <sub>2</sub> Rata-rata 1 jam (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG dengan Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Elevated Terrain</i> ) .....	27
Gambar 4.2	Prakiraan Sebaran Konsentrasi NO <sub>2</sub> Rata-rata 1 jam (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG tanpa Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Flat Terrain</i> ) .....	27
Gambar 4.3	Prakiraan Sebaran Konsentrasi NO <sub>2</sub> Rata-rata 24 jam (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG dengan Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Elevated Terrain</i> ) .....	28
Gambar 4.4	Prakiraan Sebaran Konsentrasi NO <sub>2</sub> Rata-rata 24 jam (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG tanpa Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Flat Terrain</i> ) .....	28
Gambar 4.5	Prakiraan Sebaran Konsentrasi NO <sub>2</sub> Rata-rata Tahunan (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG dengan Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Elevated Terrain</i> ) .....	29

Gambar 4.6	Prakiraan Sebaran Konsentrasi NO <sub>2</sub> Rata-rata Tahunan (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG tanpa Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Flat Terrain</i> ) .....	29
Gambar 4.7	Prakiraan Sebaran Konsentrasi SO <sub>2</sub> Rata-rata 1 jam (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG dengan Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Elevated Terrain</i> ) .....	30
Gambar 4.8	Prakiraan Sebaran Konsentrasi SO <sub>2</sub> Rata-rata 1 jam (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG tanpa Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Flat Terrain</i> ) .....	30
Gambar 4.9	Prakiraan Sebaran Konsentrasi SO <sub>2</sub> Rata-rata 24 jam (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG dengan Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Elevated Terrain</i> ) .....	31
Gambar 4.10	Prakiraan Sebaran Konsentrasi SO <sub>2</sub> Rata-rata 24 jam (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG tanpa Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Flat Terrain</i> ) .....	31
Gambar 4.11	Prakiraan Sebaran Konsentrasi SO <sub>2</sub> Rata-rata Tahunan (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG dengan Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Elevated Terrain</i> ) .....	32
Gambar 4.12	Prakiraan Sebaran Konsentrasi SO <sub>2</sub> Rata-rata Tahunan (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Kilang Tangguh LNG tanpa Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Flat Terrain</i> ) .....	32
Gambar 4.13	Prakiraan Sebaran Konsentrasi CO Rata-rata 1 jam (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG dengan Memperhitungkan Topografi ( <i>Elevated Terrain</i> ) .....	33
Gambar 4.14	Prakiraan Sebaran Konsentrasi CO Rata-rata 1 jam (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG tanpa Memperhitungkan Topografi ( <i>Flat Terrain</i> ) .....	33
Gambar 4.15	Prakiraan Sebaran Konsentrasi CO Rata-rata 24 jam (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG dengan Memperhitungkan Topografi ( <i>Elevated Terrain</i> ) .....	34
Gambar 4.16	Prakiraan Sebaran Konsentrasi CO Rata-rata 24 jam (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG tanpa Memperhitungkan Topografi ( <i>Flat Terrain</i> ) .....	34
Gambar 4.17	Prakiraan Sebaran Konsentrasi CO Rata-rata Tahunan (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG dengan Memperhitungkan Topografi ( <i>Elevated Terrain</i> ) .....	35
Gambar 4.18	Prakiraan Sebaran Konsentrasi CO Rata-rata Tahunan (µg/m <sup>3</sup> ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG tanpa Memperhitungkan Topografi ( <i>Flat Terrain</i> ) .....	35

Gambar 4.19	Prakiraan Sebaran Konsentrasi Partikulat Rata-rata 1 Jam ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG dengan Memperhitungkan Topografi ( <i>Elevated Terrain</i> ) .....	36
Gambar 4.20	Prakiraan Sebaran Konsentrasi Partikulat Rata-rata 1 Jam ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG tanpa Memperhitungkan Topografi ( <i>Flat Terrain</i> ) .....	36
Gambar 4.21	Prakiraan Sebaran Konsentrasi Partikulat Rata-rata 24 Jam ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG dengan Memperhitungkan Topografi ( <i>Elevated Terrain</i> ) .....	37
Gambar 4.22	Prakiraan Sebaran Konsentrasi Partikulat Rata-rata 24 Jam ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG tanpa Memperhitungkan Topografi ( <i>Flat Terrain</i> ) .....	37
Gambar 4.23	Prakiraan Sebaran Konsentrasi Partikulat Tahunan ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG dengan Memperhitungkan Topografi ( <i>Elevated Terrain</i> ) .....	38
Gambar 4.24	Prakiraan Sebaran Konsentrasi Partikulat Tahunan ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG tanpa Memperhitungkan Topografi ( <i>Flat Terrain</i> ) .....	38

# Daftar Tabel

---

Tabel 1.1	Baku Mutu Emisi dan Hasil Pengukuran Manual pada Sumber Emisi Fasilitas yang Ada Saat Ini (Kilang LNG 1 dan 2) .....	3
Tabel 1.2	Standar Kualitas Ambien Indonesia, Acuan WHO, dan Batas Ambien yang direkomendasi untuk Proyek Tangguh LNG .....	3
Tabel 3.1	Karakteristik Fisik dan Kimia Sumber Emisi dari Kilang LNG 1 dan 2 .....	17
Tabel 3.2	Karakteristik Fisik dan Kimia Sumber Emisi dari Kilang LNG 3 dan 4 .....	18
Tabel 3.3	Informasi Data Meteorologi dari <i>Lakes Environmental Met Data Service</i> .....	19
Tabel 3.4	Lokasi Pengambilan Sampel untuk Memperoleh Data <i>Background Concentration</i> di Lokasi sekitar Tangguh LNG .....	21
Tabel 3.5	Data <i>Background Concentration</i> di Lokasi sekitar Tangguh LNG .....	22
Tabel 4.1	Konsentrasi Maksimum NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, dan Partikulat Hasil Prediksi Model Dispersi pada Tahap Operasional Kilang LNG 1, 2, 3, dan 4 dengan Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Elevated Terrain</i> ) .....	25
Tabel 4.2	Konsentrasi Maksimum NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, dan Partikulat Hasil Prediksi Model Dispersi pada Tahap Operasional Kilang LNG 1, 2, 3, dan 4 tanpa Memperhitungkan Pengaruh Topografi ( <i>Flat Terrain</i> ) .....	25
Tabel 4.3	Prediksi Total Konsentrasi di Udara Ambien .....	26

# 1 Pendahuluan

## 1.1 Latar Belakang dan Tujuan Pemodelan

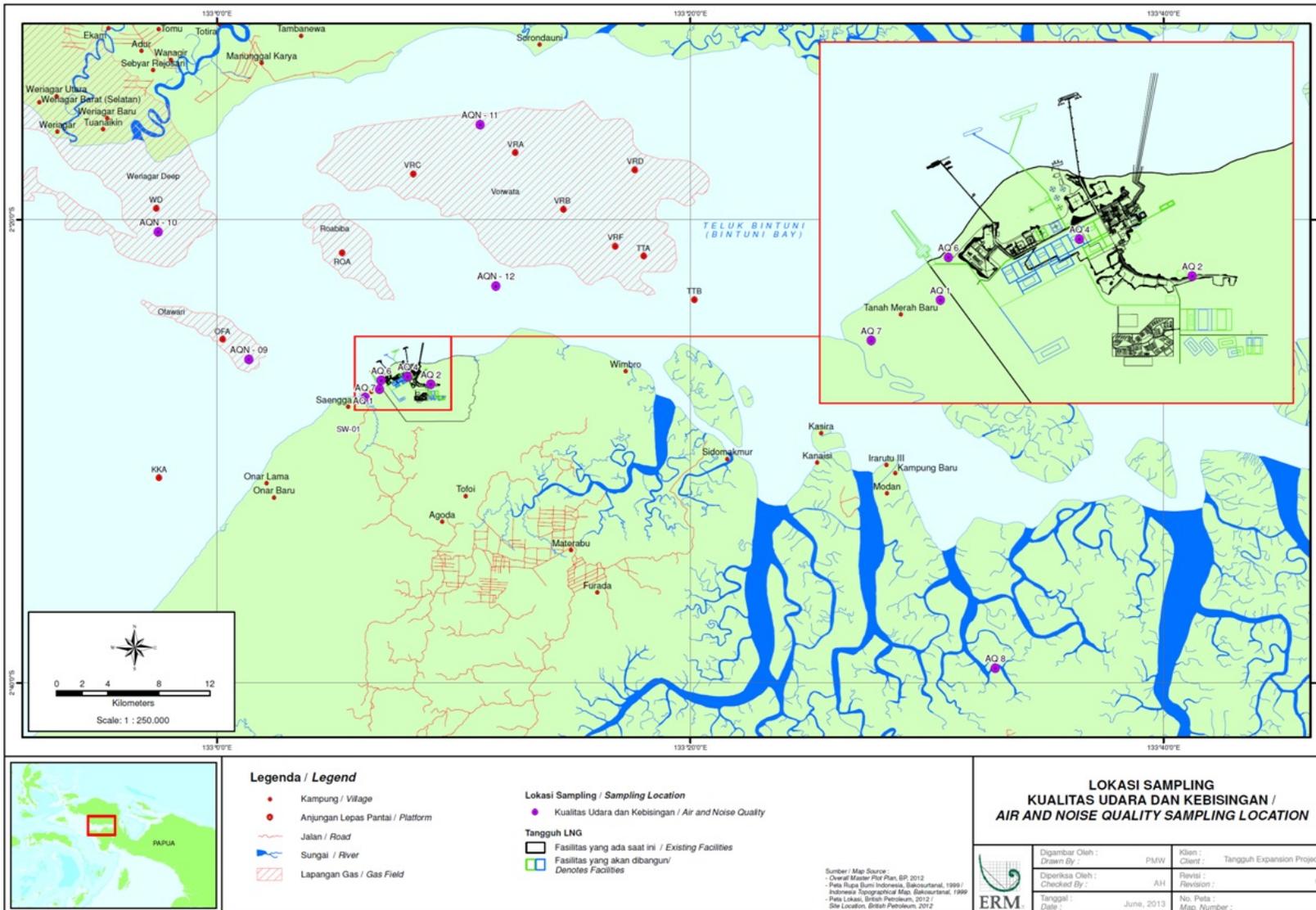
Tangguh LNG berencana untuk mengembangkan operasinya dengan membangun Kilang LNG 3 serta rencana pengembangan tahap selanjutnya di antaranya berupa pembangunan Kilang LNG 4 serta fasilitas pendukung lainnya. Kegiatan ini termasuk pembangunan unit-unit baru yang terkait pengolahan gas seperti insinerator gas kecut (*acid gas incinerator*), *regeneration gas fired heater*, boiler, turbin (*heat recovery steam generator*), dan suar bakar (*flare*).

Pada tahap operasi, unit-unit baru tersebut akan menjadi sumber titik emisi pencemar udara tambahan selain sumber-sumber titik yang sudah ada sebelumnya yang terkait dengan kegiatan operasional kilang LNG 1 dan kilang LNG 2. Karena emisi pencemar udara akan berlangsung terus-menerus selama masa operasi Tangguh LNG, maka perlu dilakukan pemodelan dispersi pencemar udara dengan tujuan untuk memprediksikan konsentrasi pencemar udara ambien ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , CO dan partikulat) yang diakibatkan oleh emisi sumber-sumber titik pada saat berlangsungnya operasional kilang LNG 1, 2, 3, dan 4.

