

Figure 4.3 The Comparison between Model and Observed Water Elevation at Ocean Tower

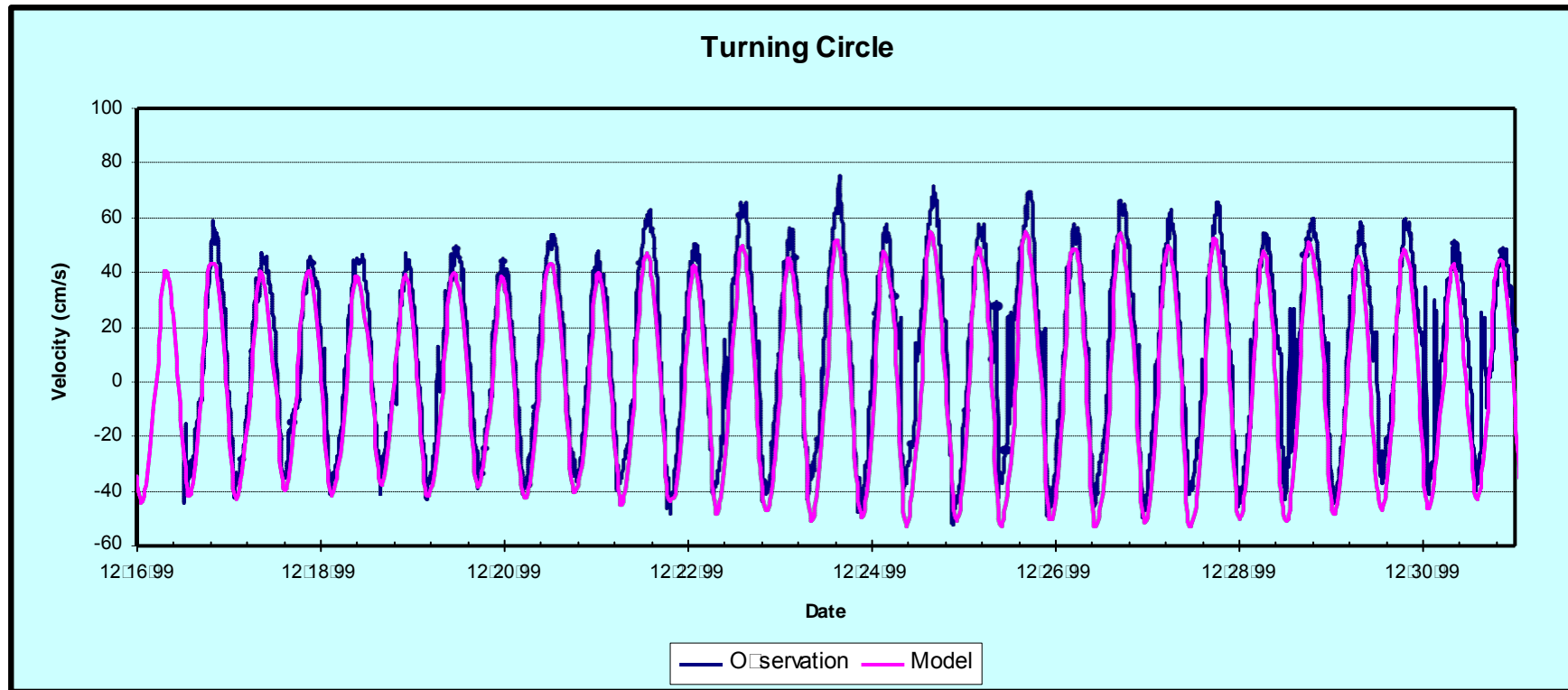


Figure 4.4 The Comparison between Model and Observed Water Current at Turning Circle

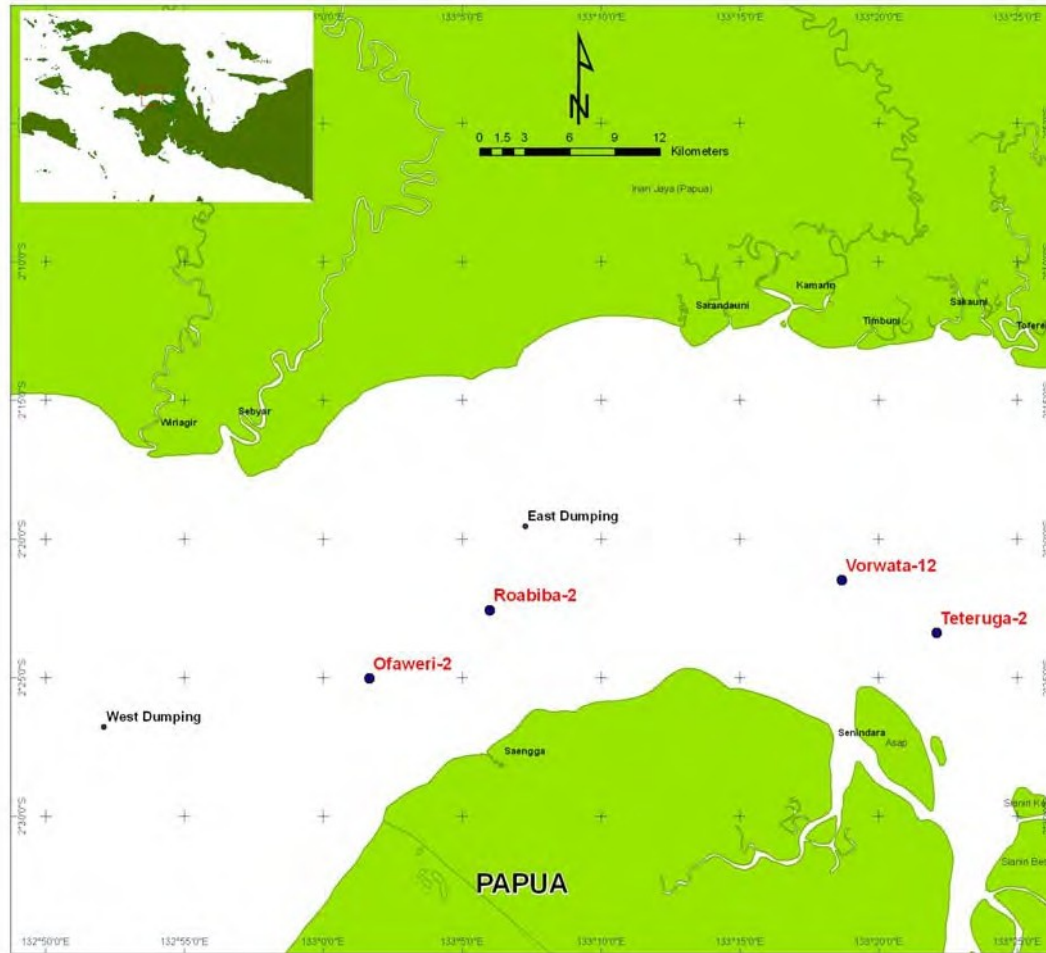


Figure 4.5 The Location of Drilling Activity and Dumping of Mud.

Drilling Cutting and Mud Dispersion Study

Chapter **5**

MODELS RESULT

Modeling Results

LAPI ITB has conducted four stages drilling simulation for four wells (Ofaweri-2, Roabiba-2, Vorwata-12, and Teteruga-2) and two location (East and West) for mud disposal to examine the dispersion of Drilling Cutting and Mud.

5.1 Ofaweri-2 Well

The results of simulation of **Ofaweri-2 Well Drilling Activity** are presented as contour plot in **Appendix A**. The plots present the spatial extent of maximum Total Suspended Solid (TSS) concentration of Drilling Cutting for water depth 5, 10, 20, and 30 meter below surface water.

The results of small scale simulations for each stage of sediment discharge are presented in **Figure A.1 to A.16**. The model indicates that the maximum concentration of Drilling Cutting, for **Stages 1, 2, and 4**, in water depth 5 meter below surface, most of sediment will be dispersed in small region less than 100 meter because the grain size are coarse with high settling velocity. The maximum TSS concentration in radius from 100 m to 900 m of Ofaweri-2 Well Drilling Activity is summarized in **Tables 5.1**. During **Stage 3** Drilling Activity, the grain sizes of sediment are finer. Therefore it will disperse in larger area. Drilling **Stage 1** will produce the highest sediment concentration because the discharge rate is high.

Table 5.2 to 5.4 presents the maximum TSS concentration for water depth 10, 20, and 30 meters respectively. It can be seen that for **Stages 1, 2, and 4**, along radius 300 meter the TSS concentration in water depth 10 meter are higher than that of in water depth 5 meter. It is because of high settling velocity. In contrary, The TSS concentration for **Stage 3** will decrease in deeper water depth layer because of finer grain size.

The maximum TSS concentration is in compliance with the Indonesia Water Quality Criteria (20 ppm) except in radius 100 meter. Therefore the Mixing Zone during drilling activity is 100 meter.

The deposited Drill Cutting is presented in **Figure A.17**. The sediment will be deposited in the area of 18 km from the well. The maximum deposited sediment is less than 2 Kg/m².

Table 5.1 Maximum Concentration at 5 m below surface for Ofaweri-2 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	26	11	13	1.1
300	6	2	9	0.5
500	<1	<1	6	<0.1
700	<1	<1	5	<0.1
900	<1	<1	4	<0.1

Table 5.2 Maximum Concentration at 10 m below surface for Ofaweri-2 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	19	7.0	4.4	0.80
300	17	6.5	3.7	0.50
500	13	6.0	3.5	0.50
700	10	5.5	3.5	0.50
900	10	3.5	3.4	0.40

Table 5.3 Maximum Concentration at 20 m below surface for Ofaweri-2 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	9	3.5	2.2	0.55
300	8	3.5	1.8	0.40
500	8	3.0	1.4	0.35
700	7	2.5	1.4	0.30
900	6	2.5	1.4	0.25

Table 5.4 Maximum Concentration at 30 m below surface for Ofaweri-2 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	3	1.4	0.4	0.14
300	4	1.6	0.4	0.24
500	5	2.0	0.6	0.28
700	6	2.0	0.8	0.32
900	6	2.0	1.0	0.32

5.2 Roabiba-2 Well

The results of simulation of Roabiba-2 Well Drilling Activity are presented as contour plot in **Appendix B**. The plots present the spatial extent of maximum concentration of Drill Cutting for water depth 5, 10, 20, and 30 meter below surface water.

The results of small scale simulations for each stage of sediment discharge are presented in **Figure B.1** to **B.16**. The model indicates that the maximum concentration of Drilling Cutting, for **Stages 1, 2, and 4**, in water depth 5 meter below surface, most of sediment will be dispersed in small region less than 100 meter because the grain size are coarse with high settling velocity. The maximum TSS concentration in radius from 100 m to 900 m of Roabiba-2 Well Drilling Activity is summarized in **Tables 5.5**. During **Stage 3** Drilling Activity, the grain sizes of sediment are finer. Therefore it will disperse in larger area. Drilling **Stage 1** will produce the highest sediment concentration because the discharge rate is high.

Table 5.6 to **5.8** presents the maximum TSS concentration for water depth 10, 20, and 30 meters respectively. It can be seen that for **Stages 1, 2, and 4**, along radius 300 meter the TSS concentration in water depth 10 meter are higher than that of in water depth 5 meter. It is because of high settling velocity. In contrary, The TSS concentration for **Stage 3** will decrease in deeper water depth layer because of finer grain size.

The maximum TSS concentration is in compliance with the Indonesia Water Quality Criteria (20 ppm) except in radius 100 meter. Therefore the Mixing Zone during drilling activity is 100 meter.

The deposited Drill Cutting is presented in **Figure B.17**. The sediment will be deposited in the area of 20 km from the well. The maximum deposited of sediment is less than 2 Kg/m².

Table 5.5 Maximum Concentration at 5 m below surface for Roabiba-2 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	28	9	12	0.8
300	12	5	9	0.4
500	<4	<2	7	<0.2
700	<4	<2	5	<0.2
900	<4	<2	3	<0.2

Table 5.6 Maximum Concentration at 10 m below surface for Roabiba-2 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	16	6.0	4.0	0.65
300	14	6.0	4.0	0.55
500	14	5.5	4.0	0.50
700	12	5.0	3.5	0.45
900	11	3.5	3.0	0.30

Table 5.7 Maximum Concentration at 20 m below surface for Roabiba-2 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	2	1.5	1.2	0.20
300	9	3.5	1.2	0.35
500	8	3.0	1.2	0.30
700	9	2.5	1.0	0.30
900	6	2.0	1.0	0.30

Table 5.8 Maximum Concentration at 30 m below surface for Roabiba-2 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	<1	<0.6	<0.4	<0.06
300	<1	<0.6	<0.4	<0.06
500	<1	<0.6	<0.4	<0.06
700	1	<0.6	<0.4	<0.06
900	1	0.8	<0.4	<0.06

5.3 Vorwata-12 Well

The results of simulation of Vorwata-12 Well Drilling Activity are presented as contour plot in **Appendix C**. The plots present the spatial extent of maximum concentration of Drill Cutting for water depth 5, 10, 20, and 30 meter below surface water.

The results of small scale simulations for each stage of sediment discharge are presented in **Figure C.1 to C.16**. The model indicates that the maximum concentration of Drilling Cutting, for **Stages 1, 2, and 4**, in water depth 5 meter below surface, most of sediment will be dispersed in small region less than 100 meter because the grain size are coarse with high settling velocity. The maximum TSS concentration in radius from 100 m to 900 m of Vorwata-12 Well Drilling Activity is summarized in **Tables 5.9**. During **Stage 3** Drilling Activity, the grain sizes of sediment are finer. Therefore it will disperse in larger area. Drilling **Stage 1** will produce the highest sediment concentration because the discharge rate is high.

Table 5.10 to 5.12 presents the maximum TSS concentration for water depth 10, 20, and 30 meters respectively. It can be seen that for **Stages 1, 2, and 4**, along radius 300 meter the TSS concentration in water depth 10 meter are higher than that of in water depth 5 meter. It is because of high settling velocity. In contrary, The TSS concentration for **Stage 3** will decrease in deeper water depth layer because of finer grain size.

The maximum TSS concentration is in compliance with the Indonesia Water Quality Criteria (20 ppm) except in radius 100 meter. Therefore the Mixing Zone during drilling activity is 100 meter.

The deposited Drill Cutting is presented in **Figure C.17**. The sediment will be deposited in the area of 16 km from the well. The maximum deposited of sediment is less than 1.5 Kg/m².

Table 5.9 Maximum Concentration at 5 m below surface for Vorwata-12 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	28	10	12	0.9
300	10	2	7	0.4
500	<2	<1	5	<0.2
700	<2	<1	4	<0.2
900	<2	<1	3	<0.2

Table 5.10 Maximum Concentration at 10 m below surface for Vorwata-12 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	16	5.5	3.5	6.5
300	15	6.0	3.5	6.5
500	15	6.0	4.0	6.0
700	13	5.0	3.5	5.0
900	11	3.5	4.0	4.0

Table 5.11 Maximum Concentration at 20 m below surface for Vorwata-12 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	9	3.5	1.6	0.45
300	6	3.0	1.6	0.30
500	9	3.0	1.6	0.40
700	7	3.0	1.6	0.30
900	9	3.5	1.6	0.30

Table 5.12 Maximum Concentration at 30 m below surface for Vorwata-12 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	7.5	2.5	1.6	0.40
300	5.5	2.5	1.2	0.30
500	6.5	2.9	1.0	0.20
700	6.0	2.1	1.0	0.25
900	5.0	2.1	1.0	0.25

5.4 Teteruga-2 Well

The results of simulation of Vorwata-12 Well Drilling Activity are presented as contour plot in **Appendix D**. The plots present the spatial extent of maximum concentration of Drill Cutting for water depth 5, 10, 20, and 30 meter below surface water.

The results of small scale simulations for each stage of sediment discharge are presented in **Figure D.1** to **D.16**. The model indicates that the maximum concentration of Drilling

Cutting, for **Stages 1, 2, and 4**, in water depth 5 meter below surface, most of sediment will be dispersed in small region less than 100 meter because the grain size are coarse with high settling velocity. The maximum TSS concentration in radius from 100 m to 900 m of Teteruga-2 Well Drilling Activity is summarized in **Tables 5.13**. During **Stage 3** Drilling Activity, the grain sizes of sediment are finer. Therefore it will disperse in larger area. Drilling **Stage 1** will produce the highest sediment concentration because the discharge rate is high.

Table 5.14 to **5.16** presents the maximum TSS concentration for water depth 10, 20, and 30 meters respectively. It can be seen that for **Stages 1, 2, and 4**, along radius 300 meter the TSS concentration in water depth 10 meter are higher than that of in water depth 5 meter. It is because of high settling velocity. In contrary, The TSS concentration for **Stage 3** will decrease in deeper water depth layer because of finer grain size.

The maximum TSS concentration is in compliance with the Indonesia Water Quality Criteria (20 ppm) except in radius 100 meter. Therefore the Mixing Zone during drilling activity is 100 meter.

The deposited Drill Cutting is presented in **Figure D.17**. The sediment will be deposited in the area of 15 km from the well. The maximum deposited of sediment is less than 1.5 Kg/m².

Table 5.13 Maximum Concentration at 5 m below surface for Teteruga-2 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	30	10	14	1.0
300	8	3	9	0.3
500	<3	<2	6	<0.2
700	<3	<2	4	<0.2
900	<3	<2	3	<0.2

Table 5.14 Maximum Concentration at 10 m below surface for Teteruga-2 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	16	5.5	4.0	0.65
300	15	6.0	3.5	0.55
500	12	5.0	3.5	0.50
700	9	2.5	3.5	0.30
900	3	1.0	3.5	0.15

Table 5.15 Maximum Concentration at 20 m below surface for Teteruga-2 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	9	3.4	2.0	0.40
300	7	3.4	2.4	0.30
500	8	3.4	1.8	0.25
700	7	3.4	2.0	0.30
900	7	2.8	2.0	0.25

Table 5.16 Maximum Concentration at 30 m below surface for Teteruga-2 Well

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4
100	7.0	3.4	1.2	0.32
300	5.5	2.2	0.8	0.26
500	5.0	2.8	1.0	0.22
700	5.0	2.0	1.2	0.20
900	7.0	2.6	1.2	0.20

5.5 Mud Dumping at East Location

The results of simulation of **Mud Dispersion at East Dumping Location** are presented as contour plot in **Appendix I**. The plots present the spatial extent of maximum Total Suspended Solid (TSS) concentration of Drilling Mud for water depth 5, 10, 20, and 30 meter below surface water.

The results of small scale simulations of sediment discharge are presented in **Figure I.1** to **I.4**. The model indicates that the maximum concentration of Drilling Mud in water depth 5 meter below surface (release layer) will be exceed the Indonesia Water Quality Criteria (20 ppm), most of sediment will be dispersed in large area because the grain size are fine with low settling velocity. The maximum TSS concentration in radius from 0.5 Km to 6 Km of East Dumping location Activity is summarized in **Tables 5.17**.

The maximum TSS concentration is in compliance with the Indonesia Water Quality Criteria (20 ppm) except in radius 6 Km in release water depth layer. Therefore the Mixing Zone during drilling activity is 6 Km.

The deposited Drilling Mud is presented in **Figure I.15**. The sediment will be deposited in the area of 1.8 km from the dumping location. The maximum deposited sediment is less than 0.05 Kg/m².

Table 5.17 Maximum Concentration for East Dumping Location

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	5 m under surface	10 m under surface	20 m under surface	30 m under surface
500	45	9	3.5	3.5
1,000	70	9	3.5	3.5
2,000	40	11	3.5	3.5
3,000	40	15	4.0	4.5
4,000	40	12	3.5	4.0
5,000	35	14	5.0	5.5
6,000	30	12	3.5	5.0

5.6 Mud Dumping at West Location

The results of simulation of **Mud Dispersion at West Dumping Location** are presented as contour plot in **Appendix J**. The plots present the spatial extent of maximum Total Suspended Solid (TSS) concentration of Drilling Mud for water depth 5, 10, 20, and 30 meter below surface water.

The results of small scale simulations of sediment discharge are presented in **Figure J.1** to **J.4**. The model indicates that the maximum concentration of Drilling Mud in water depth 5 meter below surface (release layer) will be exceed the Indonesia Water Quality Criteria (20 ppm), most of sediment will be dispersed in large area because the grain size are fine with low settling velocity. The maximum TSS concentration in radius from 0.5 Km to 6 Km of West Dumping location Activity is summarized in **Tables 5.18**.