## 1.2 Deskripsi Kegiatan

Pada tahap operasi kilang LNG 1, 2, 3, dan 4, akan terdapat 28 sumber titik yang mengemisikan gas dan partikulat ke udara ambien. Lokasi ke 28 sumber tadi diperlihatkan pada **Gambar 1.1**, yang terdiri dari :

- 14 sumber titik yang berasal dari pengoperasian kilang 1 dan kilang 2:
  - Dua unit *acid gas incinerator* (AGI)
  - Dua unit *regeneration gas-fired heater* (RGH)
  - Empat unit *heat Recovery Steam Generator* (HRSG)
  - Tiga unit boiler
  - Satu unit *dry gas flare*, satu unit *wet gas flare*, dan satu unit *tankage flare*
- 14 sumber titik lainnya yang berasal dari kilang 3 dan kilang 4:
  - Dua unit *acid gas incinerator* (AGI)
  - Dua unit *regeneration gas-fired heater* (RGH)
  - Empat unit *heat Recovery Steam Generator* (HRSG)
  - Tiga unit boiler
  - Satu unit *dry gas flare*, satu unit *wet gas flare*, dan satu unit *tankage flare*



Gambar 1.1 Lokasi Sumber Emisi pada Tahap Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG

### 1.3 Acuan Peraturan

Acuan baku mutu emisi dan ambien yang terkait dengan operasional Tangguh LNG pada tahap operasional diperlihatkan pada **Tabel 1.1** dan **Tabel 1.2**.

**Tabel 1.1** Baku Mutu Emisi dan Hasil Pengukuran Manual pada Sumber Emisi Fasilitas yang Ada Saat Ini (Kilang LNG 1 dan 2)

Sumber Emisi	Baku Mutu (mg/Nm <sup>3</sup> )					Hasil Pengukuran Manual(mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>				
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	Parti- kulat	Opa- sitas	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	Parti- kulat	Opa- sitas
<i>Acid Gas Incinerator</i>	1000	320	ta	ta	ta	<1	<1	2860	-	
<i>Heat Recovery Steam Generator</i>	150 <sup>2</sup>	320 <sup>2</sup>	50 <sup>2</sup>	ta	ta	6	82	-	0,2	
<i>Boiler</i>	150 <sup>3</sup>	400 <sup>3</sup>	50 <sup>3</sup>	ta	20	<1	24,5	<1	9	<5
<i>Regeneration Gas- Fired Heater</i>	150 <sup>3</sup>	400 <sup>3</sup>	50 <sup>3</sup>	ta	20	87,9	31,5	<1	92	<5
<i>Flare</i>	ta	ta	ta	ta	40 <sup>4</sup>					31

Catatan:

- ta = tidak ada
- <sup>1</sup> Hasil pengukuran tertinggi yang pernah terukur dengan pengukuran secara manual
- <sup>2</sup> Lampiran 1b, Peraturan Menteri Negara Lingkungan Nomor 13 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Minyak dan Gas Bumi, dengan volume gas diukur dalam keadaan standar (25°C dan tekanan 1 atmosfer) dan semua parameter dikoreksi dengan O<sub>2</sub> sebesar 15% dalam keadaan kering.
- <sup>3</sup> Lampiran 1c, Peraturan Menteri Negara Lingkungan Nomor 13 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Minyak dan Gas Bumi, dengan
  - o Volume gas diukur dalam keadaan standar (25°C dan tekanan 1 atmosfer).
  - o Semua parameter dikoreksi dengan O<sub>2</sub> sebesar 5% untuk bahan bakar minyak dalam keadaan kering kecuali opasitas.
  - o Semua parameter dikoreksi dengan O<sub>2</sub> sebesar 3% untuk bahan bakar gas dalam keadaan kering kecuali opasitas.
- <sup>4</sup> Lampiran 1d, Peraturan Menteri Negara Lingkungan Nomor 13 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Minyak dan Gas Bumi

**Tabel 1.2.** Standar Kualitas Ambien Indonesia, Acuan WHO, dan Batas Ambien yang direkomendasi untuk Proyek Tangguh LNG

Polutan	Waktu Rerata	Indonesia <sup>1</sup> (µg/Nm <sup>3</sup> )	WHO <sup>2</sup> (µg/Nm <sup>3</sup> )	Tangguh (µg/Nm <sup>3</sup> )
CO	1 jam	30.000	-- <sup>3</sup>	30.000
	24 jam	10.000	--	10.000
NO <sub>2</sub>	1 jam	400	190-320	320
	24 jam	150	--	150
	Tahun	100	--	100
SO <sub>2</sub>	1 jam	900	--	900
	24 jam	365	100-150	150
	Tahun	60	40-60	60
PM <sub>10</sub>	24 jam	150	--	150
PM <sub>2,5</sub>	24 jam	65	--	65
	Tahun	15	--	15
TSP	24 jam	230	150-230	230
	Tahun	90	80-90	90

Catatan:

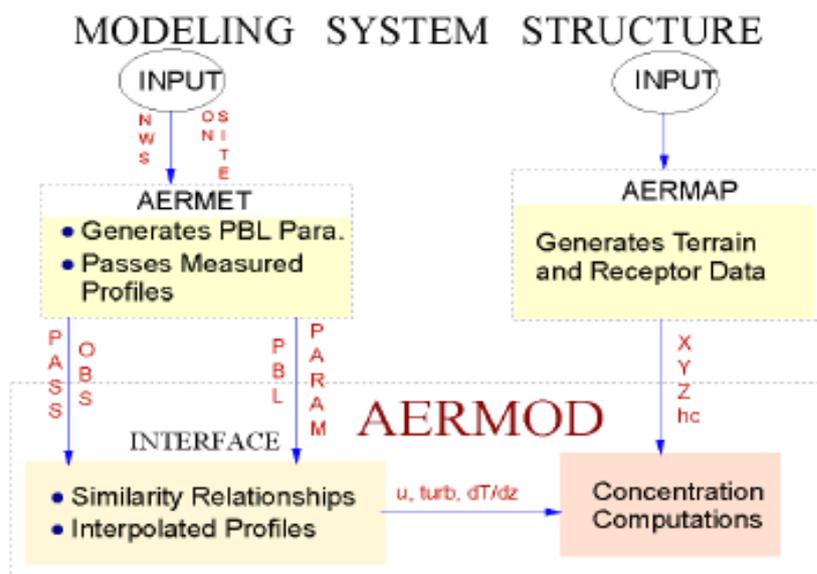
1. Acuan: Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara
2. Acuan: *Pollution Prevention and Abatement Handbook*, 1998.

## 2 Metodologi

Untuk mendapatkan hasil modeling yang dapat diandalkan, studi dispersi pencemar udara ini menggunakan *software* yang sudah banyak digunakan secara nasional maupun internasional, yang dapat memperkirakan konsentrasi pencemar di udara ambien bersumber dari sumber titik yang banyak (*multiple sources*), menggunakan data meteorologi selama sepuluh tahun dengan pencatatan data parameter meteorologi per jam serta mempertimbangkan pengaruh dari topografi di sekitar lokasi Tangguh LNG.

### 2.1 ISC-AERMOD View

*Software* ISC-AERMOD View, adalah *software* yang dikeluarkan oleh US EPA yang merupakan pengembangan dari *software* yang telah ada sebelumnya seperti ISCST3, ISC-PRIME and AERMOD. *Software* ini sudah banyak digunakan untuk menghitung konsentrasi pencemar udara dari berbagai sumber emisi. AERMOD merupakan *software* yang menggabungkan tiga macam program yang berbeda yaitu AERMET (*AERMOD Meteorological Preprocessor*) untuk mengolah data meteorologi, AERMAP (*AERMOD Terrain Preprocessor*) untuk mengolah data topografi, and AERMOD (*AERMIC Dispersion Model*) untuk mengestimasi konsentrasi pencemar di udara ambien. **Gambar 2.1** memperlihatkan struktur sistem pemodelan di dalam AERMOD yang terdiri dari satu program utama (AERMOD) dan dua program pendukung (AERMET and AERMAP).



**Gambar 2.1** Aliran Data dalam Sistem Pemodelan Menggunakan AERMOD

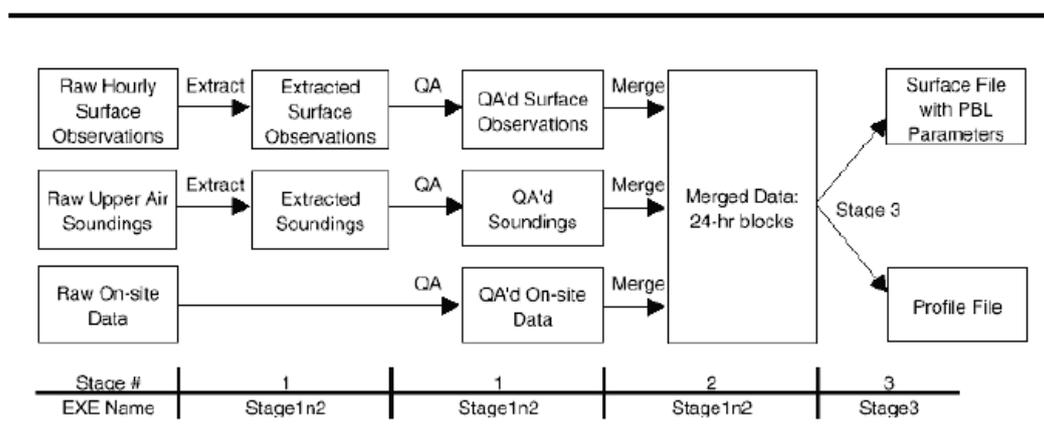
### 2.1.1 AERMOD Meteorological Processor (AERMET)

Salah satu pengembangan AERMOD dalam modeling dispersi terapan adalah kemampuannya untuk mengkarakterisasi parameter meteorologi pada *Planetary Boundary Layer (PBL)*<sup>1</sup> berdasarkan data di atas permukaan tanah dan pada skala vertikal. AERMOD membangun profil vertikal yang membutuhkan beberapa variabel berdasarkan pengukuran dan ekstrapolasi. Profil vertikal dari kecepatan angin, arah angin, turbulensi, dan perubahan temperatur dapat diperkirakan menggunakan data observasi parameter meteorologi di atas permukaan bumi.