The maximum TSS concentration is in compliance with the Indonesia Water Quality Criteria (20 ppm) except in radius 6 Km in release water depth layer. Therefore the Mixing Zone during drilling activity is 6 Km.

The deposited Drilling Mud is presented in **Figure I.15**. The sediment will be deposited in the area of 9 km from the dumping location. The maximum deposited sediment is less than 0.14 Kg/m².

Table 5.18 Maximum Concentration for West Dumping Location

Distance from Discharge (m)	Concentration (ppm)			
	5 m under surface	10 m under surface	20 m under surface	30 m under surface
500	75	14	6.5	6.5
1,000	45	13	6.0	5.0
2,000	45	16	5.5	4.0
3,000	35	17	5.0	3.5
4,000	35	13	5.5	4.5
5,000	30	11	5.5	5.5
6,000	25	10	5.0	4.0

Drilling Cutting and Mud Dispersion Study

Chapter **6**

CONCLUSION

Conclusion

The key findings from this study are summarized in the following tables:

Drilling Cutting

Table 6.1 Maximum concentration at radius 500 m at Ofaweri-2 Well

Layer Depth (below surface)	Concentration			
	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
5 m	<1	<1	6	<0.1
10 m	13	6.0	3.5	0.50
20 m	8	3.0	1.4	0.35
30 m	5	2.0	0.6	0.28

Table 6.2 Maximum concentration at radius 500 m at Roabiba-2 Well

Layer Depth (below surface)	Concentration			
	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
5 m	<4	<2	7	<0.2
10 m	14	5.5	4.0	0.50
20 m	8	3.0	1.2	0.30
30 m	<1	<0.6	<0.4	<0.06

Table 6.3 Maximum concentration at radius 500 m at Vorwata-12 Well

Layer Depth (below surface)	Concentration			
	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
5 m	<2	<1	5	<0.2
10 m	15	6.0	4.0	6.0
20 m	9	3.0	1.6	0.40
30 m	6.5	2.9	1.0	0.20

Table 6.4 Maximum concentration at radius 500 m at Teteruga-2 Well

Layer Depth (below surface)	Concentration			
	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
5 m	<3	<2	6	<0.2
10 m	15	6.0	3.5	0.55
20 m	8	3.4	1.8	0.25
30 m	5.0	2.8	1.0	0.22

Drilling Mud

Table 6.5 Maximum concentration at radius 500 m

Layer Depth (below surface)	Concentration	
	East Dumping	West Dumping
5 m	45.0	75.0
10 m	9.0	14.0
20 m	3.5	6.5
30 m	3.5	6.5

Drilling Cutting and Mud Dispersion Study

REFERENCE

Reference

Leendertse, J.J., 1967. "Aspects of Computational Model for Long Period Water-Wave Propagation". Report RM-5294-PR, Rand Corp., Santa Monica, CA, USA.

Muin, Muslim, and Spaulding, Malcolm L., 1997. "Application of Three-Dimensional Boundary-Fitted Circulation Model in Providence River". *J. Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 123, No.1

Muin, Muslim, and Spaulding, Malcolm L., 1997. "Three-Dimensional Boundary-fitted Circulation Model". *J. Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 1

Muin, Muslim, and Spaulding, Malcolm L., 1996. "Two-dimensional boundary-fitted circulation model in spherical coordinates". *J. Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 9

Muin, Muslim, 1993. "A Three-Dimensional Boundary-Fitted Circulation Model in Spherical Coordinates". *Ph.D. Dissertation*, University of Rhode Island, Narragansett, Rhode Island, USA.

PT. ALS Indonesia, 2011. "Bintuni Area Environmental Monitoring Analysis". BP Berau Ltd.

Spaulding, M.L, Swanson, J.C., and Turner, C., 1990. "The New Tide and Tidal Current of Narragansett Bay". Marine Tech. Report, University of Rhode Island. Kingston, Rhode Island, USA.

Spaulding, Malcolm L., 1984. "A vertically-averaged circulation model using boundary fitted coordinates". *J. Physical Oceanography*, 14, 973-982.

Thomann R. and Mueller J, 1987. "Principles of Water Quality Modeling and Control". Harper, New York.

Drilling Cutting and Mud Dispersion Study

Appendix **A**

**Simulation Result of Cutting at
Ofaweri-2 Well**

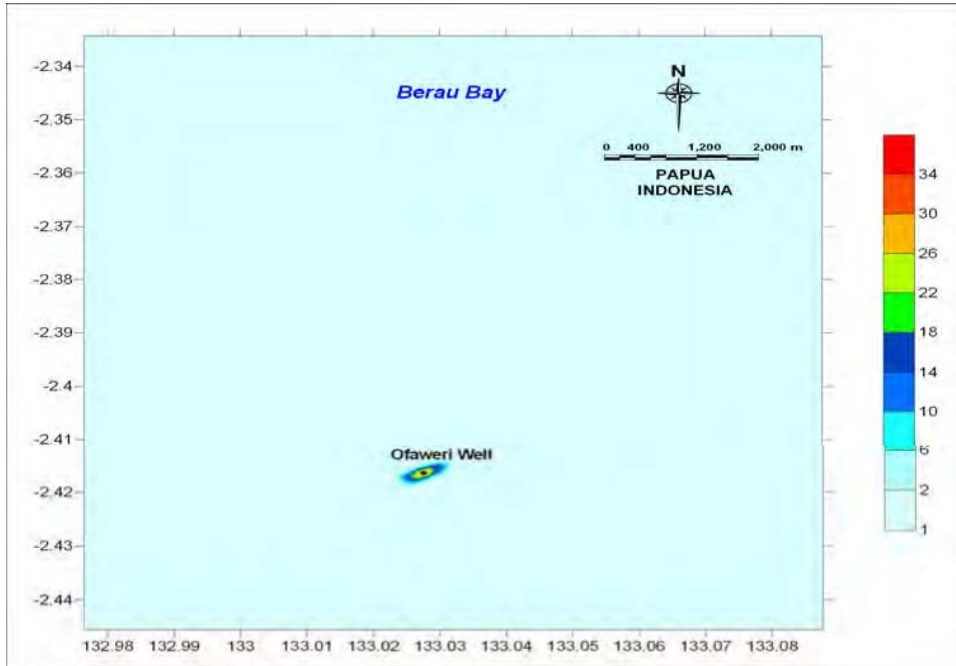


Figure A.1 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 1).

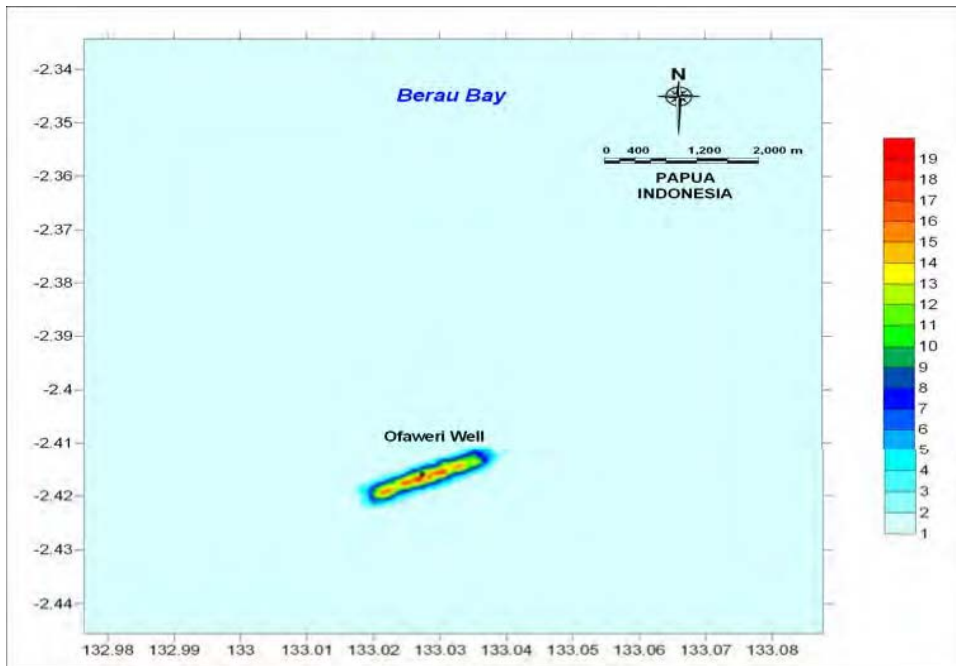


Figure A.2 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 1).

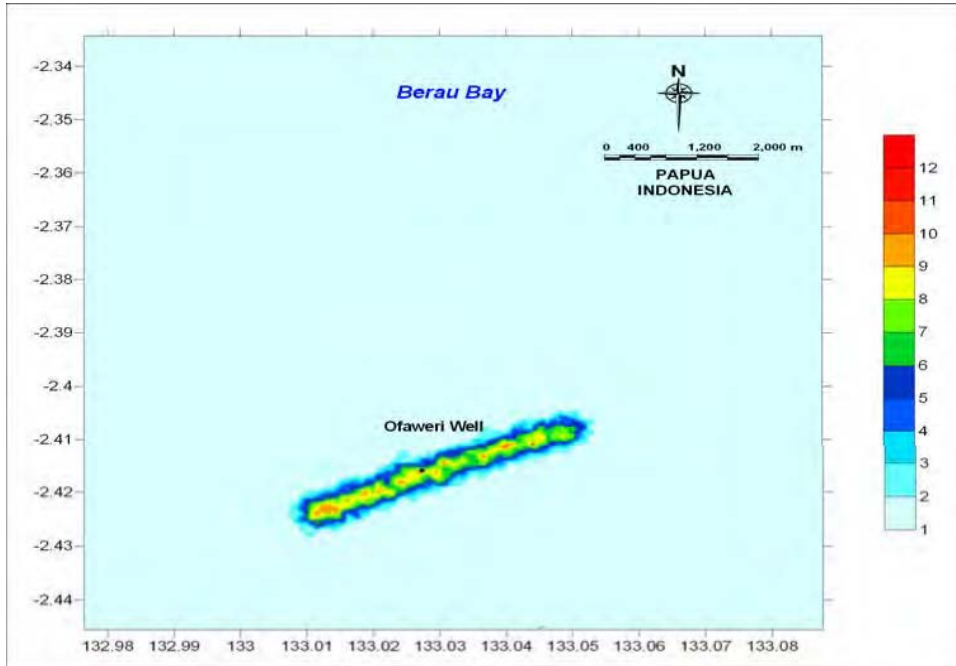


Figure A.3 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 1).

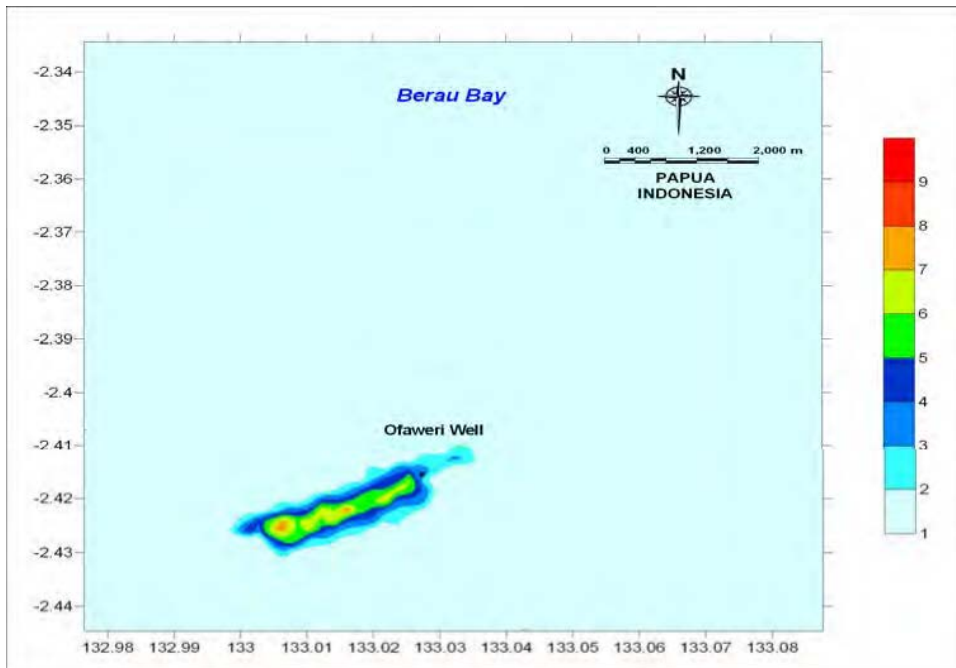


Figure A.4 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 1).

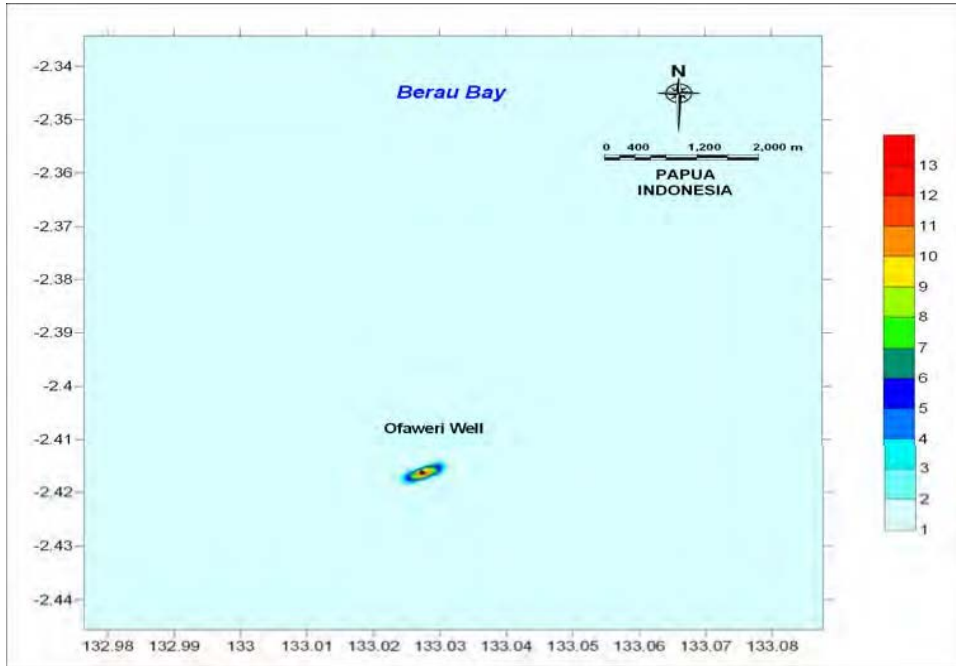


Figure A.5 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 2).

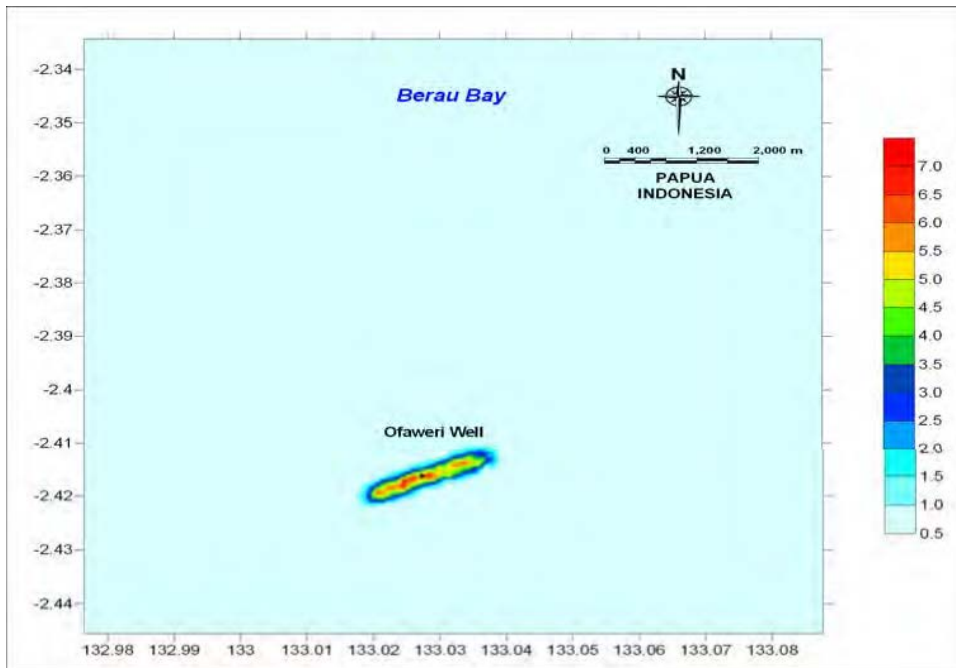


Figure A.6 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 2).

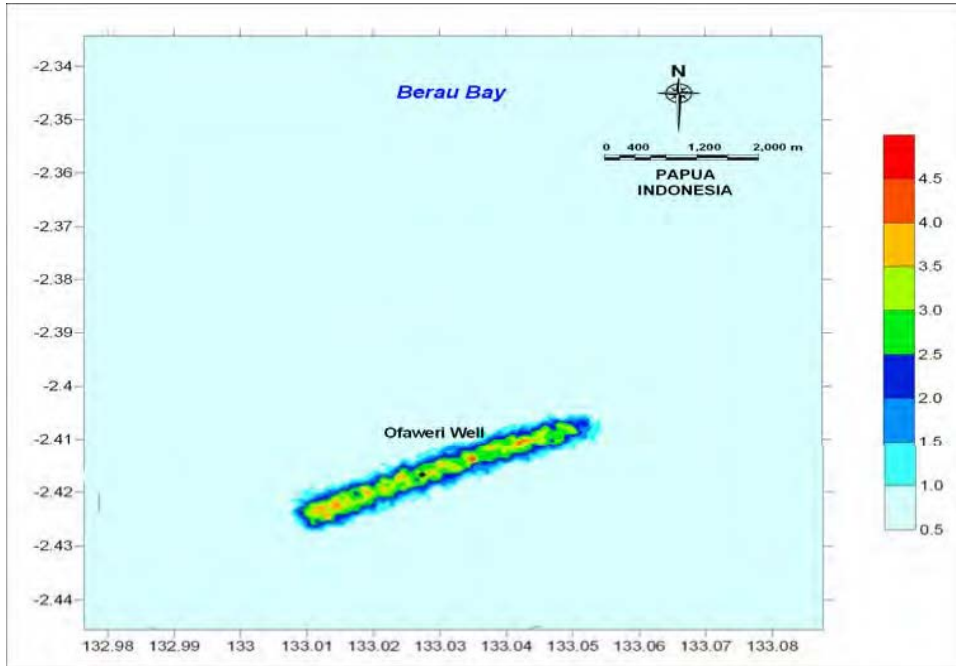


Figure A.7 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 2).

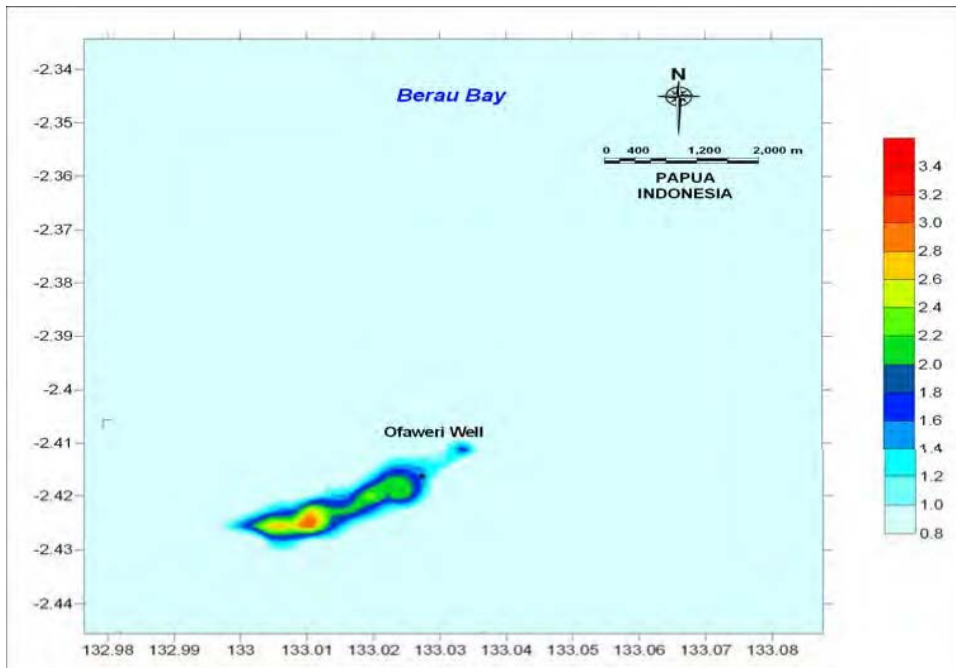


Figure A.8 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 2).