Program AERMET adalah prosessor data meteorologi yang menyiapkan data parameter meteorologi per jam untuk data di atas permukaan tanah (*hourly surface data*) dan data pada skala vertical (*hourly upper air data*) yang akan menjadi input data meteorologi pada program AERMOD. AERMET didisain dengan percepatan pengembangan untuk mengolah berbagai jenis data yang berbeda untuk menghitung parameter pada PBL melalui algoritma perhitungan tertentu. AERMET memproses data meteorologi dalam tiga tahap yang menghasilkan dua file sebagai berikut:

1. Data parameter meteorologi di atas permukaan tanah (file dengan *extention \*.SFC*)
2. Data profil vertikal dari kecepatan angin, arah angin, temperatur dan standar deviasi dari komponen angin yang berfluktuasi (file dengan *extention \*.PFL*)

Aliran pemrosesan data di dalam AERMET diperlihatkan pada gambar berikut ini :



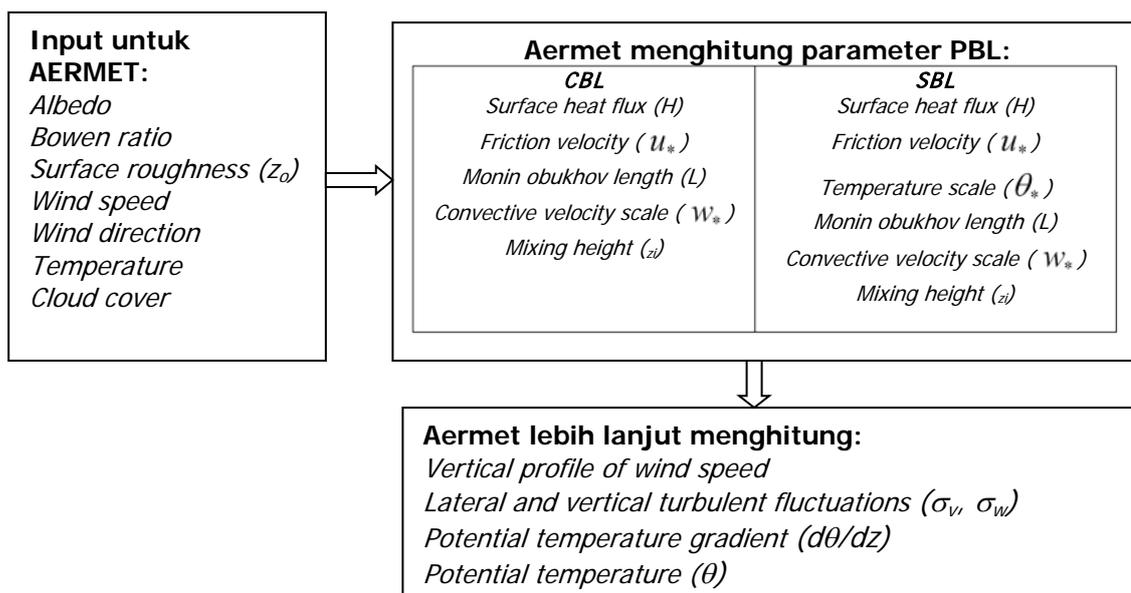
**Gambar 2.2** Tahapan Proses dalam AERMET  
(sumber: *U.S. EPA User's Guide for AERMET*)

Karakteristik permukaan dalam bentuk albedo<sup>2</sup>, kekasaran permukaan (*surface roughness*) dan Bowen ratio<sup>3</sup>, dan observasi data meteorologi standar (kecepatan angin, arah angin,

<sup>1</sup> *Planetary Boundary Layer (PBL)* atau *atmospheric Boundary Layer*: adalah lapisan terbawah dari atmosfer yang kontak dengan permukaan bumi

<sup>2</sup> Albedo: adalah kejadian direfleksikannya sinar matahari

temperatur, dan tutupan awan) merupakan input untuk AERMET. AERMET akan menghitung parameter seperti kecepatan friksi (*friction velocity* -  $u_*$ ), panjang Monin-Obukhov ( $L$ ), skala kecepatan konvektif ( $w_*$ ), skala temperatur ( $\theta_*$ ), tinggi pencampuran ( $z_i$ ), dan fluks panas permukaan (*surface heat flux* -  $H$ ). Parameter ini kemudian diantarkan ke *interface* (di dalam AERMOD) untuk menghitung profil vertikal kecepatan angin ( $u$ ), fluktuasi turbulensi lateral dan vertikal ( $\sigma_v$ ,  $\sigma_w$ ), gradien potensial temperatur ( $d\theta/dz$ ), dan potensial temperatur ( $\theta$ ). AERMET mendefinisikan stabilitas dalam PBL menggunakan  $H$  (konvektif untuk  $H > 0$  dan stabil untuk  $H < 0$ ). Alur estimasi parameter PBL dalam AERMOD diperlihatkan pada **Gambar 2.3** berikut ini:



**Gambar 2.3** Alur Estimasi Parameter PBL dalam AERMET

### 2.1.2 AERMOD Terrain Preprocessor (AERMAP)

Dengan menggunakan pendekatan yang relatif sederhana, AERMOD memasukkan konsep aliran dan dispersi dengan memperhitungkan pengaruh medan (topografi). *Plume* dimodelkan mempengaruhi atau mengikuti kondisi medan. Pendekatan ini didisain agar realistis secara fisik dan sederhana untuk diimplementasikan, sekaligus untuk menghindari kebutuhan membedakan kondisi medan/lahan berdasarkan medan yang sederhana, menengah atau kompleks yang dibutuhkan oleh regulatori model lainnya. Hasilnya, AERMOD menghilangkan kebutuhan untuk mendefinisikan regim medan yang kompleks (*complex terrain*). Seluruh medan ditangani secara konsisten dan kontinu dengan tetap mempertimbangkan pembagian konsep *streamline* pada kondisi terstratifikasi stabil.

<sup>3</sup> Bowen ratio: adalah rasio panas yang digunakan untuk "Sensible Heat" (konduksi dan konveksi) terhadap panas yang digunakan untuk "Latent Heat" (penguapan air), dan dinyatakan dalam persen.

AERMIC terrain pre-processor AERMAP menggunakan medan yang terbagi dalam grid untuk menghitung pengaruh tinggi medan ( $h_c$ ), atau disebut juga skala tinggi medan (*terrain height scale*). Skala tinggi medan ini ditetapkan untuk masing-masing lokasi reseptor, dan digunakan untuk menghitung tinggi pembagian *streamline*. Data yang sudah terbagi dalam grid dan diperlukan oleh AERMAP kemudian diseleksi dari *data Digital Elevation Model* (DEM). Elevasi untuk masing-masing reseptor secara otomatis akan ditempatkan oleh AERMAP. Untuk setiap reseptor, AERMAP akan memberikan informasi sebagai berikut kepada AERMOD: lokasi reseptor ( $x,y$ ), ketinggian di atas permukaan laut ( $z$ ), dan skala ketinggian medan spesifik dari reseptor ( $h_c$ ).

### 2.1.3 AERMIC Dispersion Model (AERMOD)

AERMOD merupakan *steady-state plume model*, yang mengasumsikan konsentrasi pada semua jarak saat jam yang dimodelkan ditentukan oleh rata-rata temporal kondisi meteorologi pada jam tersebut. Asumsi *steady state* memberikan hasil yang berguna karena statistik dari distribusi konsentrasi lebih utama daripada konsentrasi pada waktu dan lokasi tertentu saja.

Pada kondisi atmosfer stabil (*Stabel boundary layer - SBL*)<sup>4</sup>, AERMOD mengasumsikan distribusi gauss baik pada skala vertikal maupun horizontal. Pada *convective boundary layer* (CBL)<sup>5</sup>, distribusi horizontal diasumsikan sebagai gaussian, tetapi distribusi vertikalnya berupa *bi-gaussian probability density function* (pdf). Kondisi distribusi konsentrasi pada CBL diperlihatkan oleh Willis and Deardorff (1981) dan Briggs (1993). Pada kondisi CBL, AERMOD memberlakukan "*plume lofting*," di mana sebagian massa *plume* akan dilepaskan dari sumber, kemudian naik dan berhenti di dekat puncak dari *boundary layer* sebelum dapat tercampur ke dalam CBL. AERMOD juga dapat menentukan massa *plume* yang menembus ke dalam *elevated Stabel layer*, dan kemudian dapat masuk kembali ke *boundary layer* jika memungkinkan. Untuk sumber baik pada kondisi CBL dan SBL, AERMOD memberlakukan percepatan dispersi lateral sebagai akibat dari pola *plume* yang berliku (*plume meander*).

Secara umum, AERMOD memodelkan *plume* sebagai kombinasi dari dua kasus pembatas yaitu *plume* horizontal (*terrain impacting*) dan medan yang mengikuti *plume* (*terrain-following plume*). Karena itu, untuk semua situasi, total konsentrasi pada setiap receptor, dibatasi oleh prediksi konsentrasi pada kedua kondisi tersebut. Pada medan yang datar, kedua kondisi tersebut bersifat ekuivalen. Dengan memasukkan konsep pembagian tinggi *streamline* pada medan yang berelevasi, total konsentrasi dihitung sebagai jumlah konsentrasi berbobot pada kedua kondisi pembatas (Venkatram et al. 2001).

---

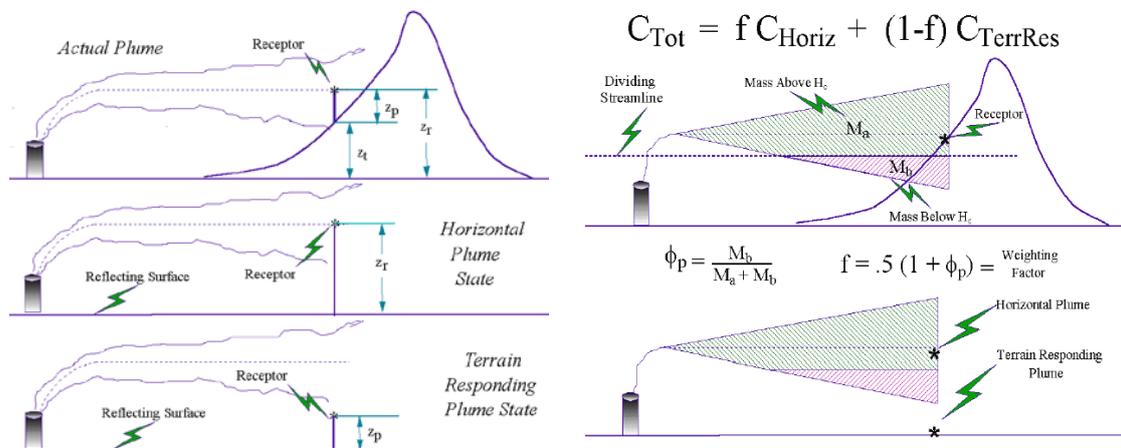
<sup>4</sup> *Stabel Boundary Layer* (SBL): lapisan udara yang hangat berada di dekat permukaan bumi yang dingin, dimana semakin tinggi ketinggiannya maka temperatur pada lapisan tersebut naik secara statis dan stabil.

<sup>5</sup> *Convective Boundary Layer* (SBL): lapisan atmosfer yang ditandai dengan turbulensi yang kuat sehingga cenderung terjadi pencampuran dengan cepat terutama pada arah vertikal.

Persamaan umum untuk menghitung konsentrasi pada kondisi stabil atau kondisi tidak stabil (konvektif) dinyatakan dengan persamaan berikut ini:

$$C_T \{x_r, y_r, z_r\} = f \cdot C_{c,s} \{x_r, y_r, z_r\} + (1-f) C_{c,s} \{x_r, y_r, z_p\} \quad \text{Persamaan 1}$$

Dengan  $C_T \{x_r, y_r, z_r\}$  adalah total konsentrasi,  $C_{c,s} \{x_r, y_r, z_r\}$  adalah kontribusi dari kondisi *plume* horizontal (*subscripts* c dan s menyatakan kondisi konvektif dan stabil),  $C_{c,s} \{x_r, y_r, z_p\}$  adalah kontribusi dari *terrain-following state*,  $f$  adalah *plume state weighting function*,  $\{x_r, y_r, z_r\}$  merupakan representasi koordinat dari reseptor (dengan  $z_r$  relatif terhadap tinggi cerobong),  $z_p = z_r - z_t$  adalah ketinggian reseptor di atas permukaan tanah, dan  $z_t$  adalah ketinggian medan dari reseptor. **Gambar 2.4** memperlihatkan hubungan antara kondisi *plume* sebenarnya dan karakterisasi dalam AERMOD.



**Gambar 2.4** Dua Kondisi Pendekatan dalam Menghitung Konsentrasi dalam AERMOD

Persamaan umum untuk menghitung konsentrasi pada setiap bagian pada persamaan satu untuk kondisi CBL maupun SBL dinyatakan sebagai berikut:

$$C \{x, y, z\} = \left( Q / \tilde{u} \right) P_y \{y; x\} P_z \{z; x\} \quad \text{Persamaan 1}$$

dengan  $Q$  berupa laju emisi,  $\tilde{u}$  adalah kecepatan angin efektif,  $P_y$  and  $P_z$  adalah *probability density functions* (pdf) yang mendeskripsikan distribusi lateral dan vertikal.

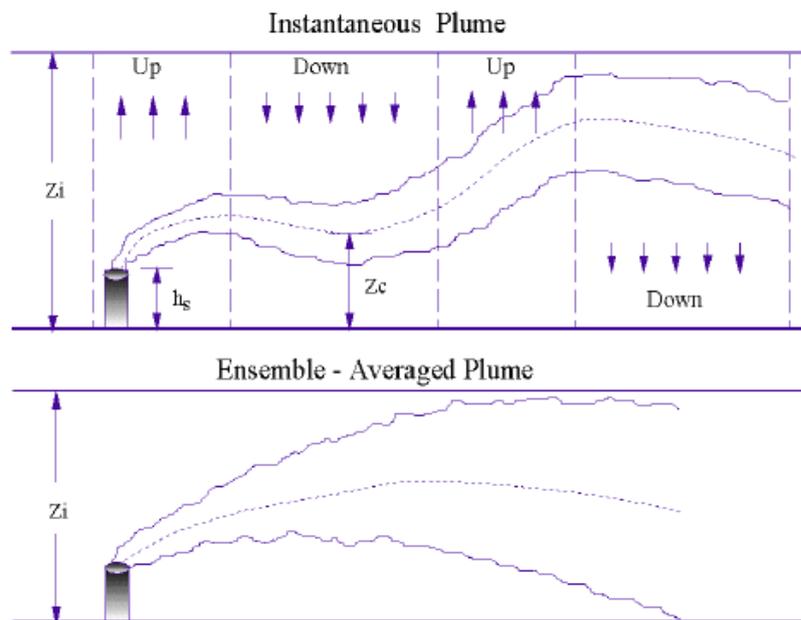
### Prediksi Konsentrasi pada CBL

Di dalam AERMOD, formula dispersi untuk kondisi CBL menggunakan model yang paling maju dibandingkan dengan model lainnya. *Plume* diasumsikan memasuki elemen konvektif baik *updrafts* maupun *downdrafts*, yang bergerak seiring dengan gerakan angin. Kecepatan angin vertikal dan lateral pada setiap elemen diasumsikan berupa variabel random dan dikarakterisasi

oleh *probability density functions* (pdf). Rata-rata konsentrasi diperoleh dari pdf, seperti dideskripsikan oleh Weil et al. (1997); Misra (1982), Venkatram (1983), dan Weil (1988a).

Pada kondisi CBL, pdf dari kecepatan vertikal  $w$  merupakan *skewed* positif dan menghasilkan distribusi konsentrasi vertikal *non-gaussian*  $F_z$  (Lamb 1982). *Skewness* positif ini bersifat konsisten dengan frekuensi kemunculan *downdrafts* yang lebih banyak dibandingkan *updrafts*; untuk *elevated non-buoyant source*, *skewness* juga mengarah ke pusat *plume* tempat terjadinya konsentrasi maksimum (Lamb 1982; Weil 1988a).

**Gambar 2.5** memperlihatkan skematik dari *instantaneous plume* pada suatu CBL berikut rata-ratanya. Dasar prediksi konsentrasi pada AERMOD dilakukan berdasarkan rata-rata satu jam.



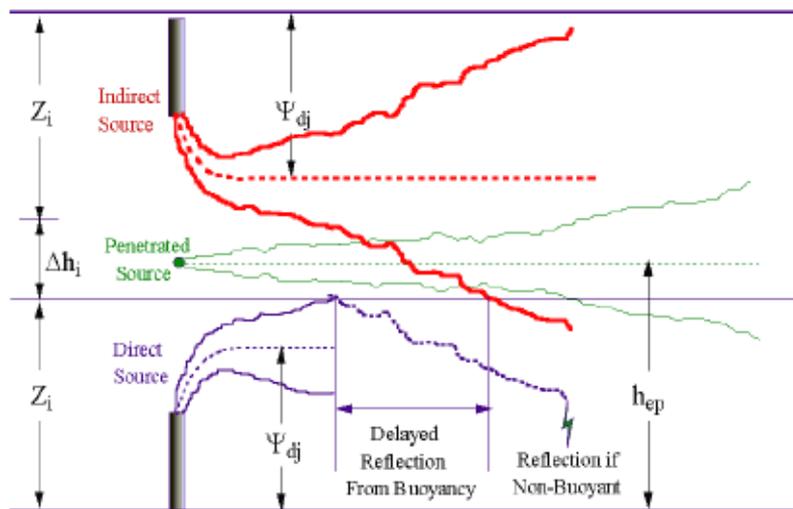
**Gambar 2.5** Gambaran Plume pada kondisi CBL

Perpindahan langsung materi *plume* ke tanah ditentukan oleh sumber langsung yang terletak di cerobong. Karena itu, sumber langsung memberlakukan bahwa bagian dari massa *plume* akan mencapai tanah dan refleksi berikutnya dari massa terjadi pada  $z = z_i$  and 0 (dimana  $z_i$  adalah tinggi lapisan pencampuran pada CBL (Cimorelli et al., 2004)).

Untuk suatu segmen *plume* atau partikel yang pada awalnya akan naik di dalam *updraft*, ditambahkan suatu sumber tidak langsung di atas lapisan pencampuran untuk menunjukkan kondisi quasi refleksi awal dari materi *plume* pada  $z = z_i$ , untuk materi yang tidak menembus inversi bertingkat (*elevated inversion*). Sumber ini disebut tidak langsung karena bukan sumber yang sebenarnya, tetapi berupa sumber imajiner. Karena itu, sumber tidak langsung

memperlakukan porsi dari massa *plume* akan pertama kali mencapai  $z_i$  dan kemudian diikuti dengan refleksi selanjutnya dari massa tertentu pada  $z = 0$  and  $z_i$ .

Untuk sumber tidak langsung, kenaikan *plume* (*plume rise* -  $\Delta h_i$ ) ditambahkan untuk memperlambat dispersi ke bawah dari materi *plume* dari puncak CBL (lihat **Gambar 2.6**); yang menunjukkan perilaku *plume's lofting*, yaitu tendensi dari *buoyant plume* untuk tinggal sementara di dekat  $z_i$  dan menghambat pencampuran ke bawah. Sumber yang menembus (*penetrated sources*) atau *plume* di atas puncak CBL dimasukkan untuk menghitung materi yang mulanya menembus inversi bertingkat tetapi kemudian masuk kembali dan terdispersi di dalam CBL.



**Gambar 2.6** Pendekatan Perlakuan Tiga Jenis *Plume* di dalam AERMOD pada Kondisi CBL

Sejalan dengan konsep di atas, terdapat tiga sumber matematis yang berkontribusi terhadap perhitungan konsentrasi model yaitu: 1) Sumber langsung (dari *stack*), 2) Sumber tidak langsung, dan 3) Sumber yang berpenetrasi. Kekuatan dari sumber langsung adalah  $f_p Q$  dengan  $Q$  adalah laju emisi sumber dan  $f_p$  fraksi terhitung dari massa *plume* yang terperangkap dalam CBL ( $0 \leq f_p \leq 1$ ). Demikian pula untuk kekuatan sumber tidak langsung dihitung sebagai  $f_p Q$  karena sumber imajiner ini dimasukkan untuk memenuhi kondisi tidak ada fluks pada  $z = z_i$  untuk materi yang terperangkap pada PBL. Kekuatan dari sumber berpenetrasi adalah  $(1 - f_p)Q$ , merupakan fraksi dari emisi sumber yang pada mulanya berpenetrasi ke dalam lapisan stabil (*elevated stable layer*).

Di dalam AERMOD, total konsentrasi ( $C_c$ ) dalam CBL dihitung dengan menjumlahkan kontribusi dari ketiga sumber tadi. Untuk *horizontal plume state*,  $C_c$  dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$C_c \{x_r, y_r, z_r\} = C_d \{x_r, y_r, z_r\} + C_r \{x_r, y_r, z_r\} + C_p \{x_r, y_r, z_r\} \quad \text{Persamaan 2}$$

dengan  $C_d$ ,  $C_r$ , dan  $C_p$  adalah kontribusi dari sumber langsung, tidak langsung, sumber berpenetrasi. Menurut Weil et al. (1997), konsentrasi karena sumber langsung dihitung sebagai berikut:

$$C_d \{x_r, y_r, z\} = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi}\bar{u}} F_y \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{y_j}} \left[ \exp\left(-\frac{(z - \Psi_{d_j} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{z_j}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + \Psi_{d_j} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{z_j}^2}\right) \right] \quad \text{Persamaan 3}$$

Konsentrasi akibat sumber tidak langsung dihitung sebagai berikut

$$C_r \{x_r, y_r, z\} = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi}\bar{u}} F_y \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{y_j}} \left[ \exp\left(-\frac{(z + \Psi_{r_j} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{z_j}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z - \Psi_{r_j} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{z_j}^2}\right) \right] \quad \text{Persamaan 4}$$

Untuk sumber berpenetrasi, konsentrasi dinyatakan dalam bentuk gaussian pada kedua arah vertikal dan horizontal, sebagai berikut:

$$C_p \{x_r, y_r, z\} = \frac{Q(1-f_p)}{\sqrt{2\pi}\bar{u}\sigma_{z_p}} F_y \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[ \exp\left(-\frac{(z - h_{ep} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{z_p}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + h_{ep} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{z_p}^2}\right) \right] \quad \text{Persamaan 5}$$

### Prediksi Konsentrasi pada SBL

Untuk kondisi atmosfer yang stabil, perhitungan konsentrasi dalam AERMOD berbentuk *gaussian*, dan mirip dengan bentuk yang umum digunakan pada model *steady state plume* lainnya (misalnya., HPDM (Hanna and Paine 1989)). Persamaan tersebut dinyatakan sebagai berikut:

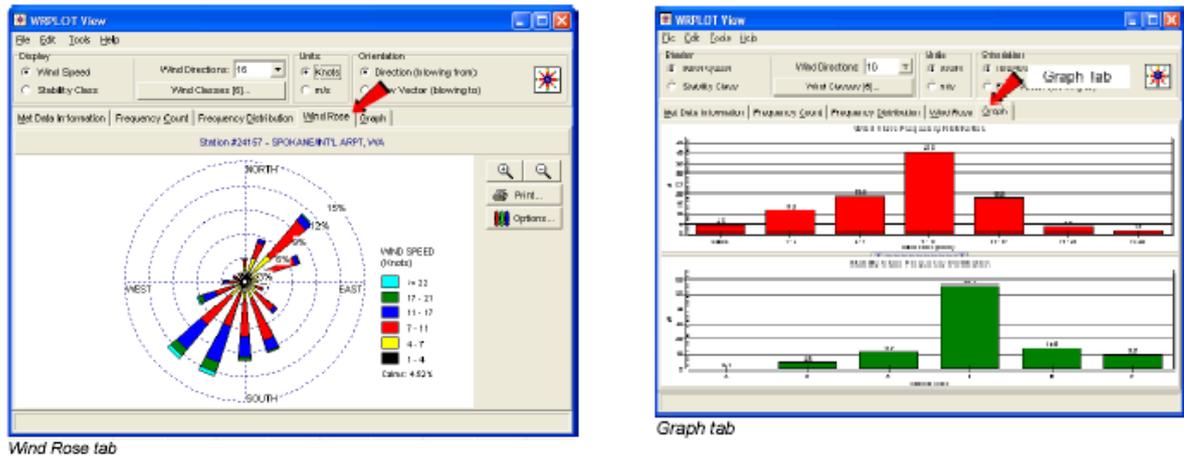
$$C_s \{x_r, y_r, z\} = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\bar{u}\sigma_{z_s}} F_y \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[ \exp\left(-\frac{(z - h_{es} - 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{z_s}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + h_{es} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{z_s}^2}\right) \right] \quad \text{Persamaan 6}$$

dengan  $z_{ieff}$  adalah ketinggian lapisan pencampuran efektif,  $F_{z_s}$  adalah total dispersi vertikal dalam SBL dan  $h_{es}$  adalah ketinggian efektif (yaitu tinggi cerobong di tambah dengan *plume rise*).