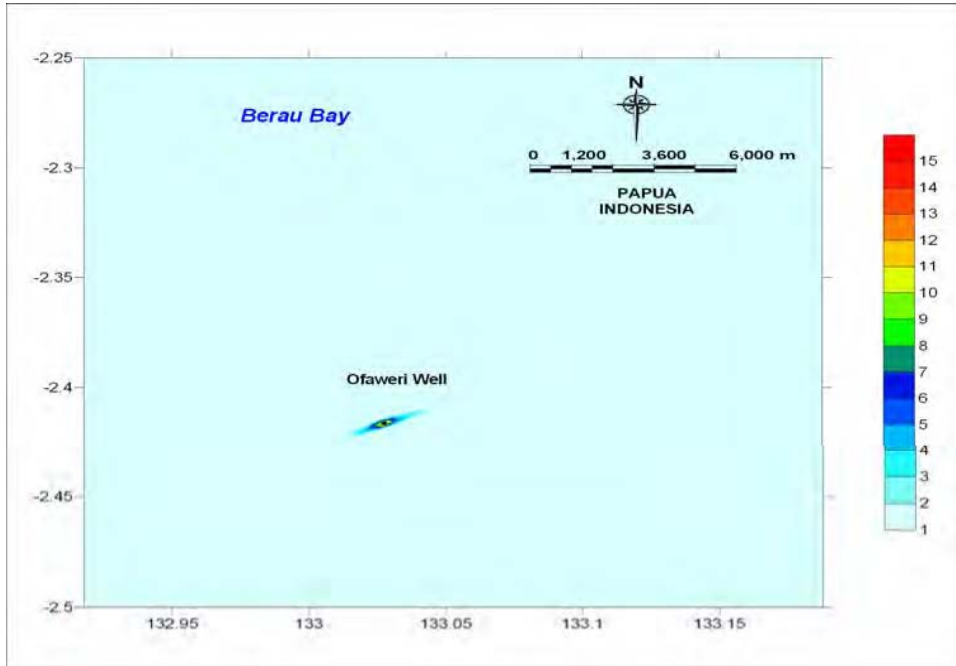


Figure A.9 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 3).

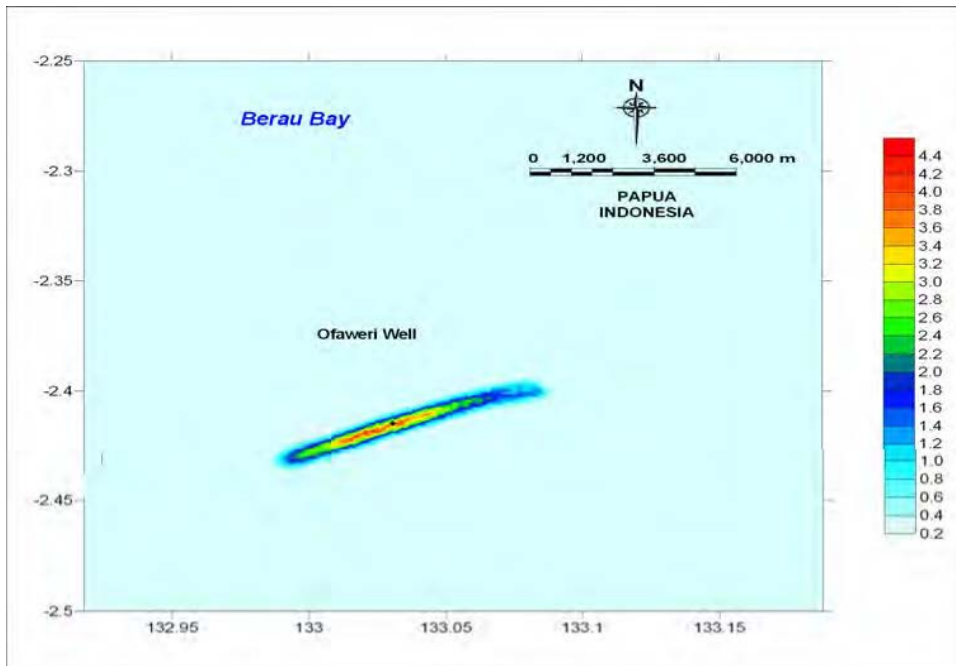


Figure A.10 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 3).

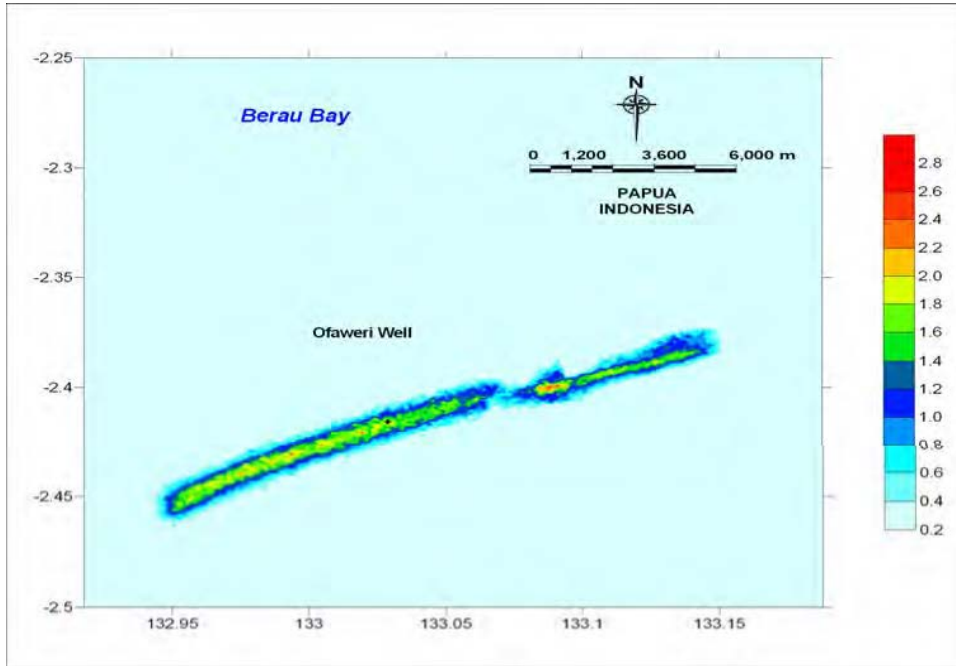


Figure A.11 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 3).

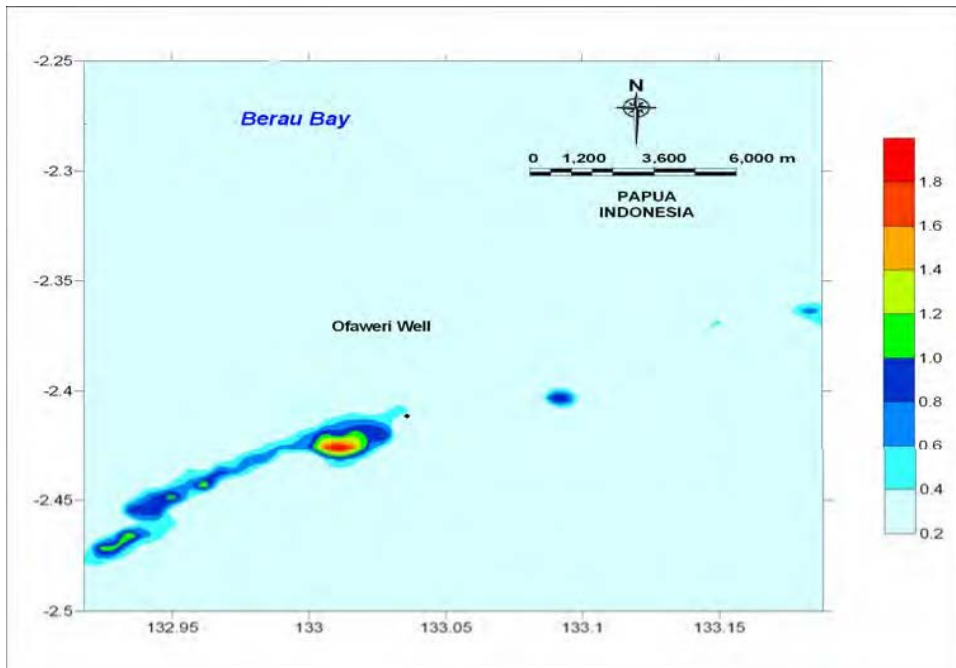


Figure A.12 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 3).

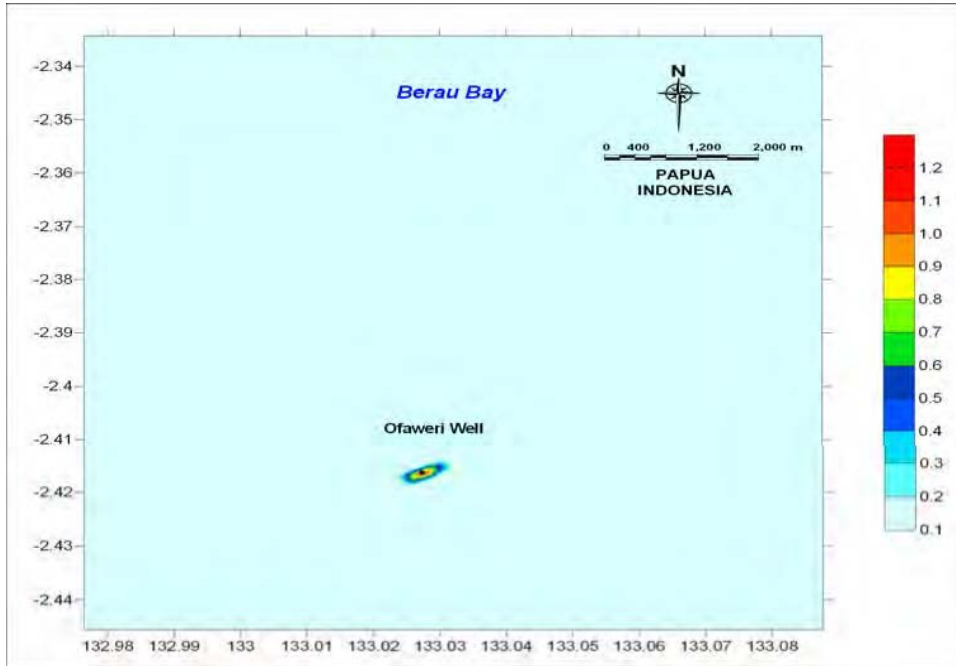


Figure A.13 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 4).

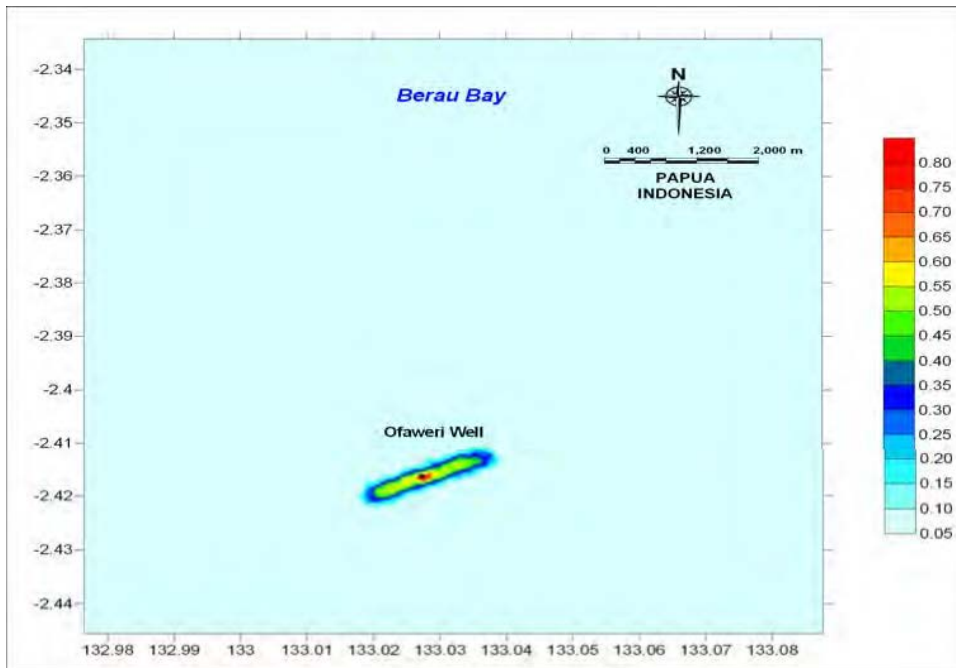


Figure A.14 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 4).

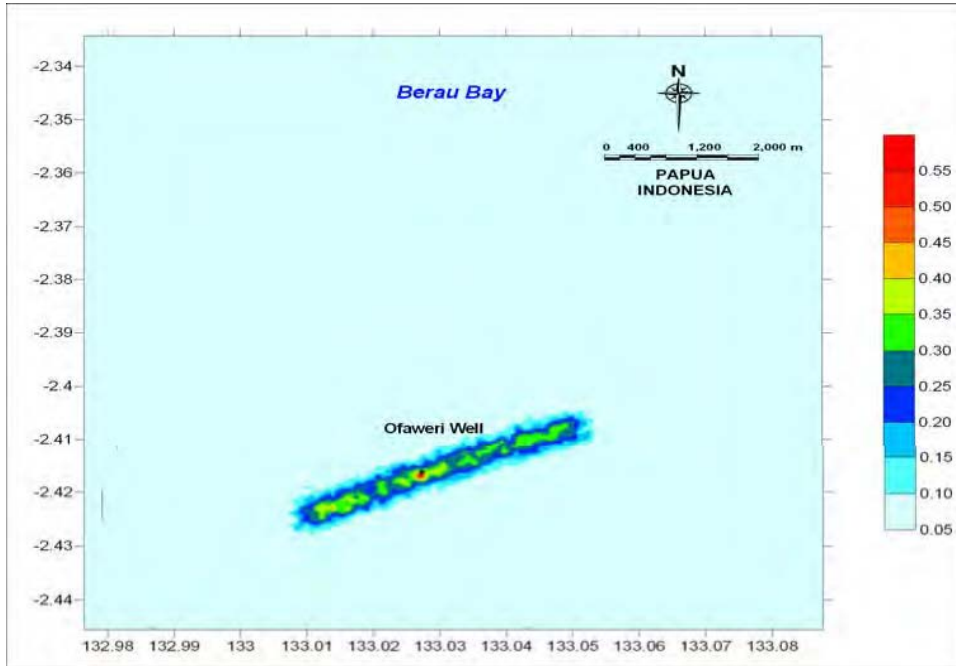


Figure A.15 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 4).

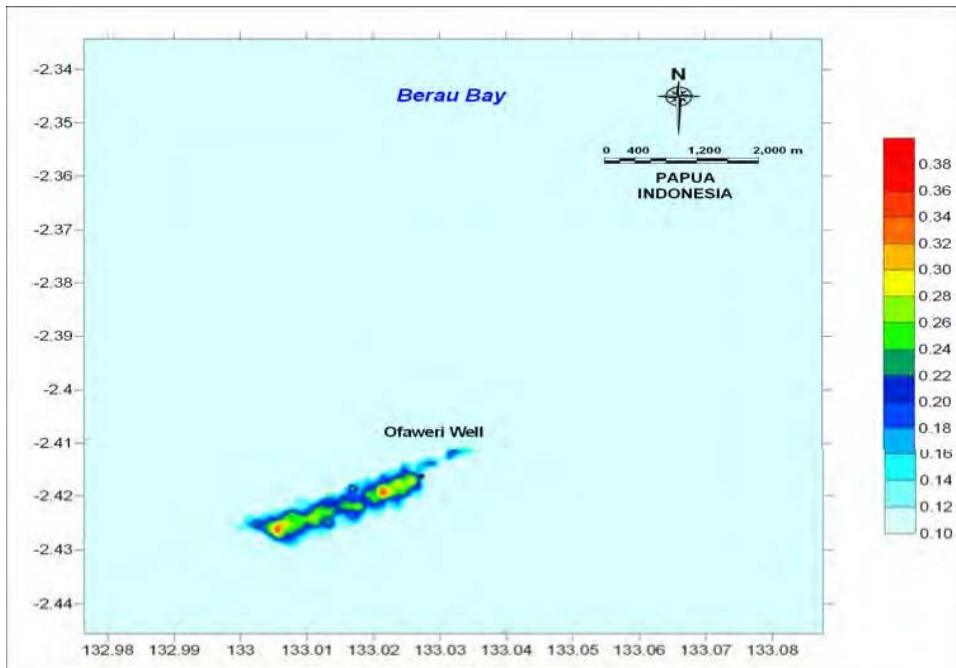


Figure A.16 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 4).

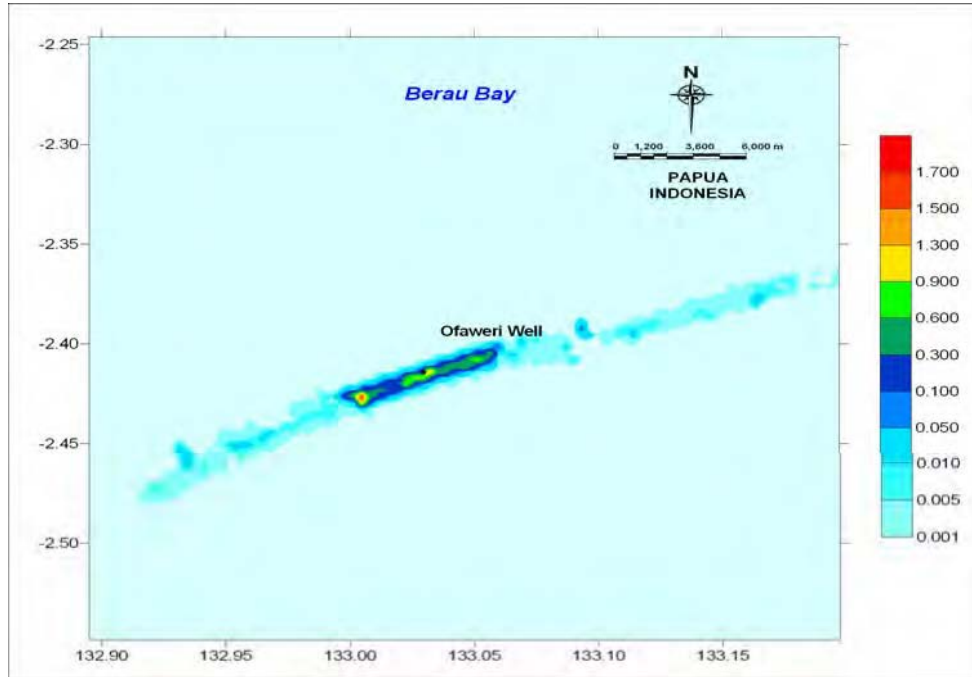


Figure A.17 Spatial extent of **Cutting Sediment Deposition (Kg/m²)** at Ofaweri-2 Well.