## 2.2 WRPLOT View

WRPLOT View merupakan program window yang menghasilkan statistik bunga angin, tabel frekuensi dan grafik untuk mengolah data observasi meteorologi dalam berbagai format seperti

(SCRAM, CD144, HUSWO, SAMSON, etc.). Presentasi statistik data arah dan kecepatan angin diperlihatkan pada **Gambar 2.7**.



**Gambar 2.7** WRPLOT View Windows

### 2.3 MM5 Modeling

Karena terdapat kesulitan di dalam memperoleh data parameter meteorologi per jam untuk AERMOD dari stasiun pengamat meteorologi di Indonesia, data meteorologi dipesan dari *Lakes Environment Software* ([www.weblakes.com](http://www.weblakes.com)). Bagian ini menjelaskan deskripsi singkat dari MM5 (*5th-generation Mesoscale Model*) modeling yang digunakan oleh *Lakes Environmental Software* untuk menghasilkan data meteorologi dengan resolusi tinggi dengan tujuan untuk mendapatkan sumber informasi yang cukup dalam menyediakan input data meteorologi untuk AERMOD.

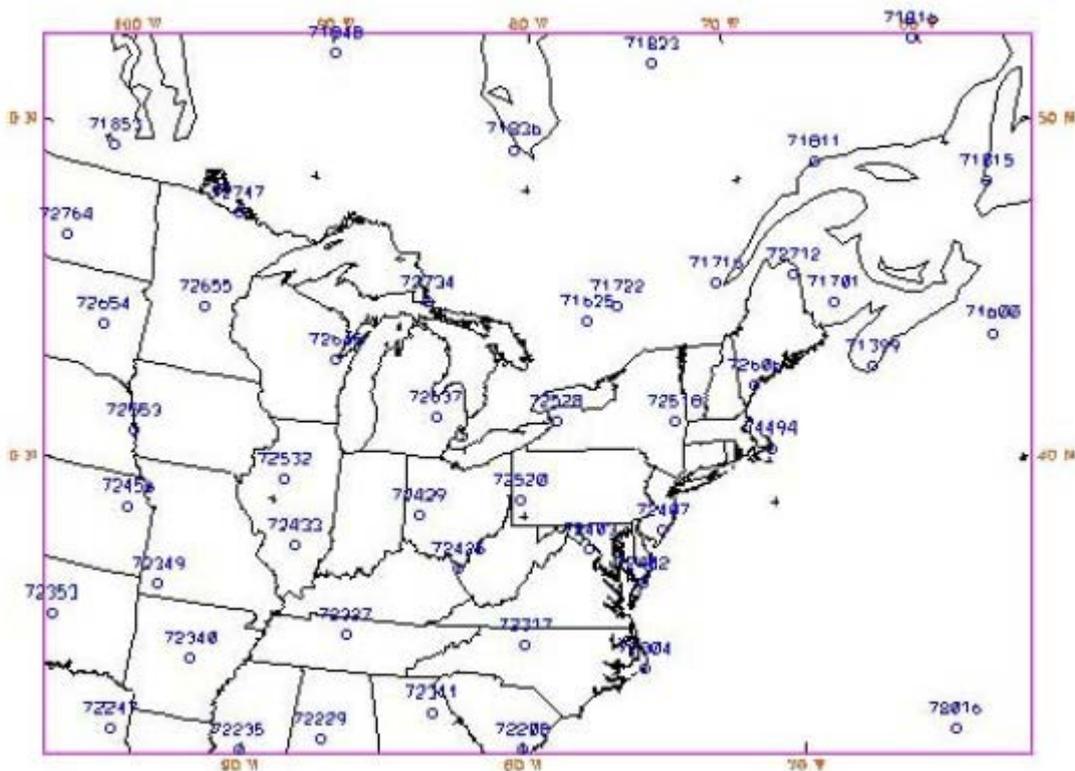
*Lakes Environmental Software* dapat menyediakan data meteorologi permukaan (*surface met file*) dalam bentuk SAMSON dan *upper air met file* dalam bentuk TD-6201 yang merupakan hasil dari MM5 modeling. Kedua file tersebut merupakan input untuk *software* AERMET yang dapat mengolah data *surface* dan *upper air* tersebut sehingga menghasilkan file dalam format \*.SFC and \*.PFL yang diperlukan oleh AERMOD. *Lakes Environmental Software* telah memilih pemodelan menggunakan MM5 berdasarkan publikasi dari beberapa studi untuk pemodelan dengan resolusi tinggi (grid yang kecil).

MM5 merupakan model *prognostic meteorology* yang dikembangkan oleh U.S. *National Center for Atmospheric Research* (NCAR). Model berlaku pada kondisi terbatas, non hidrostatis, untuk sirkulasi atmosfer pada skala meso dan regional. MM5 dikembangkan terutama menggunakan kode FORTRAN, dan masih banyak digunakan sebagai *community model* walaupun pengembangan formal model tersebut sudah berakhir.

MM5 tidak dapat secara langsung menggunakan data meteorologi konvensional dari pengukuran di bandara. Model ini menggunakan analisis objektif dari pelaporan cuaca secara

global. Analisis objektif adalah suatu proses untuk menganalisis data observasi dan menempatkannya pada suatu grid reguler. Medan meteorologi diseimbangkan untuk memperhitungkan persamaan energi dan momentum dari atmosfer. Analisis objektif ini merupakan produk dari model global, yang ditangani oleh *National Weather Centers* atau *Federal Agencies* seperti UKMO (*United Kingdom Meteorological Office*) or NCEP (*National Center for Environmental Protection*).

*Lakes Environmental Software* telah mendapatkan *Global Reanalysis data* sebagai input untuk MM5 dari tahun 1999 sampai 2008 (ditambah dengan data baru). NCEP *reanalysis* memiliki resolusi 2,5 derajat x 2,5 derajat untuk seluruh dunia, yang diberikan setiap 6 jam. **Gambar 2.8** memperlihatkan contoh dari *Great Lakes region* di Amerika Utara yang memuat nomor stasiun cuaca yang digunakan untuk *reanalysis* data. Stasiun tersebut menyediakan data input untuk MM5 model.



**Gambar 2.8** Contoh Domain MM5 dengan Stasiun Meteorologi

## 2.4 Prosedur Pengerjaan

Prosedur pengerjaan model secara singkat dapat dideskripsikan sebagai berikut:

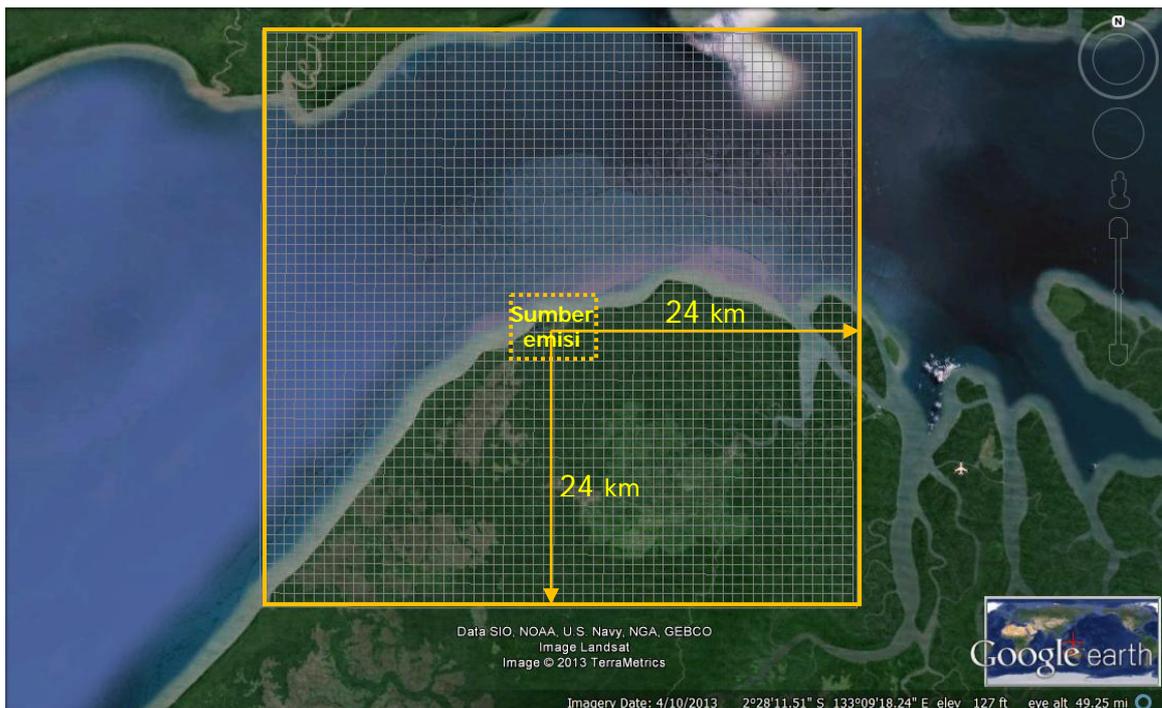
1. Pengumpulan semua data input yang diperlukan untuk model termasuk di antaranya parameter pencemar yang akan dimodelkan, data sumber emisi (lokasi sumber, karakteristik fisik sumber, dan laju emisi pencemar), data reseptor, data pendukung lainnya yang berguna untuk analisis hasil modeling.
2. Pengecekan terhadap kualitas data yang dikumpulkan untuk (*quality control* dan *quality assurance*)
3. Pemakaian *software* AERMET View untuk memproses data meteorologi
4. Pemakaian *software* WRPLOT View untuk presentasi statistik data meteorologi
5. Pemakaian *software* AERMAP untuk menghasilkan peta topografi di lokasi pemodelan
6. Pemakaian *software* AERMOD untuk menghitung dispersi pencemar dan presentasi dalam bentuk isopleth konsentrasi
7. Interpretasi dan analisis data hasil pemodelan

### 3 Parameter Input dan Data Pendukung

Pemodelan dispersi pencemar di atmosfer melibatkan data yang saling berhubungan satu dengan lainnya di antaranya adalah karakteristik fisik dan kimia dari efluen, karakteristik meteorologi dari lokasi yang akan dimodelkan, lokasi dari sumber terkait dengan gangguan terhadap pergerakan udara, dan kondisi topografi daerah pemodelan. Karena itu, ketersediaan data yang lengkap dan terpercaya sangat menentukan akurasi dari hasil modeling. Berikut ini adalah data terkait pemodelan Tangguh LNG yang menjadi masukan bagi model.

#### Lokasi Sumber Emisi dan Reseptor

Sumber emisi dari kegiatan operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG berupa 28 buah sumber titik yang terdapat pada Kilang 1, 2, 3 dan 4. Ke-28 sumber tersebut terletak di teluk Bintuni dengan peta situasi diperlihatkan menggunakan citra satelit dari *Google earth* yang terkoneksi langsung dengan *Software ISC AERMOD* seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.1**. Dispersi gas dan partikulat akan dihitung sampai dengan jarak sekitar 24 km dari pusat sumber emisi, dengan pembagian grid menggunakan *Uniform Cartesian Grid* dengan jumlah reseptor sebanyak 3600, seperti diperlihatkan pada **Gambar 3.1**.



**Gambar 3.1** Lokasi Sumber Emisi dan Pembagian Lokasi Reseptor menggunakan *Uniform Cartesian Grid* (Sumber peta: *Imagery map from Google Earth*)

### **Peta Lokasi dan Data Topografi**

Data topografi untuk area pemodelan diperoleh dari [www.webgis.com](http://www.webgis.com), data tersebut dikumpulkan pada saat *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dan memiliki data global dari 56 derajat lintang selatan sampai 60 derajat lintang utara dengan pendekatan resolusi sebesar 90 x 90 meter. Ketinggian dinyatakan dalam meter dengan referensi WGS84/EGM96 geoid. File STRM kemudian diproses menggunakan *AERMAP software* untuk menghasilkan data elevasi dengan skala ketinggian untuk masing-masing reseptor yang telah ditentukan seperti diperlihatkan **Gambar 3.2**.



**Gambar 3.2** Peta Topografi untuk Area Pemodelan Dispersi Gas dan Partikulat dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG

### **Deskripsi Karakteristik Sumber Emisi**

Deskripsi karakteristik 28 sumber titik yang menjadi input model diperlihatkan pada **Tabel 4-1** dan **Tabel 4-2**. Data tersebut terdiri dari jenis sumber emisi, kode sumber, koordinat lokasi, temperatur gas di cerobong, kecepatan gas di cerobong, dimensi cerobong, elevasi sumber di atas permukaan laut, serta data laju emisi gas ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ) dan partikulat.

**Tabel 3.1.** Karakteristik Fisik dan Kimia Sumber Emisi dari Kilang LNG 1 dan 2

No.	Sumber Emisi	Kode sumber	Koordinat lokasi		Temperatur gas di cerobong		Kecepatan gas di cerobong	Dimensi cerobong		Elevasi di atas permukaan laut	Laju Emisi			
								Dia.	Tinggi		SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	Parti-kulat
			x	y	°C	K	m/s	m	m	m	gram/detik			
1	<i>Acid Gas Incinerator</i>	AGI1	293163,95	9729682,55	405	678,15	15,6	3	42	15	0,525	2,33	120,12	0,029
2	<i>Acid Gas Incinerator</i>	AGI2	293156,92	9729696,48	405	678,15	15,6	3	42	15	2,52	4,195	120,12	0,029
3	<i>Regeneration Gas Fired Heater</i>	RGFH1	293098,01	9729666,42	234	507,15	15	1,22	41,1	15	1,541	0,552	0,004	0,018
4	<i>Regeneration Gas Fired Heater</i>	RGFH2	293107,01	9729671,41	234	507,15	15	1,22	41,1	15	1,104	0,07	0,004	0,018
5	<i>Heat Recovery Steam Generator</i>	HRS1A	293223,71	9729822,75	232	505,15	15	5,268	32	14	1,961	28,919	0	1,929
6	<i>Heat Recovery Steam Generator</i>	HRS1B	293121,22	9730014,6	232	505,15	15	5,268	32	15	1,961	28,919	0	1,929
7	<i>Heat Recovery Steam Generator</i>	HRS2A	293071,88	9729741,37	232	505,15	15	5,268	32	15	1,961	28,919	0	1,929
8	<i>Heat Recovery Steam Generator</i>	HRS2B	292969,39	9729933,21	232	505,15	15	5,268	32	15	1,961	28,919	0	1,929
9	<i>Boiler</i>	Boiler12A	293024,12	9729609,15	300	573,15	15	2,6	30	15	0,478	17,5	0,034	0,659
10	<i>Boiler</i>	Boiler12B	293037,17	9729584,17	300	573,15	15	2,6	30	15	0,478	17,5	0,034	0,659
11	<i>Boiler</i>	Boiler12C	293050,21	9729560,19	300	573,15	15	2,6	30	15	0,478	17,5	0,034	0,659
12	<i>Dry Gas Flare</i>	Flare1	293273,77	9730218,96	123	1273	15	0,915	55	19	0	6,1	0	0,662
13	<i>Wet Gas Flare</i>	Flare2	293272,77	9730220,95	300	1273	15	1,016	55	19	0	6,1	0	0,662
14	<i>Tankage Flare</i>	Flare3	292341,91	9730500,01	300	1273	15	0,712	35	6	0	6,1	0	0,662

**Tabel 3.2.** Karakteristik Fisik dan Kimia Sumber Emisi dari Kilang LNG 3 dan 4

No.	Sumber Emisi	Kode sumber	Koordinat lokasi		Temperatur gas di cerobong		Kecepatan gas di cerobong	Dimensi cerobong		Elevasi di atas permukaan laut	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	Partikulat
								Dia.	Tinggi					
			x	y	°C	°K		m/s	m					
15	Kilang 3 Turbine Stack	HRS3A	292573,69	9729638,27	232	505,15	15	5,268	32	18	1,961	28,92	0,00	1,929
16	Kilang 3 Turbine Stack	HRS3B	292677,30	9729445,21	232	505,15	15	5,268	32	20	1,961	28,92	0,00	1,929
17	Kilang 4 Turbine Stack	HRS4A	292311,71	9729498,23	232	505,15	15	5,268	32	18	1,961	28,92	0,00	1,929
18	Kilang 4 Turbine Stack	HRS4B	292415,31	9729305,17	232	505,15	15	5,268	32	18	1,961	28,92	0,00	1,929
19	U3/4 Boiler Stack	Boiler34A	292500,57	9729187,62	300	573,15	15	2,6	30	18	0,478	17,50	0,03	0,659
20	U3/4 Boiler Stack	Boiler34B	292513,73	9729162,98	300	573,15	15	2,6	30	18	0,478	17,50	0,03	0,659
21	U3/4 Boiler Stack	Boiler34C	292526,89	9729138,22	300	573,15	15	2,6	30	18	0,478	17,50	0,03	0,659
22	U3/4 Regen Heater Stack	RGFH34A	292574,46	9729244,57	234	507,15	15	1,22	41,1	18	1,541	0,552	0,00	0,018
23	U3/4 Regen Heater Stack	RGFH34B	292584,13	9729249,67	234	507,15	15	1,22	41,1	18	1,541	0,552	0,00	0,018
24	U3/4 AGI Stack	AGI34A	292633,37	9729274,95	405	678,15	15,6	3	42	18	2,52	4,195	120,12	0,029
25	U3/4 AGI Stack	AGI34B	292641,07	9729260,59	405	678,15	15,6	3	42	19	2,52	4,195	120,12	0,029
26	Dry Gas Flare 3 4	Flare4			123	1273	15	0,915	55	18	0	6,09	0,00	0,662
27	Wet Gas Flare 3 4	Flare5			300	1273	15	1,016	55	19	0	6,09	0,00	0,662
28	Tankage Flare 3 5	Flare5			300	1273	15	0,712	35	6	0	6,1	0,00	0,662

### **Data Meteorologi**

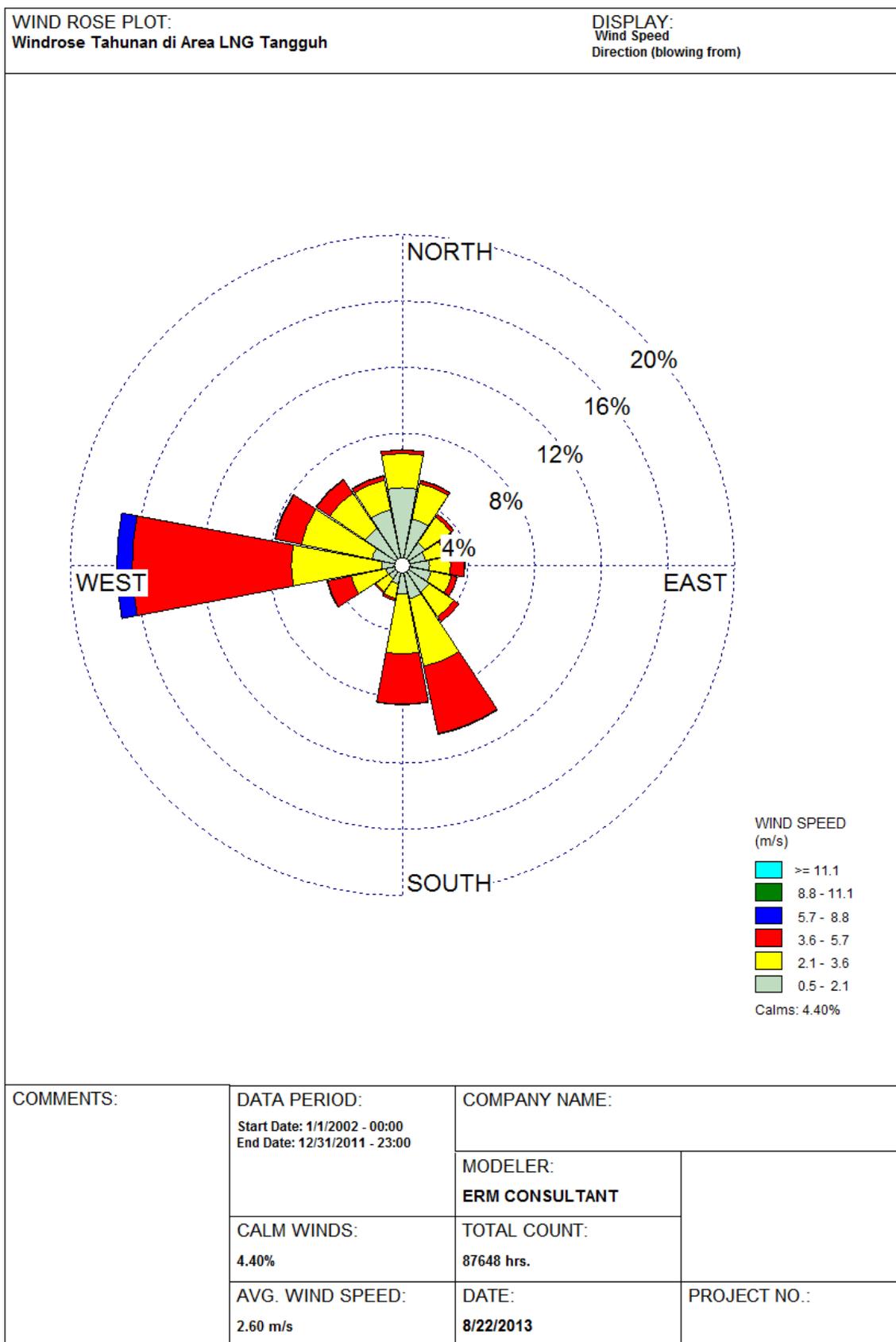
Data meteorologi *surface* dan *upper air* selama 10 tahun (2002-2011) yang terdiri dari data per jam dari kecepatan dan arah angin, tutupan awan, tekanan dan temperatur untuk Tangguh LNG diperoleh dari *Lakes Environmental software* dengan informasi data diperlihatkan pada **Tabel 3.3**. Data ini diperoleh dari output model MM5 terdekat ke daerah Tangguh LNG. MM5 menggunakan grid 1 km kali 1 km untuk mengestimasi karakteristik daerah model. MM5 juga menggunakan *pre-processed wind field* untuk simulasi cuaca global yang *digunakan sebagai initial time boundary condition* pada  $t=0$  dan pada  $t$  lainnya.