Drilling Cutting and Mud Dispersion Study

Appendix **B**

**Simulation Result of Cutting at
Roabiba-2 Well**

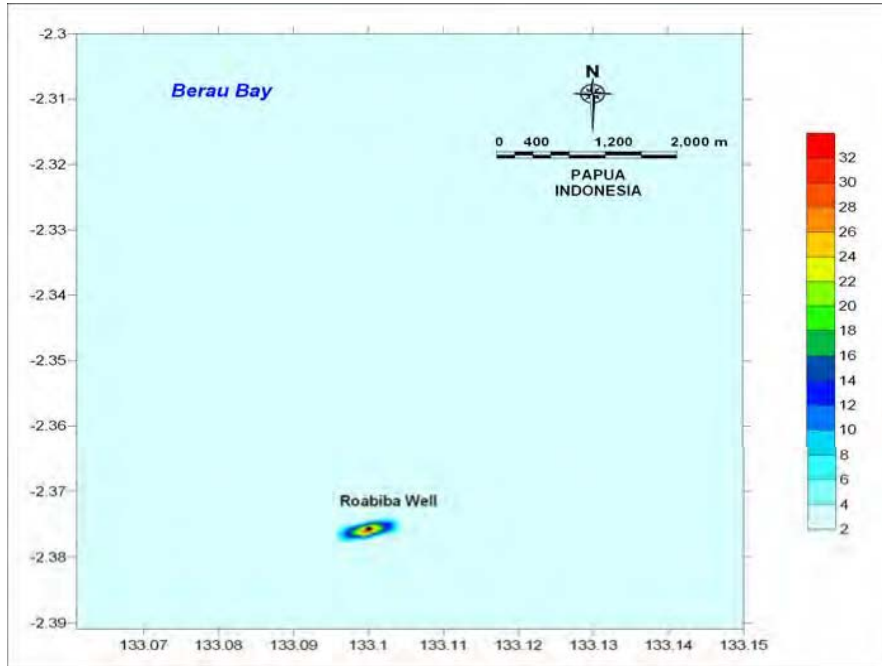


Figure B.1 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 1).

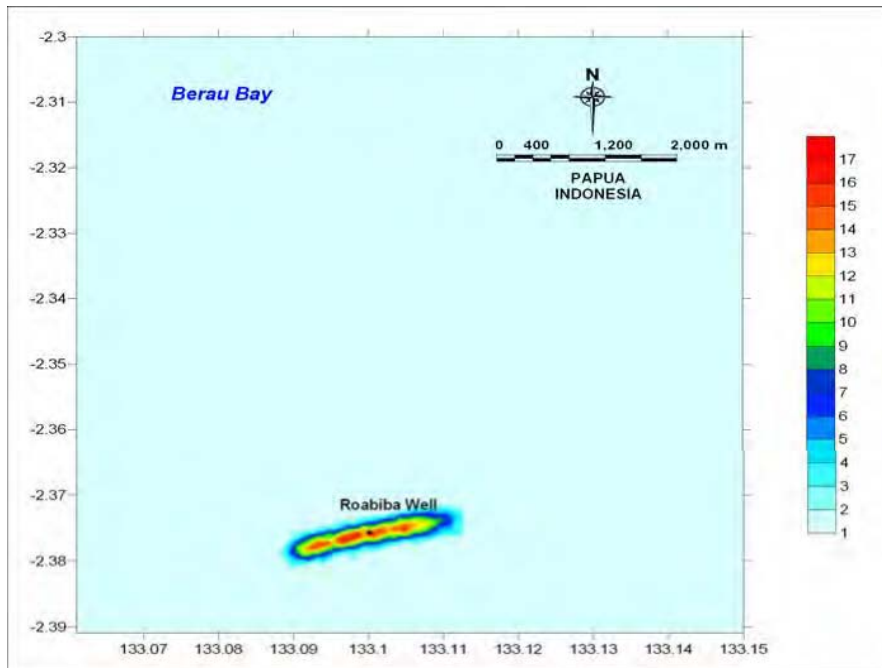


Figure B.2 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 1).

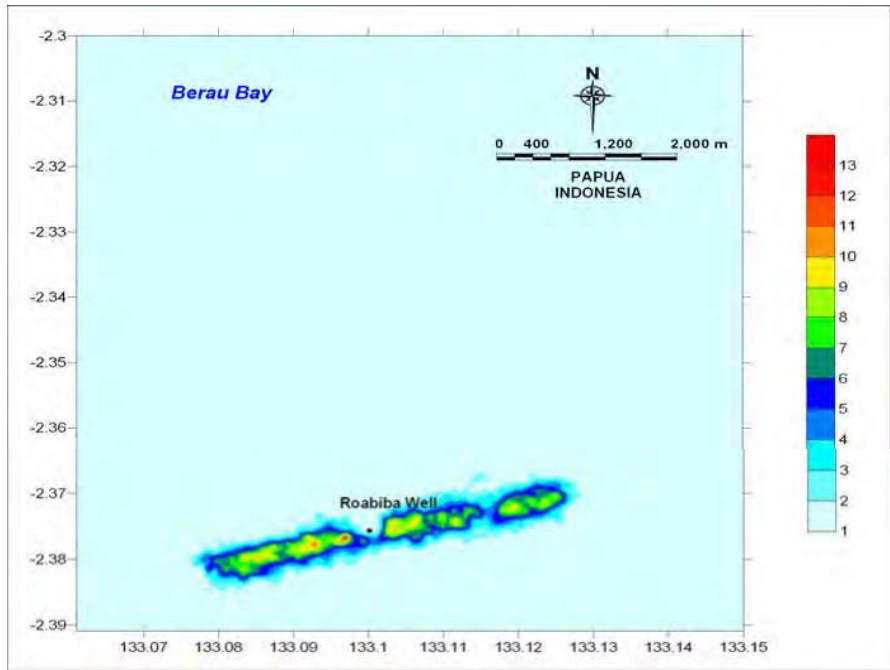


Figure B.3 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 1).

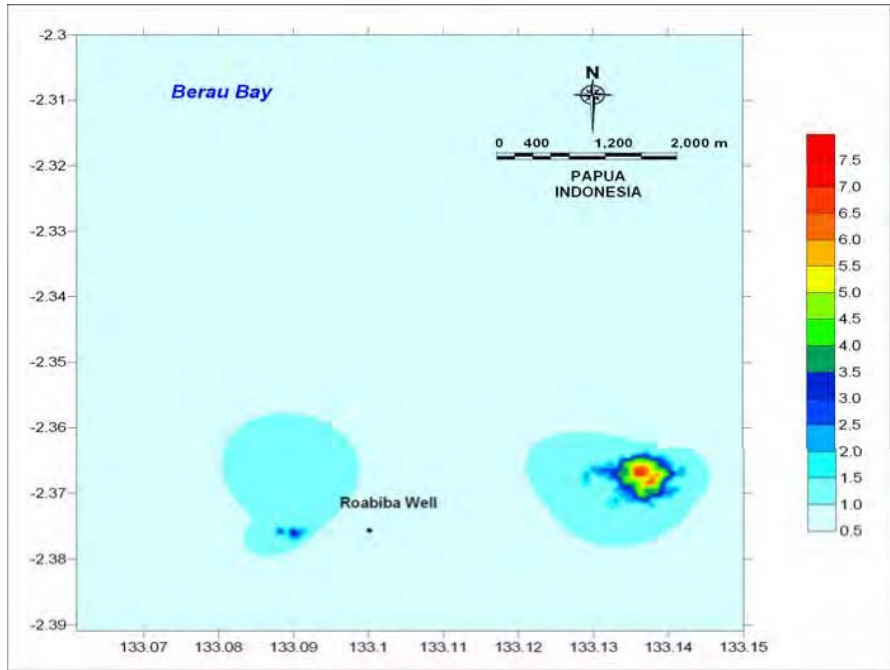


Figure B.4 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 1).

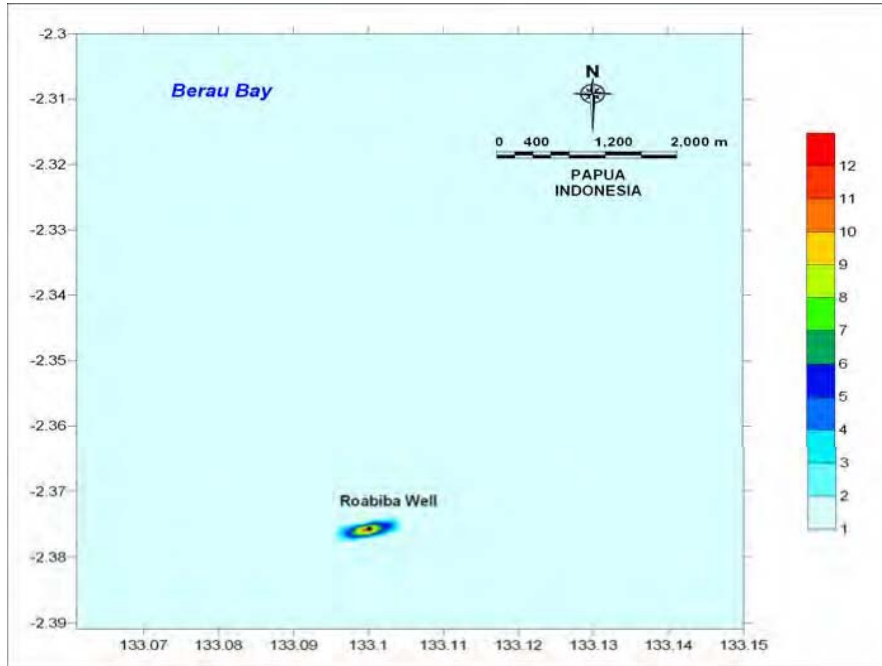


Figure B.5 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 2).

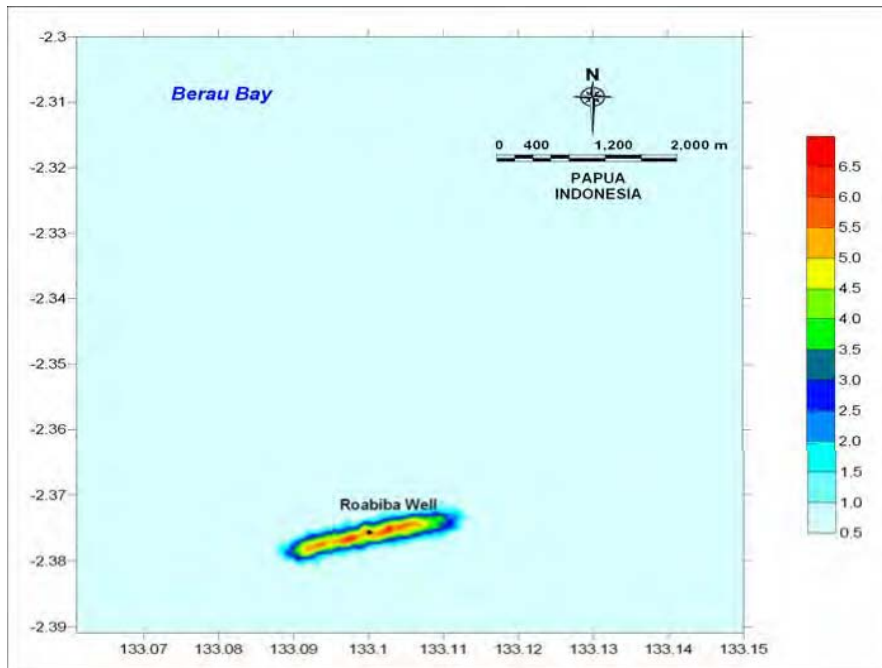


Figure B.6 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 2).

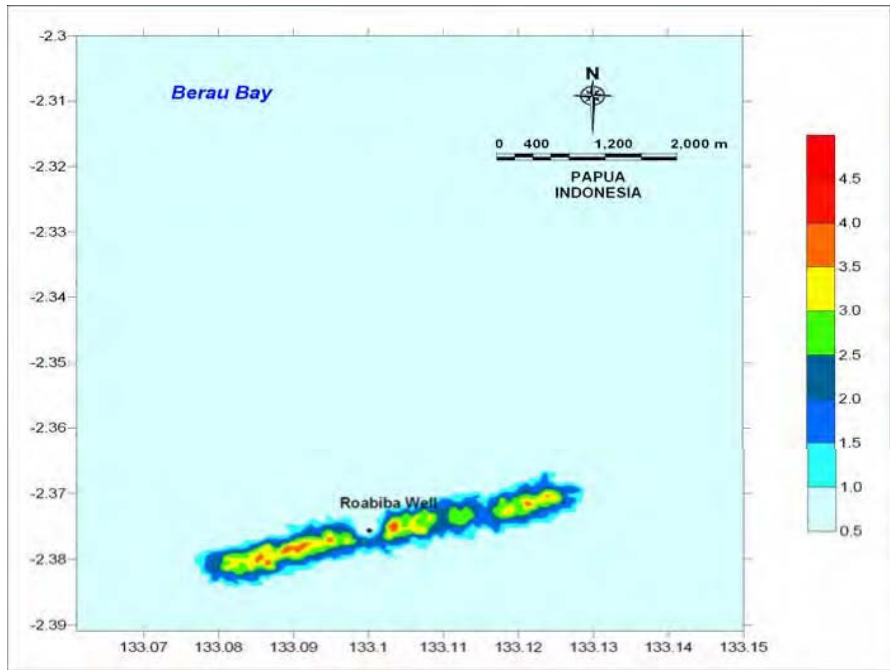


Figure B.7 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 2).

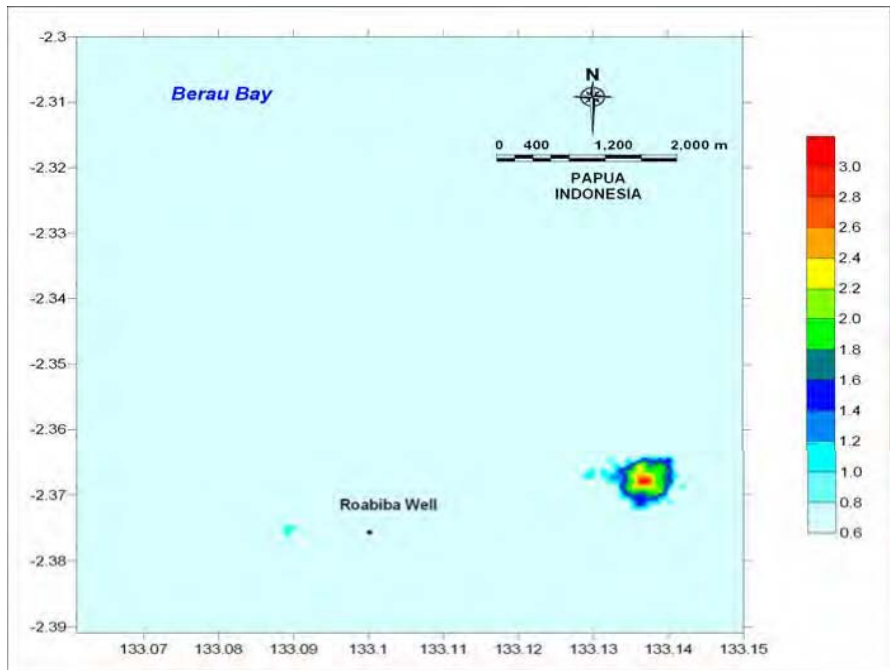


Figure B.8 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 2).

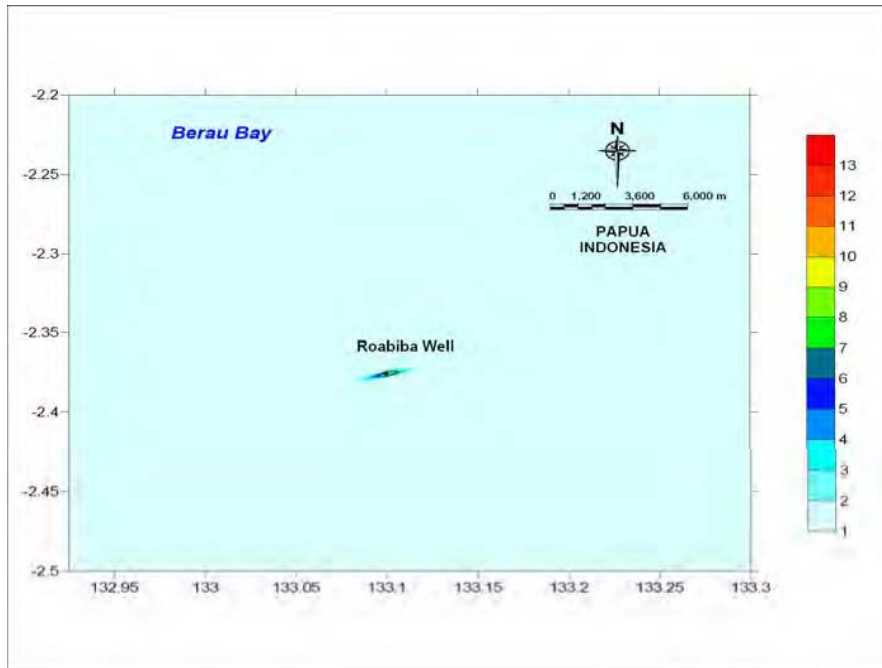


Figure B.9 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 3).

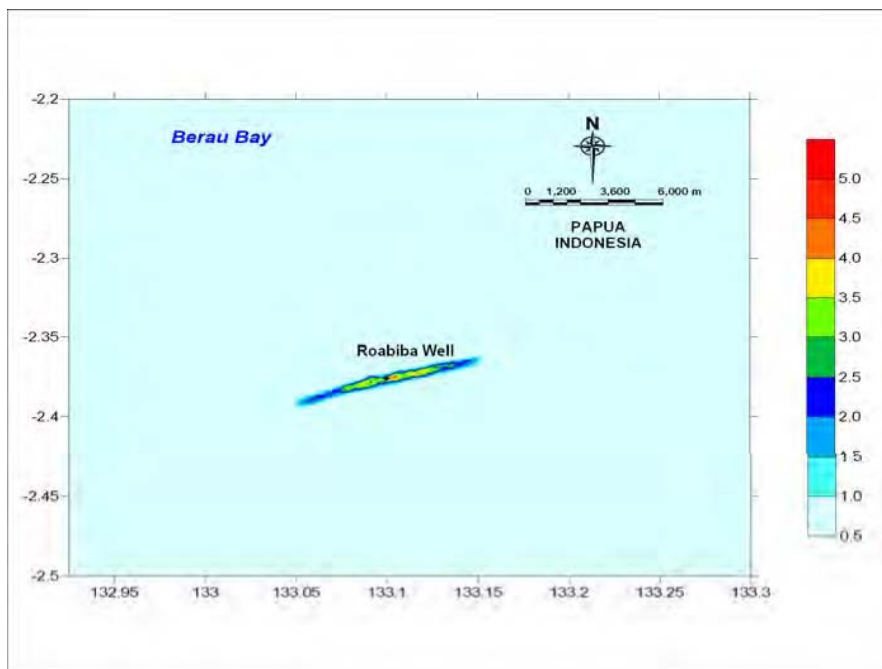


Figure B.10 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 3).

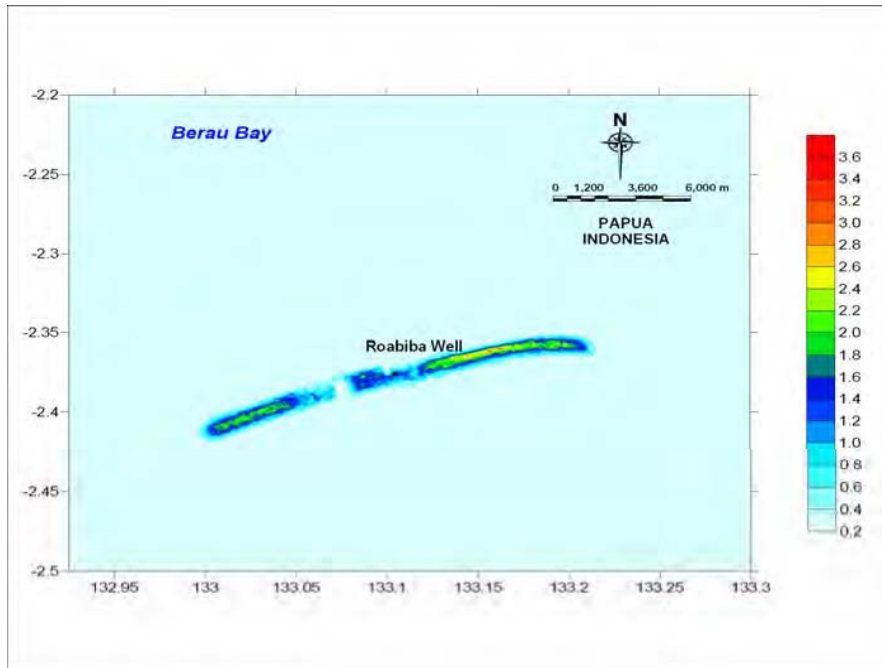


Figure B.11 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 3).