**Tabel 3.3** Informasi Data Meteorologi dari *Lakes Environmental Met Data Service*

<b>Informasi Data Meteorologi</b>	
Jenis data meteorologi	AERMET Ready ( <i>Surface and Upper Data</i> )
Awal - akhir	Jan 01 2002 – Des 31 2011
Koordinat lokasi dari stasiun meteorologi ( <i>Pseudo Met Station</i> )	2,444475 Lintang Selatan; 133,134175 Bujur Timur
Datum	WGS 84
<i>Site Time Zone</i>	UTC/GMC UTC +9 hour(s)
<b>Calculated Pseudo Met Station Parameters</b>	
Ketinggian anemometer	15m
Elevasi stasiun pengamatan	0 m
<i>Upper Air Adjustment</i>	-9hour(s)

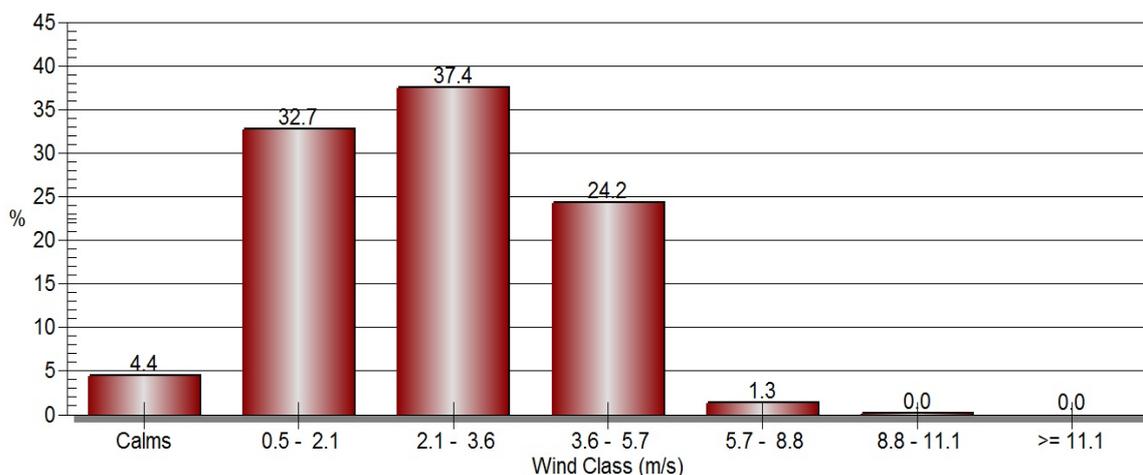
**Source:** [www.weblakes.com](http://www.weblakes.com)

Diagram bunga angin (*windrose*) dibuat menggunakan WRPLOT VIEW yang diperlihatkan pada **Gambar 3.3**. Diagram tersebut merupakan ringkasan informasi statistik terkait arah dan kecepatan angin. Segmen garis digambarkan pada 16 arah kompas, dengan panjang garis proporsional terhadap frekuensi kejadian angin bertiup dari arah tertentu, sedangkan tebal garis menggambarkan frekuensi kejadian kecepatan angin menurut kelasnya. Secara umum, **Gambar 3.3** memperlihatkan bahwa dominan angin bertiup dari arah Barat ke Timur, dan sebagian lagi bertiup dari Tenggara ke Barat Laut dan dari Selatan ke Utara. Selain itu angin bertiup pula dengan frekuensi yang lebih kecil dari arah Barat Laut, Utara, dan Timur Laut ke arah Tenggara, Selatan dan Barat Daya.



Gambar 3.3 Diagram Windrose untuk Area Tangguh LNG

Grafik frekuensi distribusi kelas kecepatan angin diperlihatkan pada **Gambar 3.4**. Gambar tersebut menunjukkan bahwa sebanyak 37,4% angin memiliki kecepatan antara 2,1-3,6 m/detik, dan hanya 4,4% dikategorikan sebagai *calm wind*<sup>6</sup>. Rata-rata kecepatan angin berada di atas 0,5 m/s, yang menunjukkan bahwa area tersebut memiliki kecepatan angin yang cukup baik untuk mendispersikan gas ataupun partikulat yang diemisikan dari berbagai sumber titik di area Tangguh LNG.



**Gambar 3.4** Distribusi Kecepatan Angin

### **Rona Awal (*Background Concentration*) di Area Tangguh LNG**

Data *background concentration* atau konsentrasi parameter kualitas udara pada saat kilang LNG 3 dan 4 belum beroperasi diperoleh dari hasil pengukuran di lokasi sekitar Tangguh LNG dengan lokasi pengukuran diperlihatkan tabel berikut ini.

**Tabel 3.4** Lokasi Pengambilan Sampel untuk Memperoleh Data *Background Concentration* di Lokasi sekitar Tangguh LNG

Titik Sampel	Lokasi		Koordinat	
			Lintang Selatan	Bujur Timur
AQN-1	<i>Onshore</i> (Tangguh LNG - Hutan)	Rencana Jetty	02° 27' 18.8"	133° 06' 52.0"
AQN-2	<i>Onshore</i> (Tangguh LNG - Hutan)	Rencana Lapangan Terbang	02° 27' 06.1"	133° 09' 02.1"
AQN-4	<i>Onshore</i> (Tangguh LNG – Daerah Terbuka)	Rencana Kilang LNG	02° 26' 46.7"	133° 08' 03.8"
AQN-6	<i>Onshore</i> (Tangguh LNG – Daerah Terbuka)	Rencana Jetty	02° 26' 56.3"	133° 06' 56.1"
AQN-7	<i>Onshore</i> (Permukiman)	Tanah Merah Baru	02° 27' 40.1"	133° 06' 16.2"
AQN-8	<i>Onshore</i> (Permukiman)	Arguni	02° 39' 22.2"	133° 32' 53.4"

<sup>6</sup> Angin dengan kecepatan kurang dari 0,5 m/s

Titik Sampel	Lokasi		Koordinat	
			Lintang Selatan	Bujur Timur
AQN-9	Offshore	Offshore - OFA	02° 26' 02"	133° 01' 21."
AQN-10	Offshore	Offshore – WD	02° 20' 32"	132° 57' 31"
AQN-11	Offshore	Offshore - VRA	02° 15' 54"	133° 11' 07"
AQN-12	Offshore	Offshore	02° 22' 52"	133° 11' 47"

Data pengukuran yang dijadikan sebagai *background concentration* adalah data pengukuran dengan nilai paling tinggi seperti diperlihatkan pada **Tabel 3.5**. Data hasil modeling dan data *background concentration* harus dijumlahkan untuk merefleksikan efek kumulatif dari berbagai sumber lainnya yang berada di daerah studi.

**Tabel 3.5** Data *Background Concentration* di Lokasi sekitar Tangguh LNG

Parameter	Maksimum konsentrasi terukur	Waktu rata-rata
	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	
NO <sub>2</sub>	12	1 jam
SO <sub>2</sub>	355	1 jam
CO	1490	1 jam
TSP	115	24 jam

**Sumber:** Data hasil pemantauan udara ambien tahun 2012

#### 4 Prakiraan Dispersi Gas dan Partikulat dari Operasional Tangguh LNG

Pencemar yang dimodelkan menggunakan software AERMOD diasumsikan sebagai pencemar konservatif yang berarti tidak mengalami transformasi fisik-kimia di atmosfer. Perubahan konsentrasi hanya diakibatkan oleh volume dispersi akibat pengaruh arah dan kecepatan angin, stabilitas atmosfer serta topografi. Karena  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , CO, dan partikulat bukan merupakan pencemar konservatif dan akan mengalami proses fisik kimia di atmosfer termasuk deposisi basah dan kering, maka konsentrasi ambien aktual kemungkinan besar akan lebih kecil dari nilai konsentrasi yang diperkirakan. Untuk menganalisis pengaruh dari topografi di daerah studi dengan lebih jelas, maka prediksi dilakukan dalam dua kondisi yaitu:

- Kondisi *elevated terrain*: artinya memperhitungkan topografi di sekitar Tangguh LNG (ketinggian reseptor di atas permukaan laut)
- Kondisi *flat terrain*: artinya tidak memperhitungkan atau mengabaikan topografi, kondisi ini mengasumsikan daerah model seluruhnya merupakan daerah yang mendatar.

Hasil prakiraan dispersi ditampilkan dalam bentuk peta isopleth konsentrasi di atas permukaan tanah (*ground level concentration*). Peta isopleth merangkum dan menyederhanakan data sebaran secara kontinyu, serta menampilkan data dalam bentuk tiga dimensi pada sebuah peta. Dimensi ketiga merupakan rangkaian garis yang disebut isopleth yang menghubungkan titik-titik dengan konsentrasi sama. Prakiraan dilakukan untuk menghitung rata-rata konsentrasi pencemar dalam satu jam, 24 jam dan tahunan. Konsentrasi merupakan hasil perhitungan model dispersi tanpa melibatkan konsentrasi awal (*background concentration*), yaitu konsentrasi pencemar yang telah ada sebelumnya. Karena itu, untuk memperkirakan konsentrasi sebenarnya di udara ambien, konsentrasi hasil model dispersi harus dikoreksi (ditambah) dengan *background concentration*.

Rekapitulasi hasil prediksi pada tahap operasional Kilang 1, 2, 3, dan 4 Tangguh LNG khusus untuk konsentrasi maksimum parameter  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , CO, dan partikulat di udara ambien diperlihatkan pada **Tabel 4.1** untuk prediksi dengan memperhitungkan topografi (*elevated terrain*) dan **Tabel 4.2** untuk prediksi dengan mengabaikan topografi (*flat terrain*). Gambar isopleth konsentrasi yang memperlihatkan sebaran konsentrasi  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , CO, dan partikulat di wilayah sekitar Tangguh LNG untuk rata-rata 1 jam, 24 jam, dan tahunan diperlihatkan pada **Gambar 4.1** sampai dengan **Gambar 4.24**.