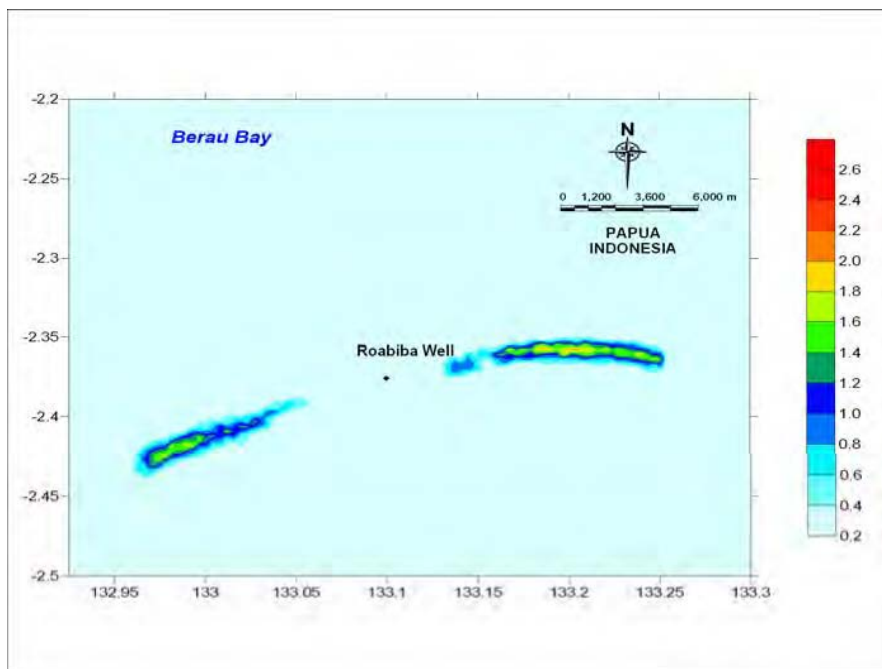


Figure B.12 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 3).

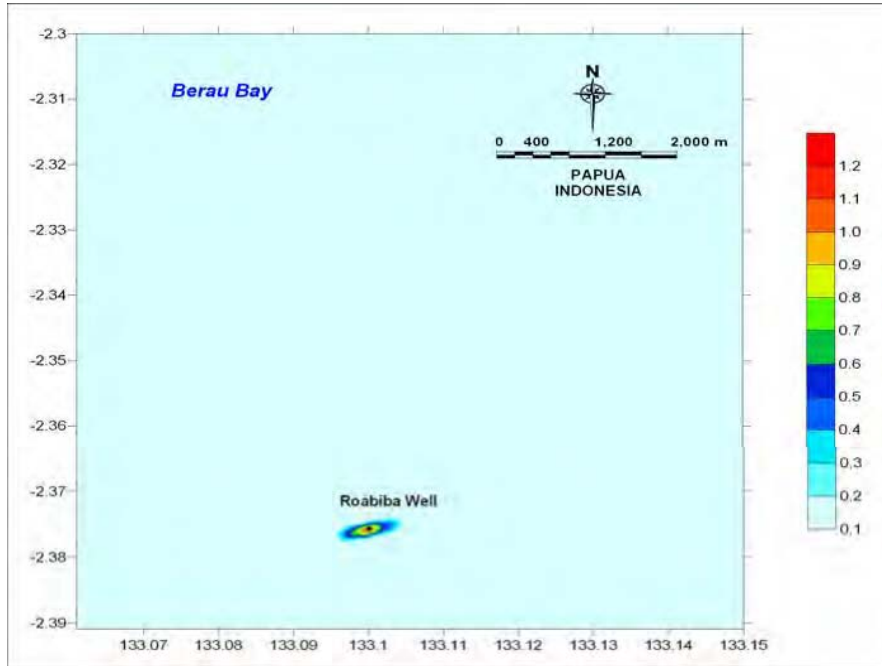


Figure B.13 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 4).

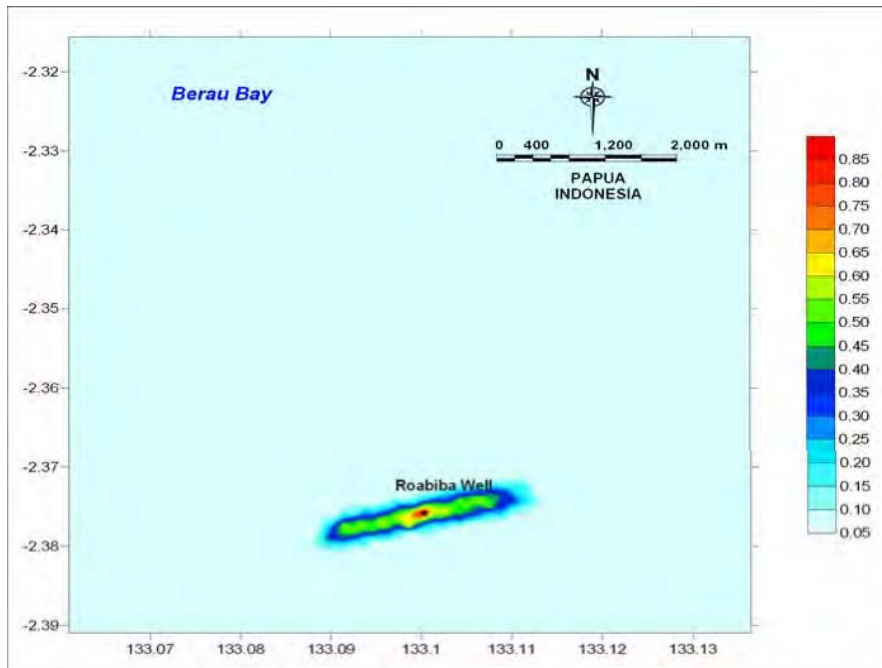


Figure B.14 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 4).

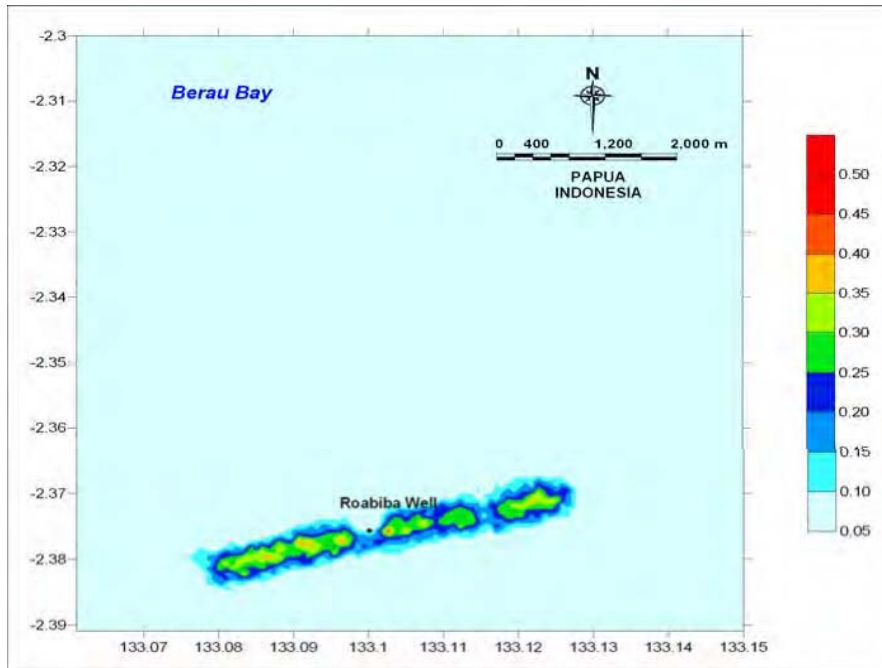


Figure B.15 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 4).

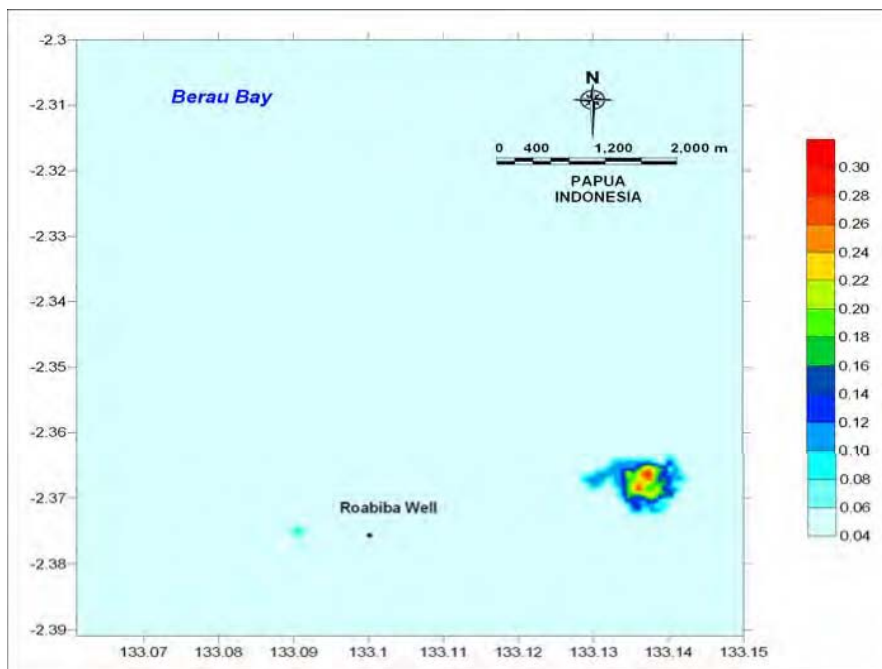


Figure B.16 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 4).

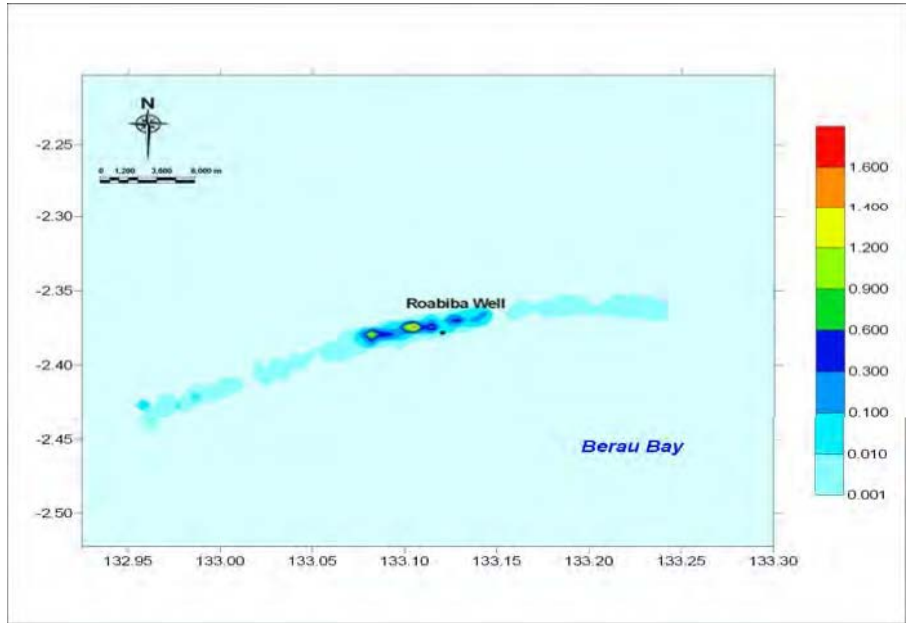


Figure B.17 Spatial extent of Cutting Sediment Deposition (Kg m^{-2}) at Roabiba-2 Well.

Drilling Cutting and Mud Dispersion Study

Appendix **C**

**Simulation Result of Cutting at
Vorwata-12 Well**

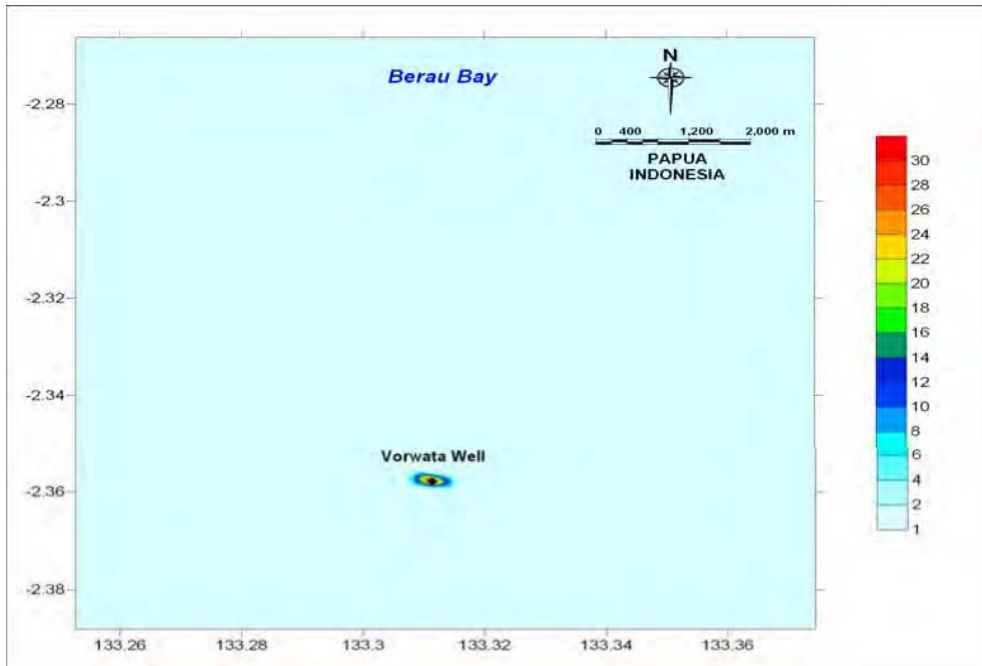


Figure C.1 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 1).

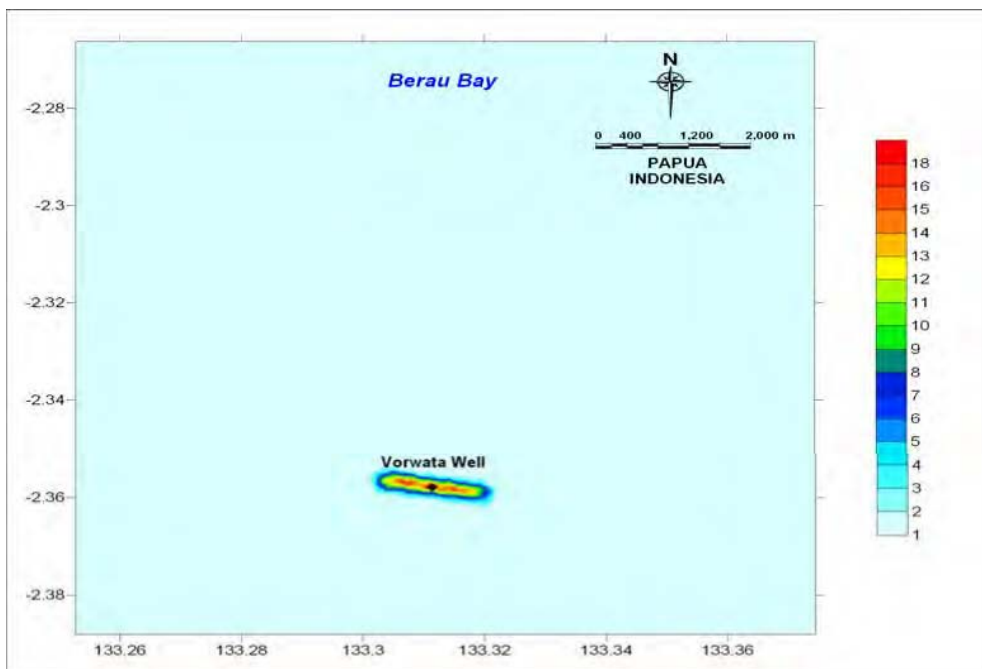


Figure C.2 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 1).

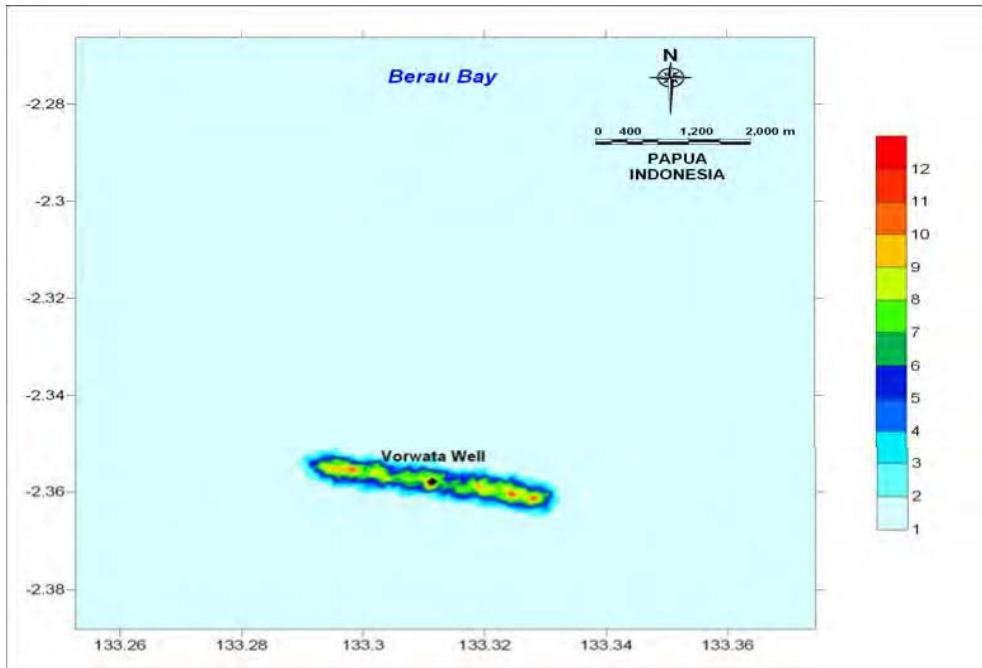


Figure C.3 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm)** of **Cutting Sediment** at 20m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 1).

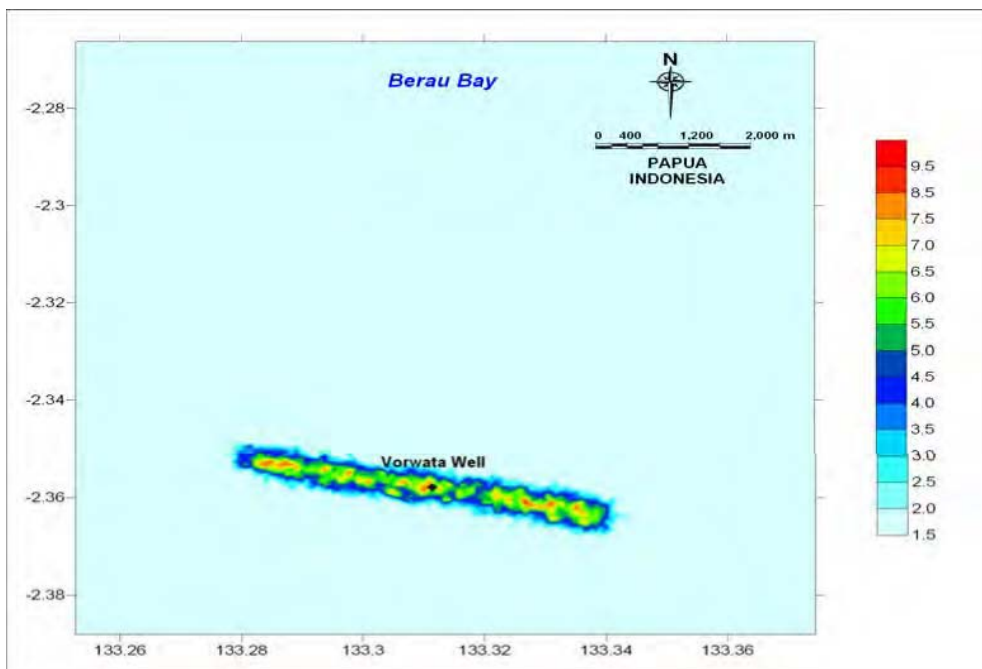


Figure C.4 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm)** of **Cutting Sediment** at 30m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 1).

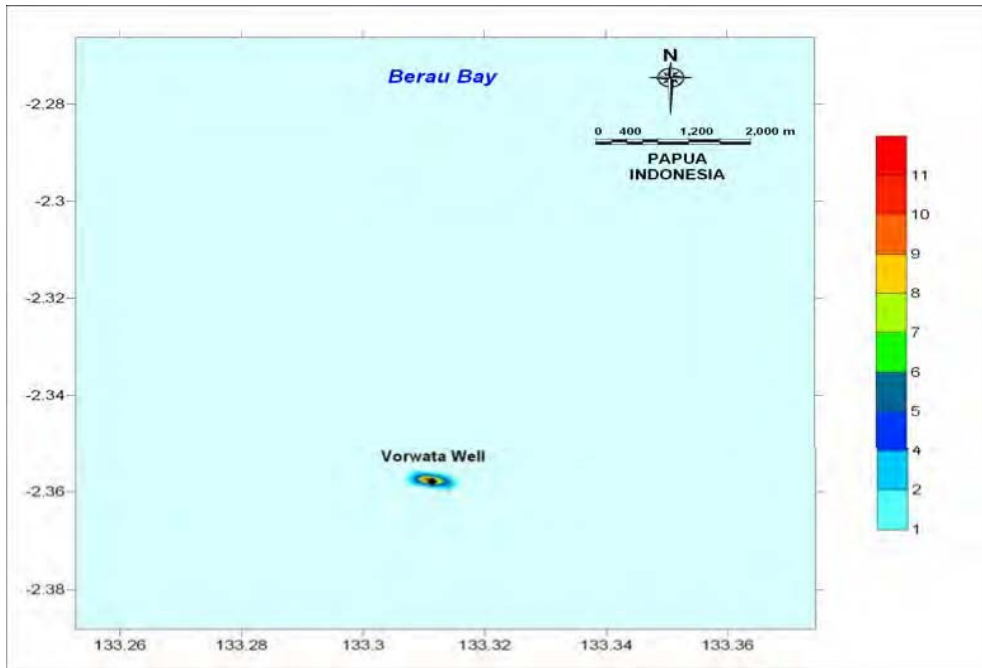


Figure C.5 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 2).

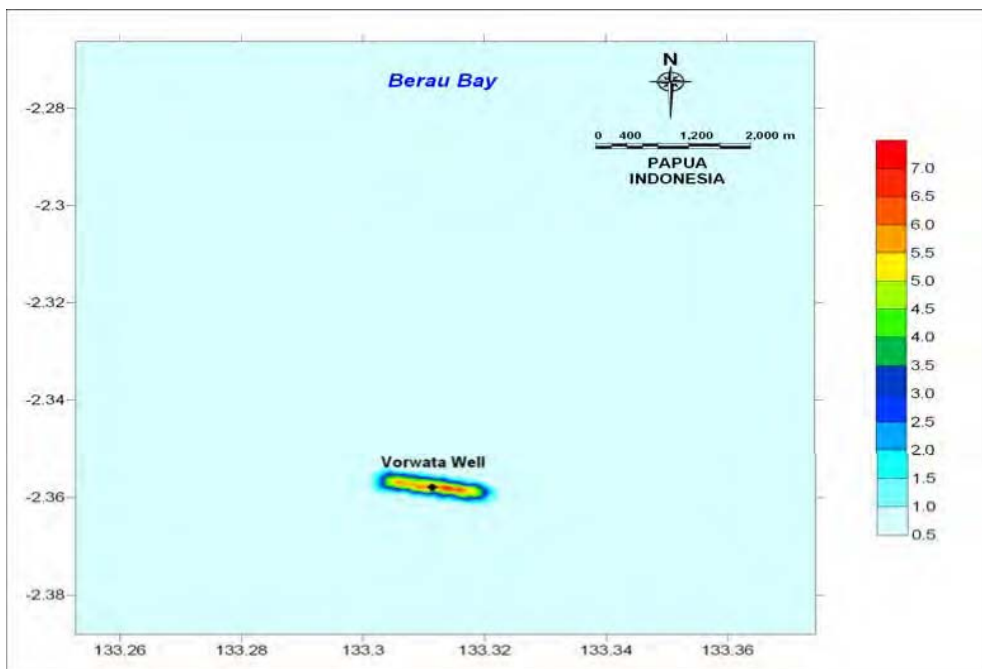


Figure C.6 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 2).

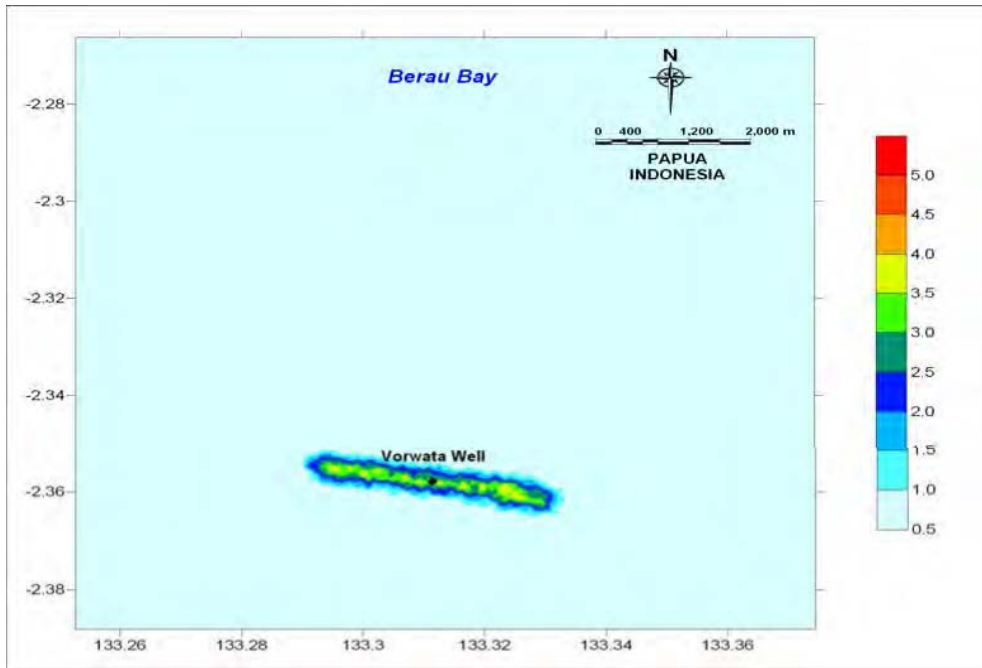


Figure C.7 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 2).

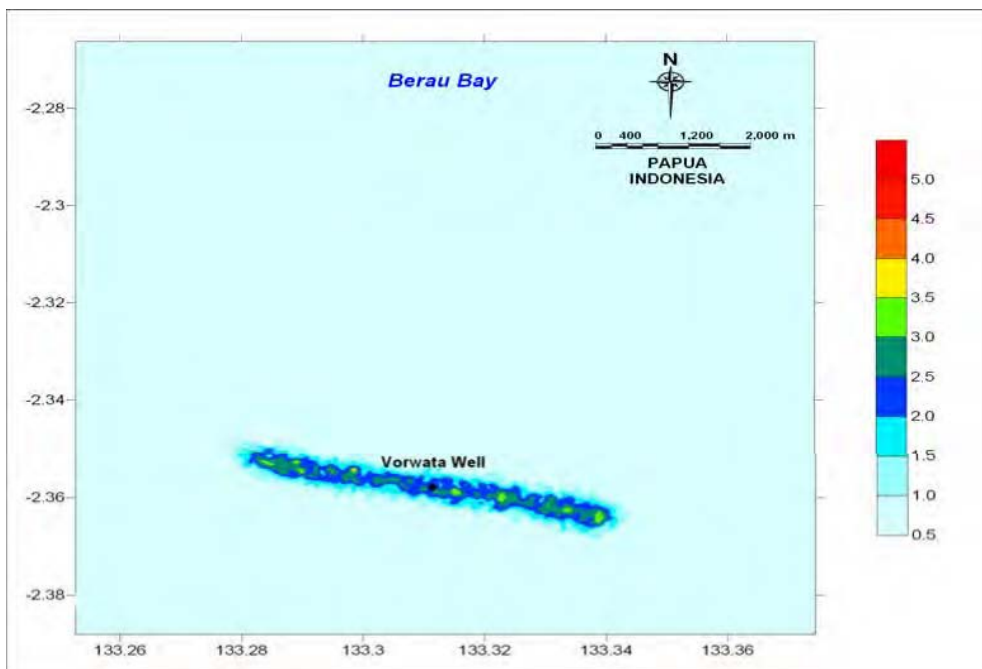


Figure C.8 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 2).

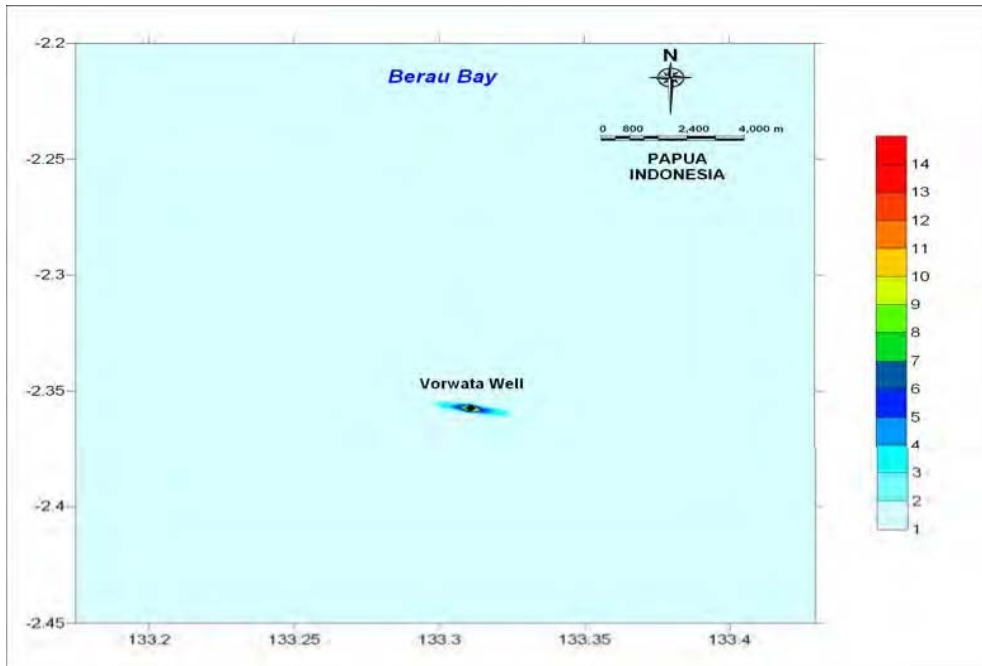


Figure C.9 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 3).

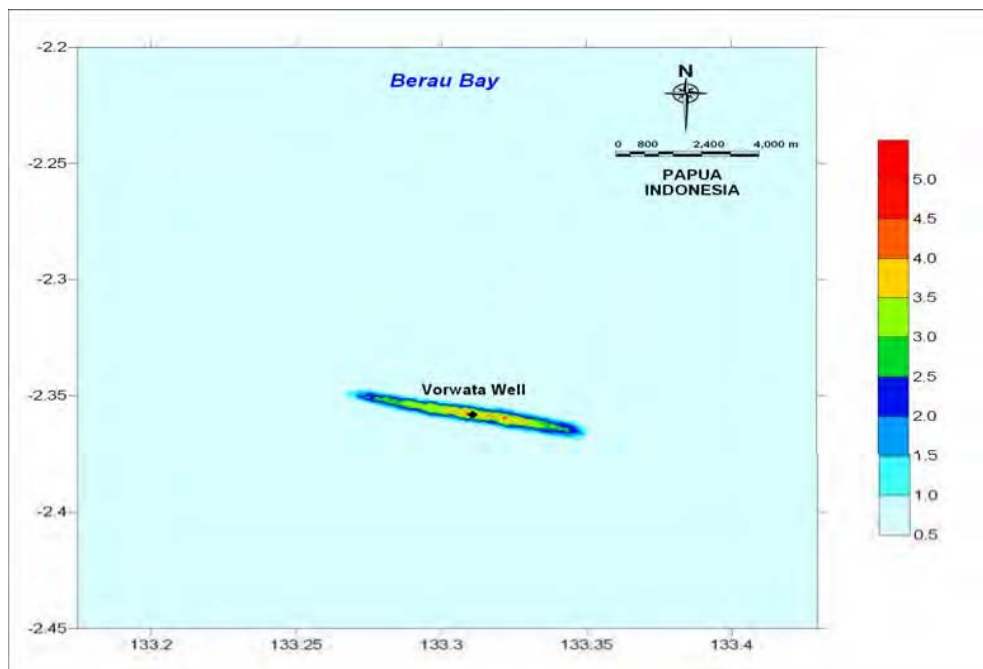


Figure C.10 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 3).

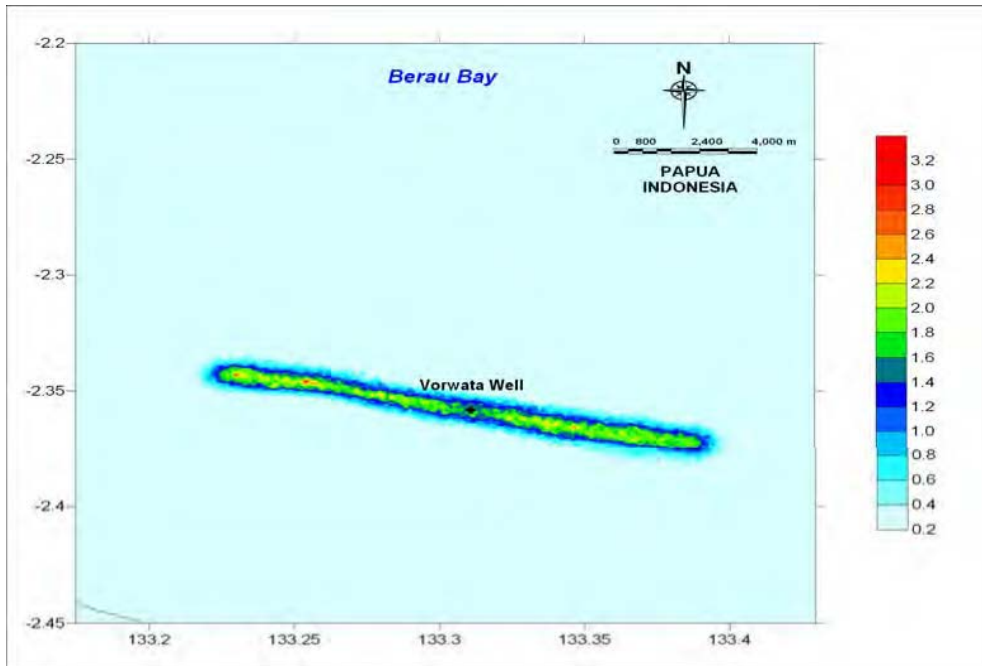


Figure C.11 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 3).

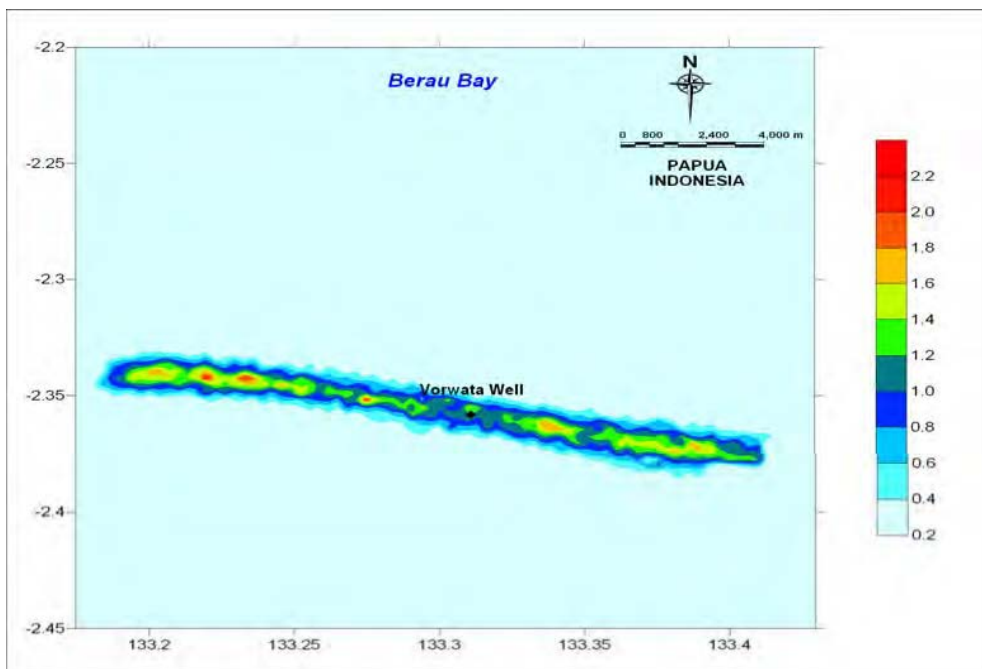


Figure C.12 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 3).

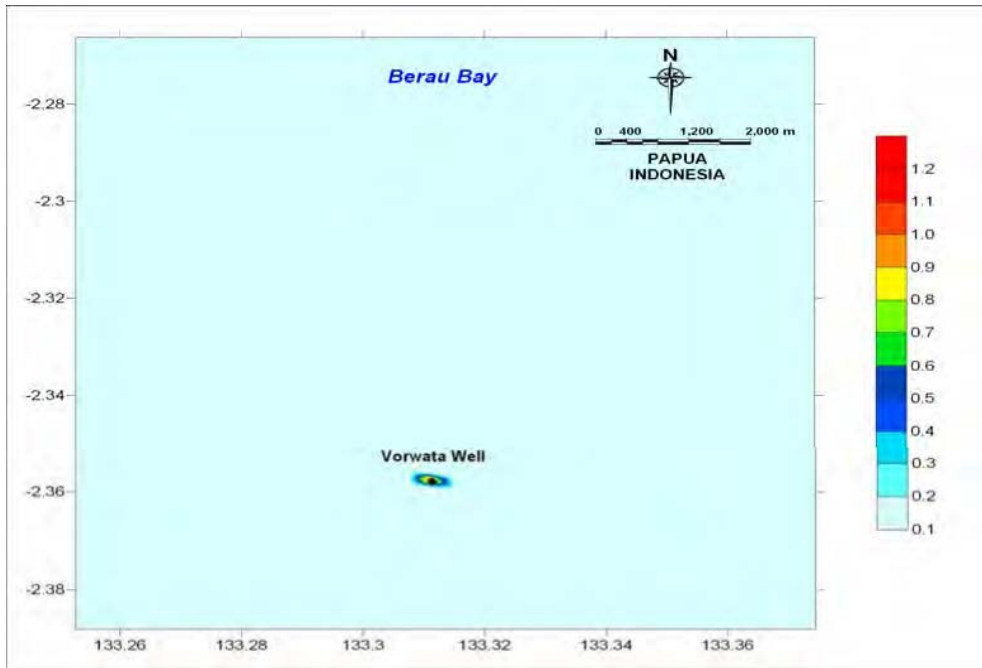


Figure C.13 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 4).