Hasil perhitungan model dispersi menunjukkan bahwa seluruh konsentrasi maksimum yang terhitung untuk semua parameter baik untuk rata-rata 1 jam, 24 jam maupun tahunan berada di bawah baku mutu yang berlaku (data terdapat pada **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2**). Berdasarkan kedua tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa topografi memberikan pengaruh yang besar di dalam penentuan konsentrasi pencemar karena adanya efek refleksi dari permukaan bumi bagi sebagian *plume* yang membentur permukaan bumi (mekanisme perhitungan diperlihatkan pada

**Gambar 2.4).** Pola dispersi antara *elevated terrain* dan *flat terrain* hampir serupa mengikuti pola yang terbalik dengan bunga angin (*windrose*), di mana jika angin bertiup dari arah tertentu (misalkan dari arah Barat) maka pencemar akan tersebar ke arah sebaliknya (arah Timur). Topografi juga memberikan pengaruh dalam merubah lokasi terjadinya konsentrasi maksimum. Untuk prediksi dengan *elevated terrain*, konsentrasi maksimum terjadi pada daerah dengan dataran paling tinggi yaitu pada arah Tenggara dari sumber emisi walaupun pola sebaran secara keseluruhan masih selaras dengan bunga angin. Sedangkan untuk prediksi dengan *flat terrain*, konsentrasi maksimum terjadi pada daerah di sebelah Timur dari sumber emisi, selaras dengan pola angin yang dominan bertiup dari arah Barat.

Berdasarkan pola dispersi yang diperlihatkan **Gambar 4.1** sampai dengan **Gambar 4.24**, konsentrasi maksimum dapat terjadi pada lokasi yang jauh dari sumber emisi, yaitu pada jarak lebih dari 10 km. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi stabilitas atmosfer di daerah studi cenderung stabil yang ditandai dengan kondisi sub adiabatik di mana gradien perubahan temperatur terhadap ketinggian relatif kecil. Sebaran  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , CO, dan partikulat dapat mencapai kampung-kampung di sekitar Tangguh LNG, seperti yang terdapat dalam batas model (*site domain boundary*) seperti kampung Tanah Merah Baru, kampung Saengga, kampung Onar Lama, kampung Onar Baru, kampung Tofoi dan kampung Wimro. Sebaran juga dapat mencapai desa-desa lainnya di luar batas model. Seluruh konsentrasi  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , CO, dan partikulat yang mencapai kampung-kampung tersebut jauh di bawah baku mutu, sehingga tidak akan berdampak negatif terhadap kesehatan penduduk yang tinggal di kampung-kampung tersebut.

**Tabel 4.1** Konsentrasi Maksimum NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, dan Partikulat Hasil Prediksi Model Dispersi pada Tahap Operasional Kilang LNG 1, 2, 3, dan 4 dengan Memperhitungkan Pengaruh Topografi (*Elevated Terrain*)

Rata-rata waktu perhitungan	NO <sub>2</sub>			SO <sub>2</sub>			CO			Partikulat		
	Hasil Prediksi		Baku Mutu ***									
	Kondisi Udara Ambien*	Kondisi Standar**		Kondisi Udara Ambien*	Kondisi Standar*		Kondisi Udara Ambien*	Kondisi Standar*		Kondisi Udara Ambien*	Kondisi Standar*	
	(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )
Rata-rata 1 jam	155,4	156,8	400	15,6	15,7	900	115,0	116,0	30.000	8,3	8,3	
	Gambar 4.1			Gambar 4.7			Gambar 4.13			Gambar 4.19		
Rata-rata 24 jam	23,66	23,88	150	2,21	2,23	365	10,48	10,57	10.000	1,57	1,59	230
	Gambar 4.3			Gambar 4.9			Gambar 4.15			Gambar 4.21		
Rata-rata Tahunan	1,6700	1,6855	100	0,1579	0,1594	60	0,6594	0,6655		0,1089	0,1099	90
	Gambar 4.5			Gambar 4.11			Gambar 4.17			Gambar 4.23		

**Catatan:** \* Pada temperatur dan tekanan ambien: 26,6°C dan 757 mmHg

\*\* Pada temperatur dan tekanan standar: 25°C dan 760 mmHg dengan konversi dihitung berdasarkan hukum Boyle-Charles  $V_s \text{ m}^3 = \frac{P_a V_a T_s}{T_a P_s} = \frac{P_a (\text{mmHg}) * V_a (\text{m}^3) * (273.15 + 25)(\text{K})}{T_a (\text{K}) * 760(\text{mmHg})}$

\*\*\* Baku Mutu Udara Ambien Nasional berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999

**Tabel 4.2** Konsentrasi Maksimum NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, dan Partikulat Hasil Prediksi Model Dispersi pada Tahap Operasional Kilang LNG 1, 2, 3, dan 4 tanpa Memperhitungkan Pengaruh Topografi (*Flat Terrain*)

Rata-rata waktu perhitungan	NO <sub>2</sub>			SO <sub>2</sub>			CO			Partikulat		
	Hasil Prediksi		Baku Mutu ***									
	Kondisi Udara Ambien*	Kondisi Standar**		Kondisi Udara Ambien*	Kondisi Standar*		Kondisi Udara Ambien*	Kondisi Standar*		Kondisi Udara Ambien*	Kondisi Standar*	
	(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )	(µg/Nm <sup>3</sup> )
Rata-rata 1 jam	52,4	52,8	400	7,2	7,3	900	68,2	68,9	30000	2,89	2,92	
	Gambar 4.2			Gambar 4.8			Gambar 4.14			Gambar 4.20		
Rata-rata 24 jam	9,89	9,98	150	1,00	1,01	365	7,65	7,72	10000	0,643	0,649	9,89
	Gambar 4.4			Gambar 4.10			Gambar 4.16			Gambar 4.22		
Rata-rata Tahunan	0,3877	0,391	100	0,03233	0,0326	60	0,1594	0,1609		0,0245	0,0247	0,3877
	Gambar 4.6			Gambar 4.11			Gambar 4.18			Gambar 4.22		

**Catatan:** \* Pada temperatur dan tekanan ambien: 26,6°C dan 757 mmHg

\*\* Pada temperatur dan tekanan standar: 25°C dan 760 mmHg dengan konversi dihitung berdasarkan hukum Boyle-Charles  $V_s \text{ m}^3 = \frac{P_a V_a T_s}{T_a P_s} = \frac{P_a (\text{mmHg}) * V_a (\text{m}^3) * (273.15 + 25)(\text{K})}{T_a (\text{K}) * 760(\text{mmHg})}$

\*\*\* Baku Mutu Udara Ambien Nasional berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999

Untuk memperkirakan total konsentrasi pencemar di udara ambien pada saat operasional kilang LNG 1, 2, 3 dan 4, maka dilakukan perhitungan dengan menjumlahkan hasil model dengan *background concentration* untuk masing-masing parameter (perhitungan terdapat pada **Tabel 4.3**). Karena keterbatasan data *background concentration* yang tersedia (seperti diperlihatkan **Tabel 3.5**), maka untuk parameter NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan CO dilakukan perhitungan untuk rata-rata satu jam, sedangkan untuk partikulat dilakukan perhitungan untuk rata-rata 24 jam. Berdasarkan **Tabel 4.3** dapat disimpulkan bahwa konsentrasi NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO dan partikulat di udara ambien setelah dikoreksi dengan *background concentration* berada di bawah baku mutu menurut PP 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.

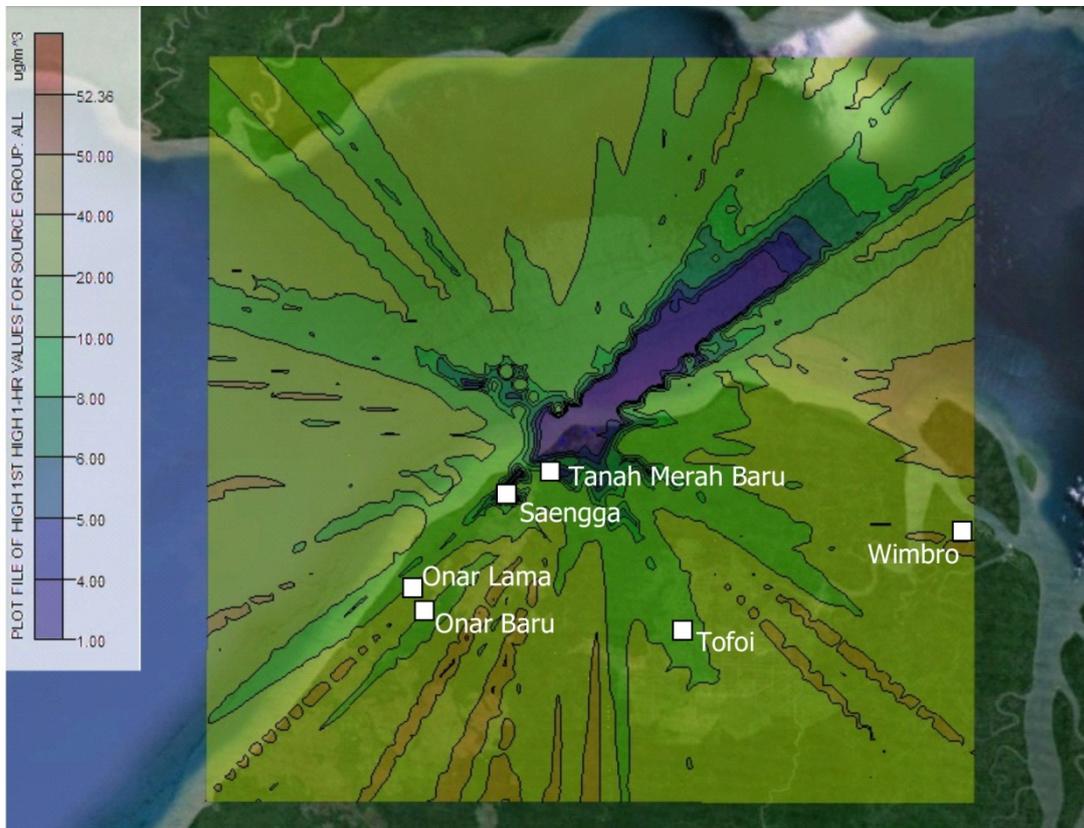
**Tabel 4.3** Prediksi Total Konsentrasi di Udara Ambien

Parameter	<i>Background concentration</i>	<i>Elevated Terrain</i>		<i>Flat Terrain</i>		Baku Mutu*	
		Prediksi model	Prediksi total konsentrasi di udara ambien	Prediksi model	Prediksi total konsentrasi di udara ambien		
NO <sub>2</sub>	12	156,8	<b>168,8</b>	52,8	<b>64,8</b>	400	1 jam
SO <sub>2</sub>	355	15,7	<b>370,7</b>	7,3	<b>362,3</b>	900	1 jam
CO	1490	116,0	<b>1606,0</b>	68,9	<b>1558,9</b>	30000	1 jam
Partikulat	115	1,59	<b>116,6</b>	2,92	<b>117,9</b>	230	24 jam

Keterangan: Baku mutu berdasarkan PP 42 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara



**Gambar 4.1** Prakiraan Sebaran Konsentrasi NO<sub>2</sub> Rata-rata 1 jam ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG dengan Memperhitungkan Pengaruh Topografi (*Elevated Terrain*)



**Gambar 4.2** Prakiraan Sebaran Konsentrasi NO<sub>2</sub> Rata-rata 1 jam ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dari Kegiatan Operasional Proyek Pengembangan Tangguh LNG tanpa Memperhitungkan Pengaruh Topografi (*Flat Terrain*)