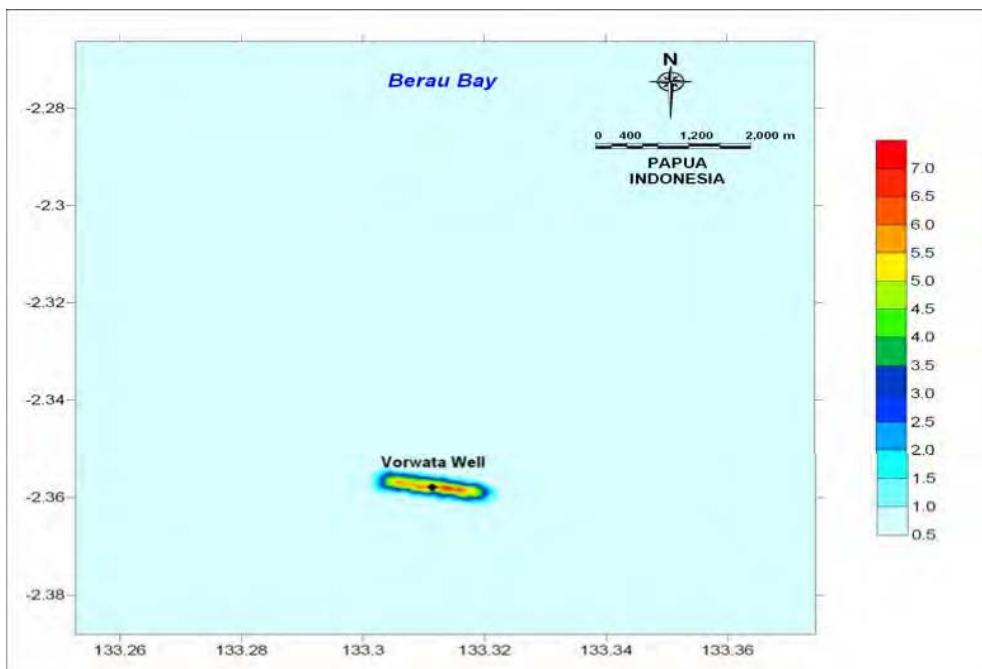


Figure C.14 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 4).

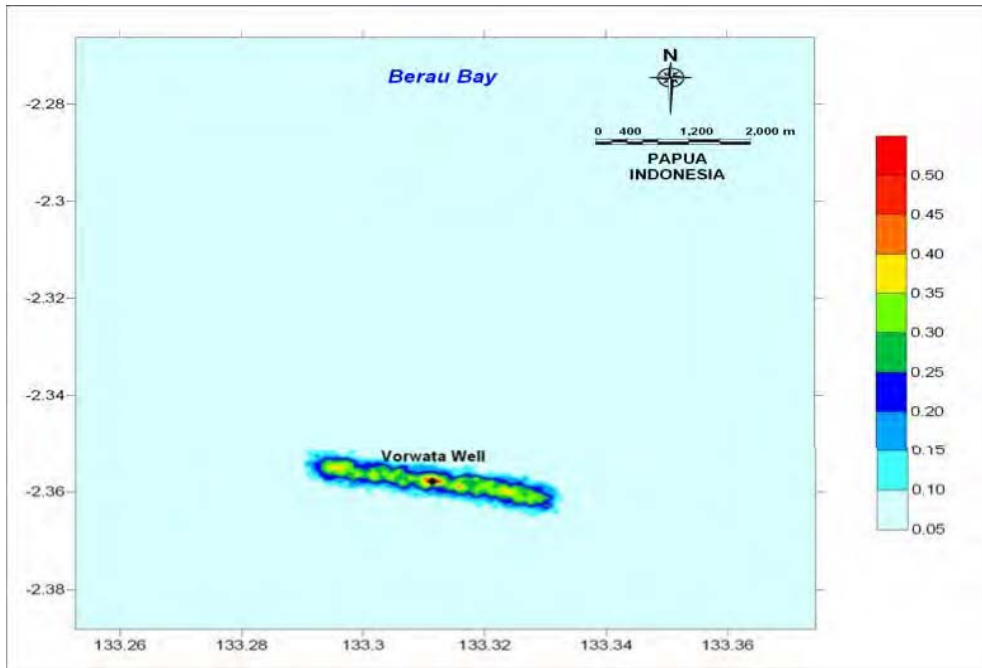


Figure C.15 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 4).

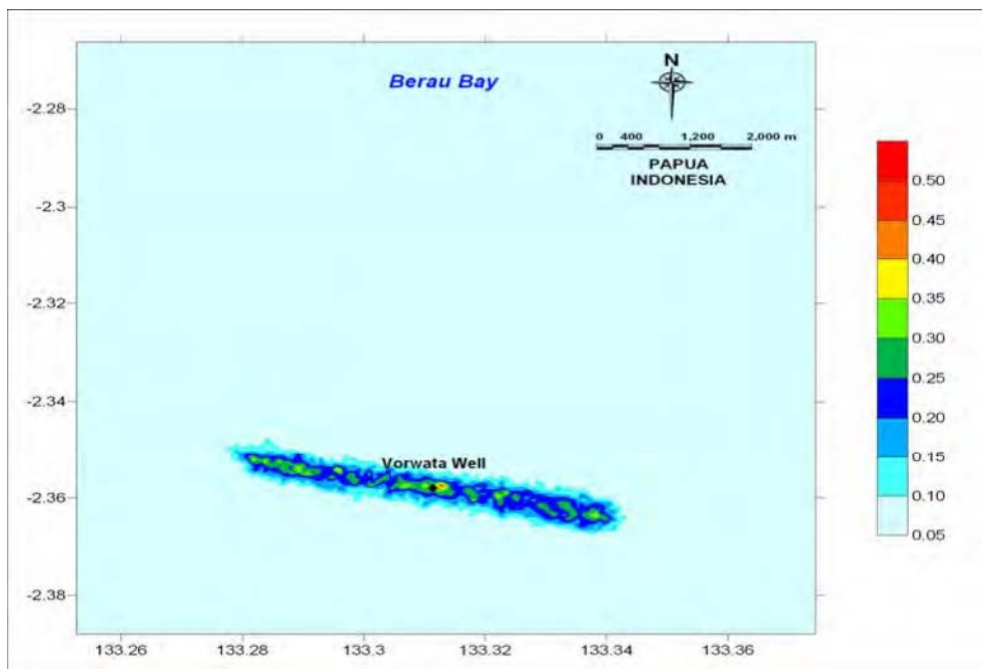


Figure C.16 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 4).

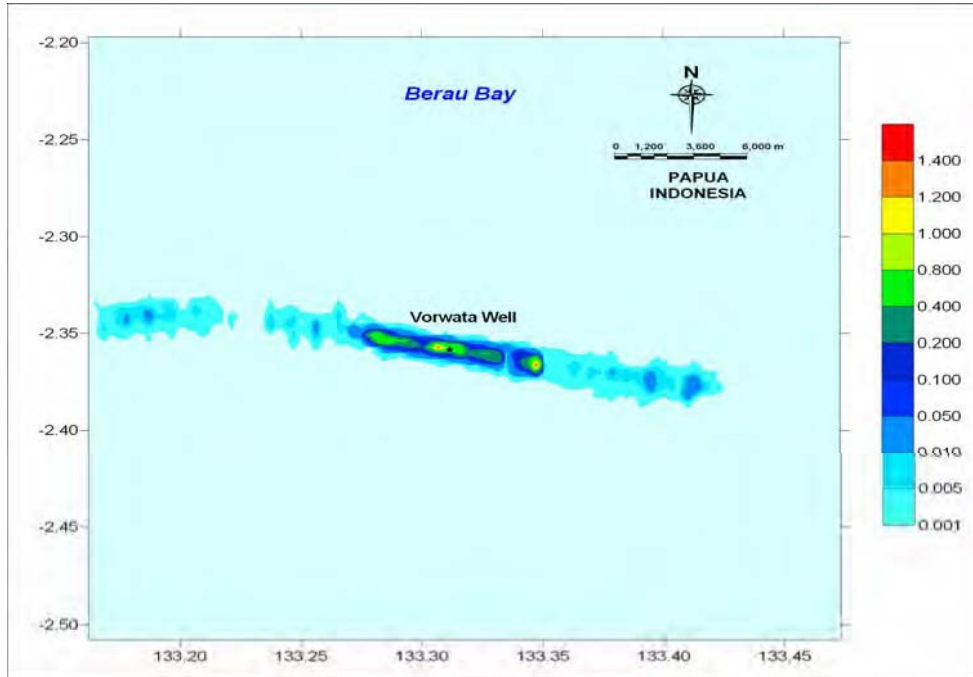


Figure C.17 Spatial extent of **Cutting Sediment Deposition (Kg/m²)** at Vorwata-12 Well.

Drilling Cutting and Mud Dispersion Study

Appendix **D**

**Simulation Result of Cutting at
Teteruga-2 Well**

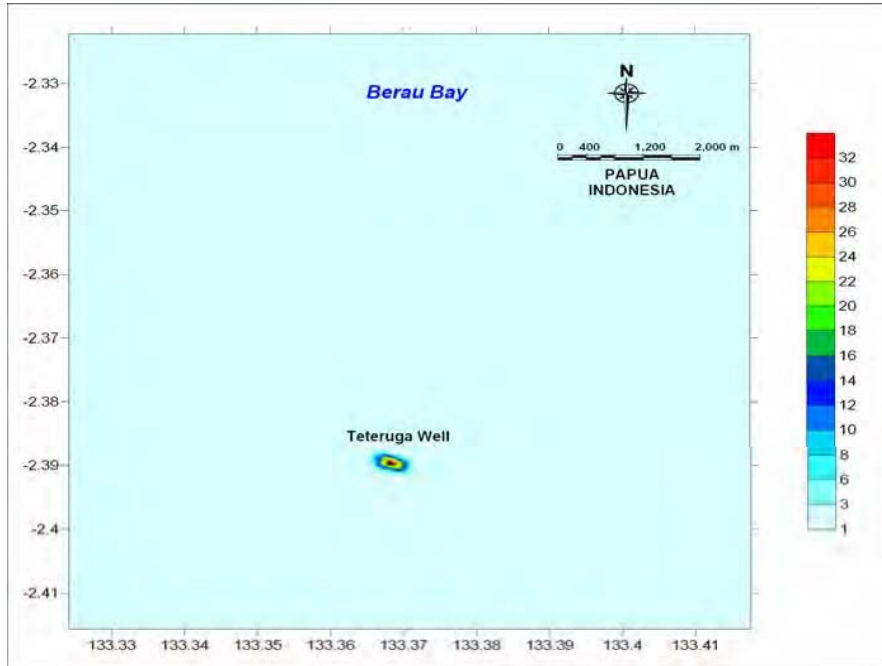


Figure D.1 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 1).

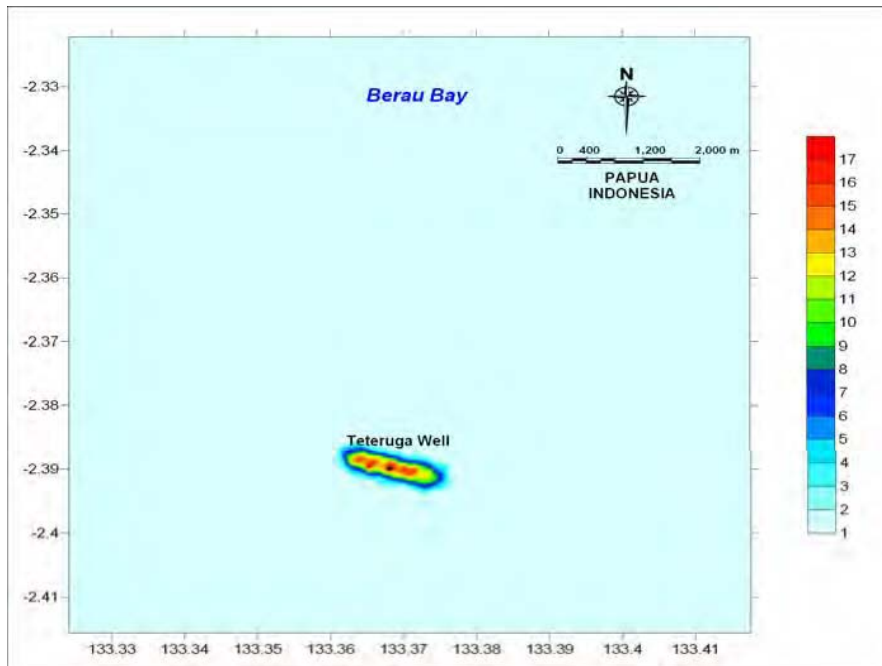


Figure D.2 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 1).

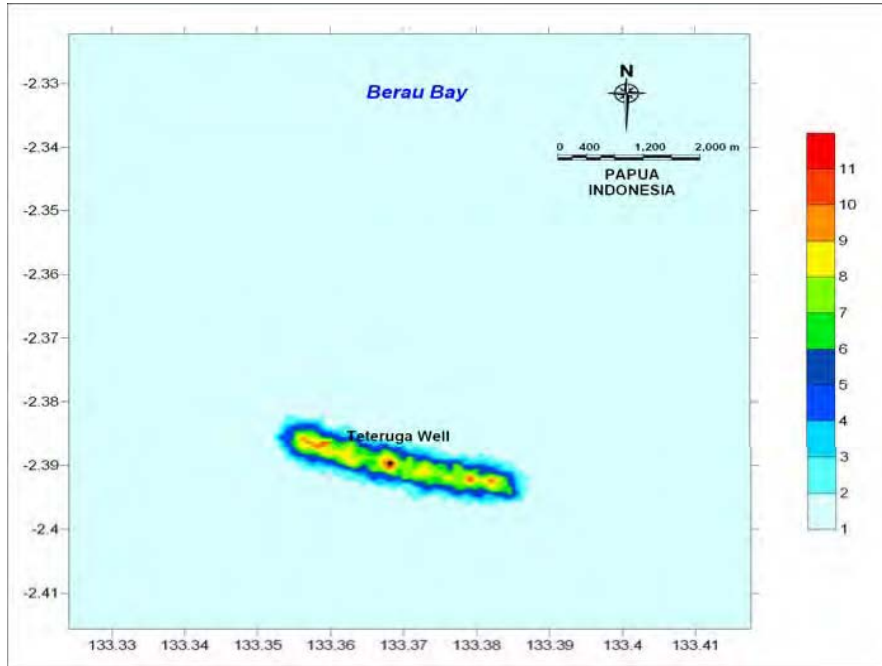


Figure D.3 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 1).

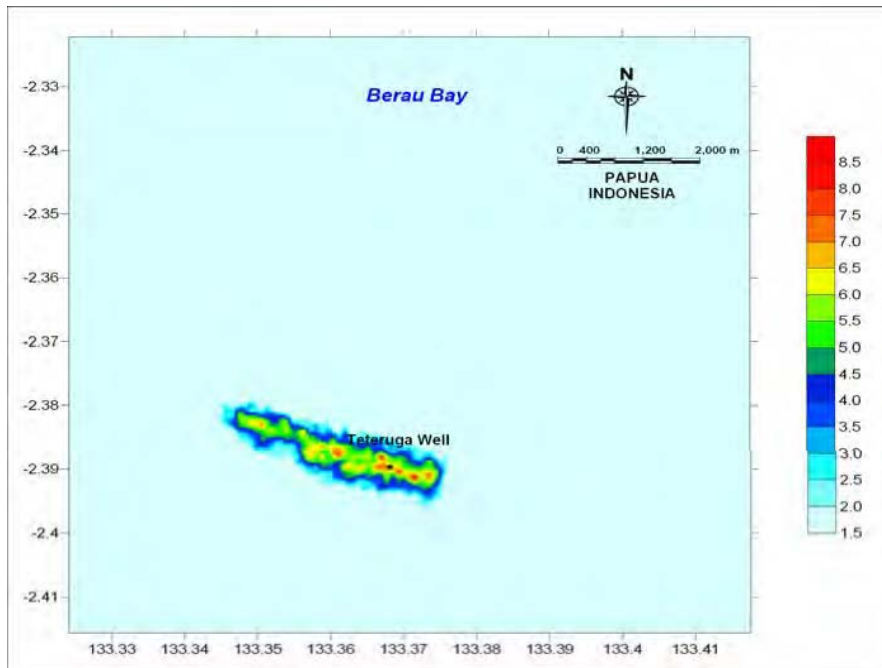


Figure D.4 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 1).

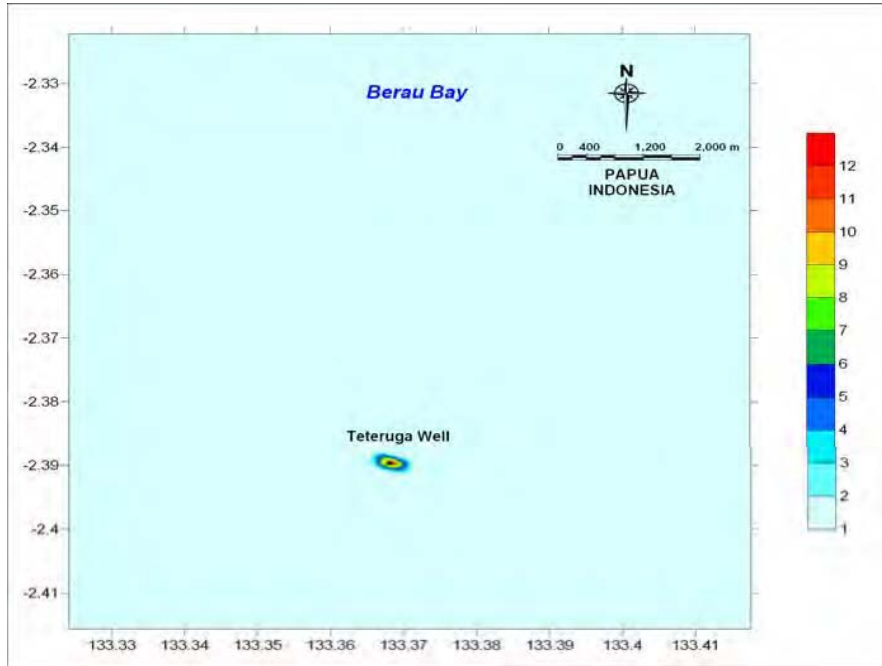


Figure D.5 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 2).

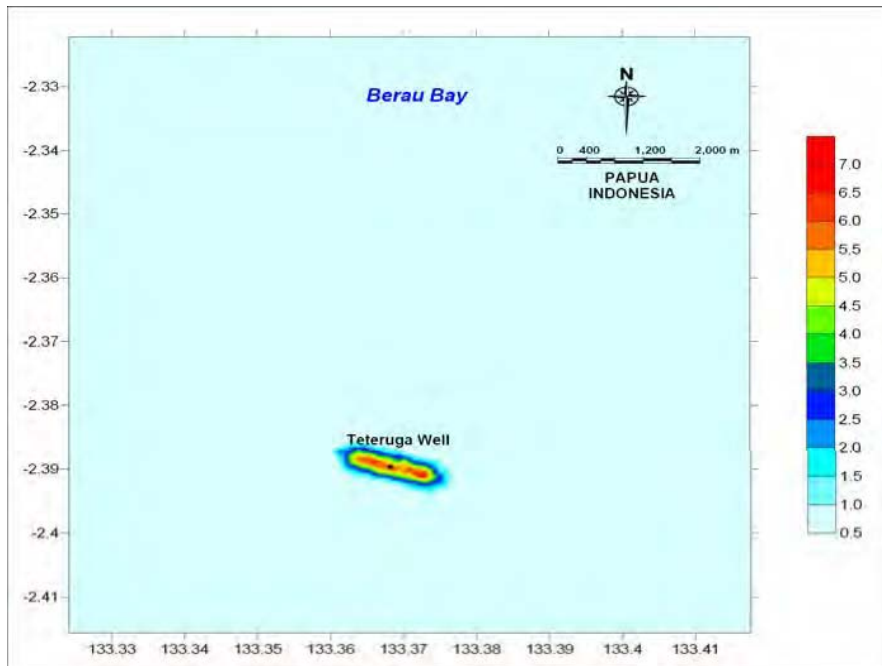


Figure D.6 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 2).

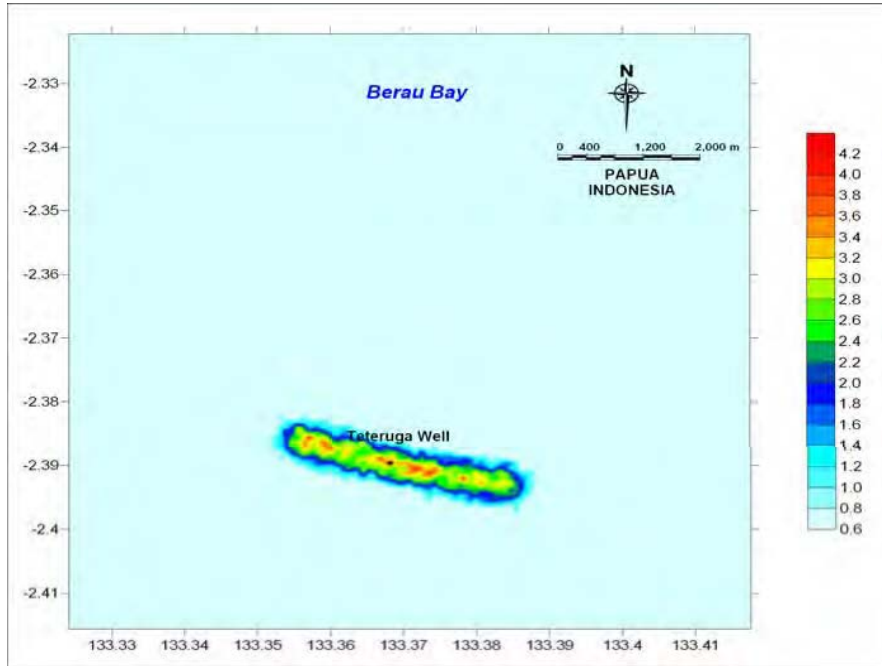


Figure D.7 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 2).

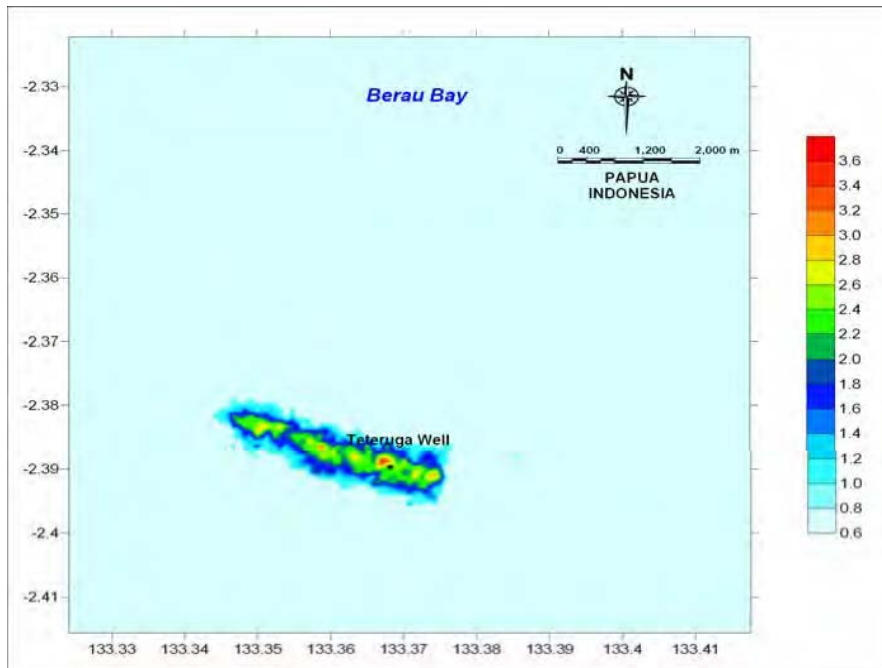


Figure D.8 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 2).

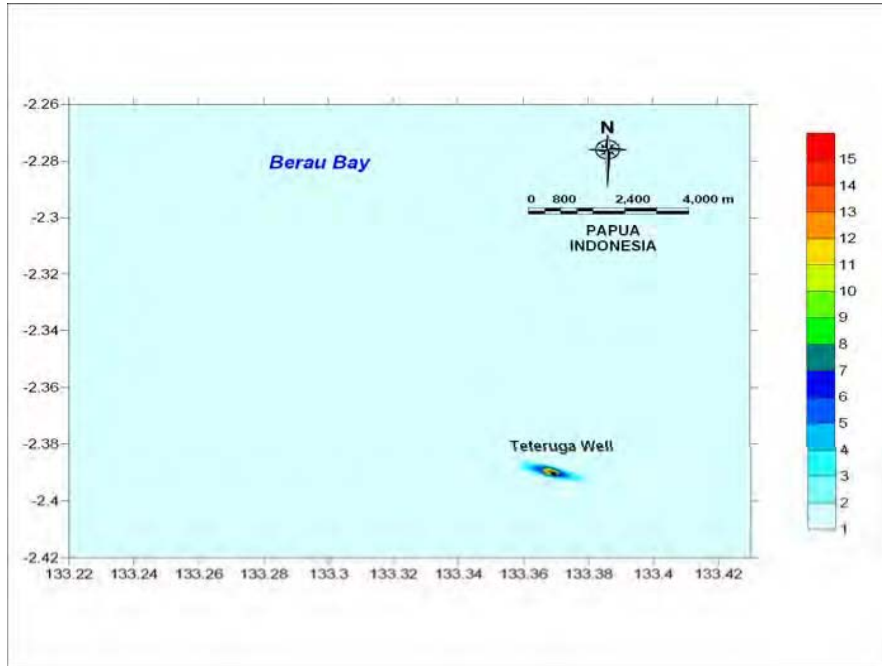


Figure D.9 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 3).

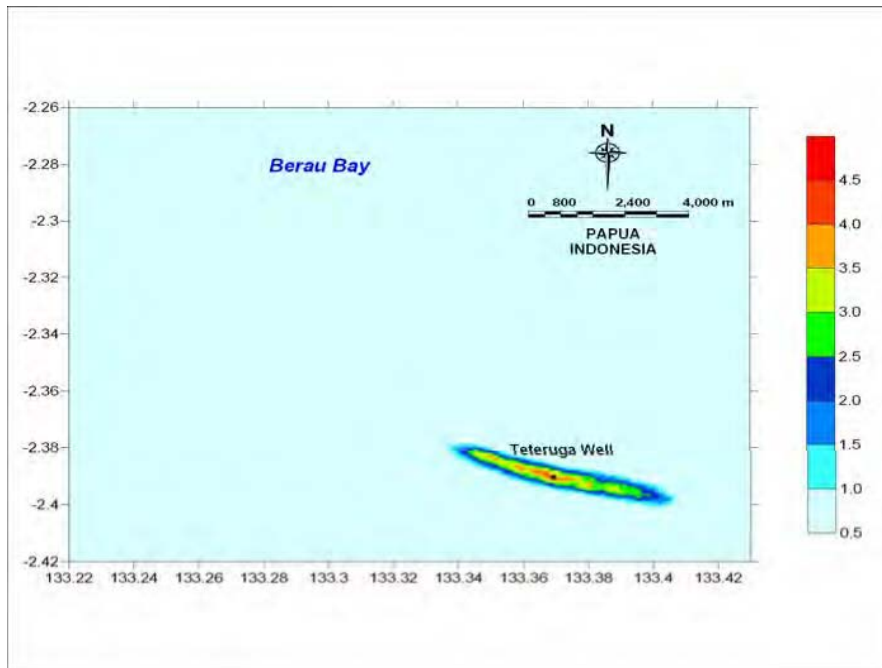


Figure D.10 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 3).

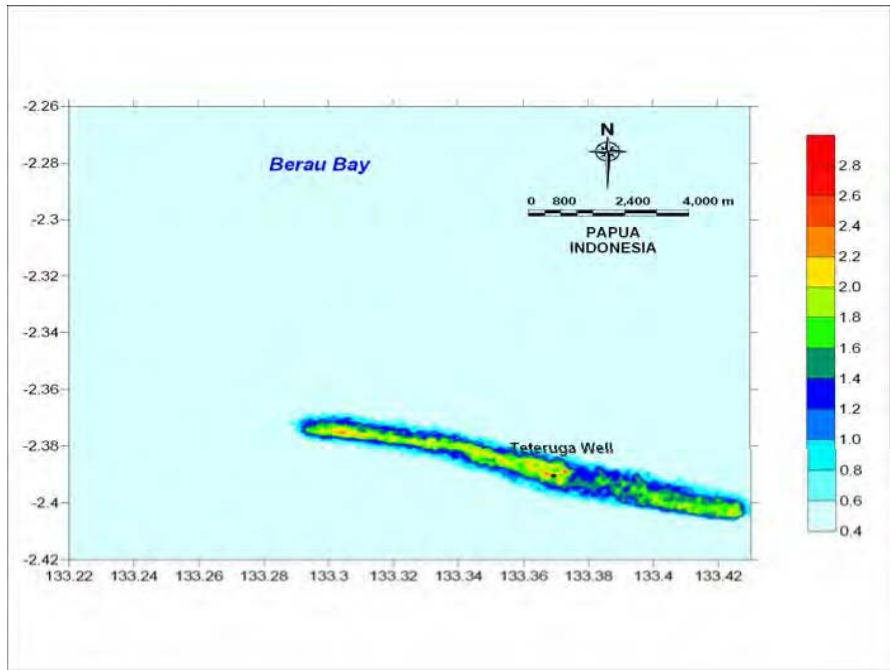


Figure D.11 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 3).

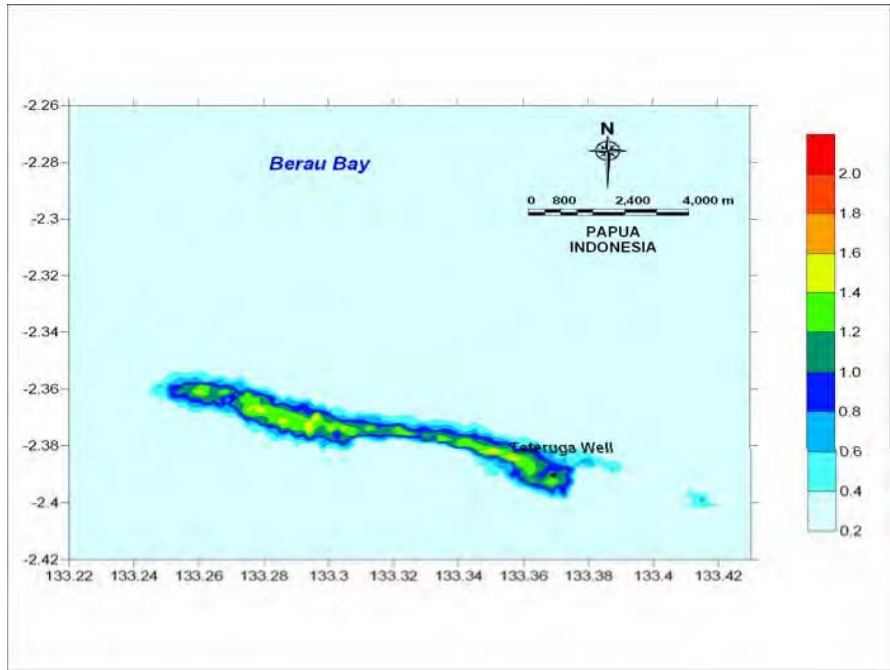


Figure D.12 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 3).

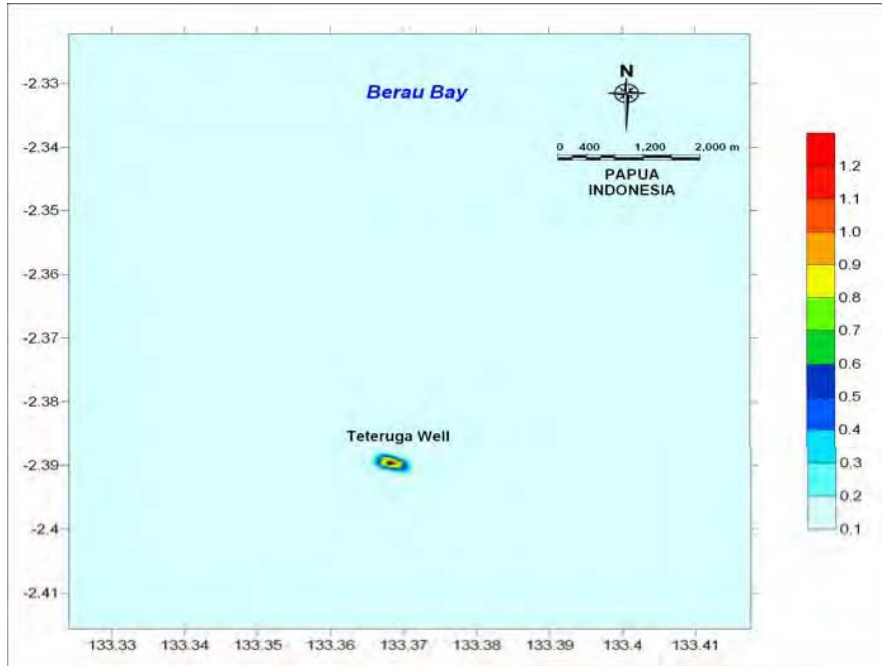


Figure D.13 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 4).

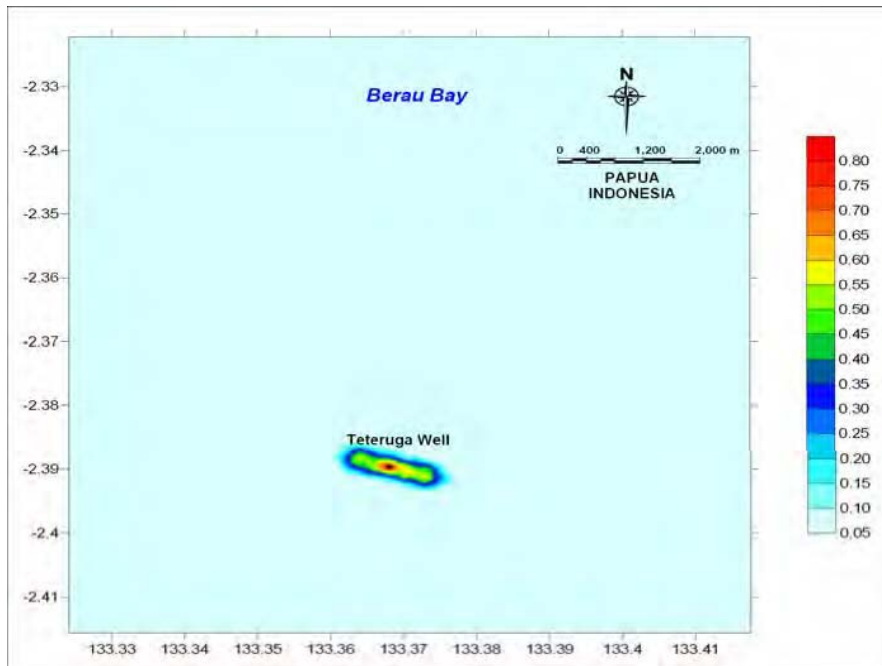


Figure D.14 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 10m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 4).

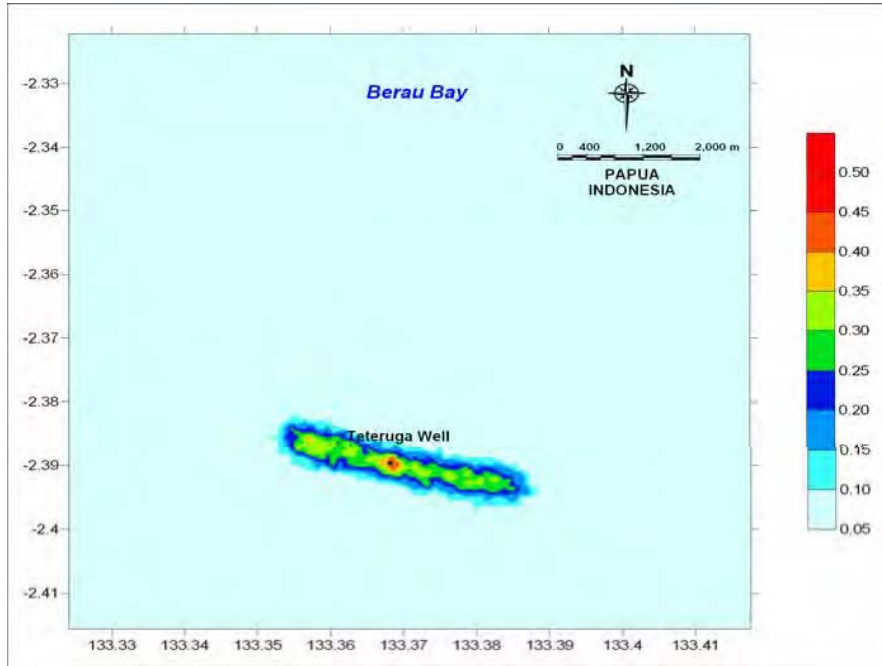


Figure D.15 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 20m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 4).

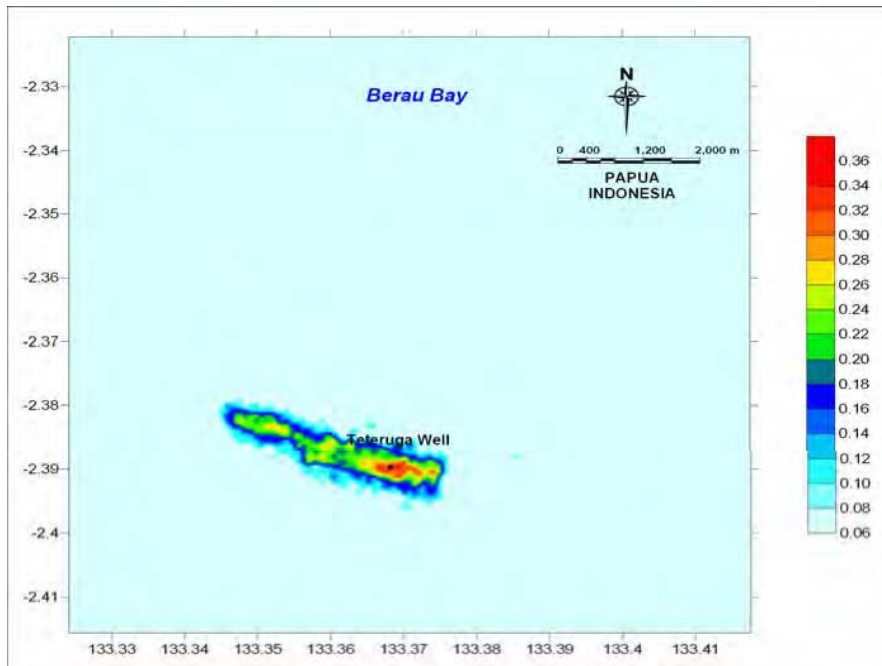


Figure D.16 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm) of Cutting Sediment** at 30m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 4).

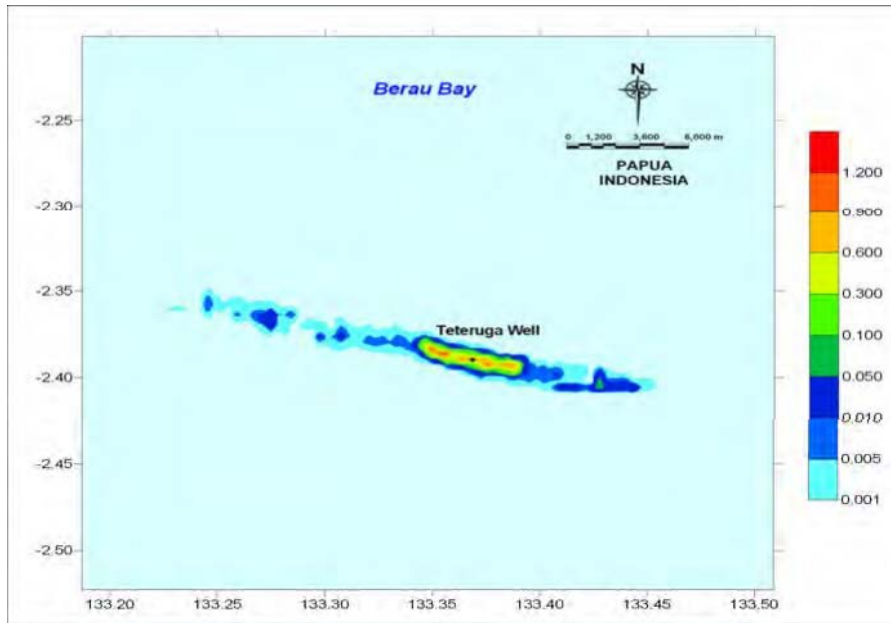


Figure D.17 Spatial extent of **Cutting Sediment Deposition (Kg m^{-2})** at Teteruga-2 Well.

Drilling Cutting and Mud Dispersion Study

Appendix **E**

**Simulation Result of Arsenic in
Cutting at Ofaweri-2 Well**

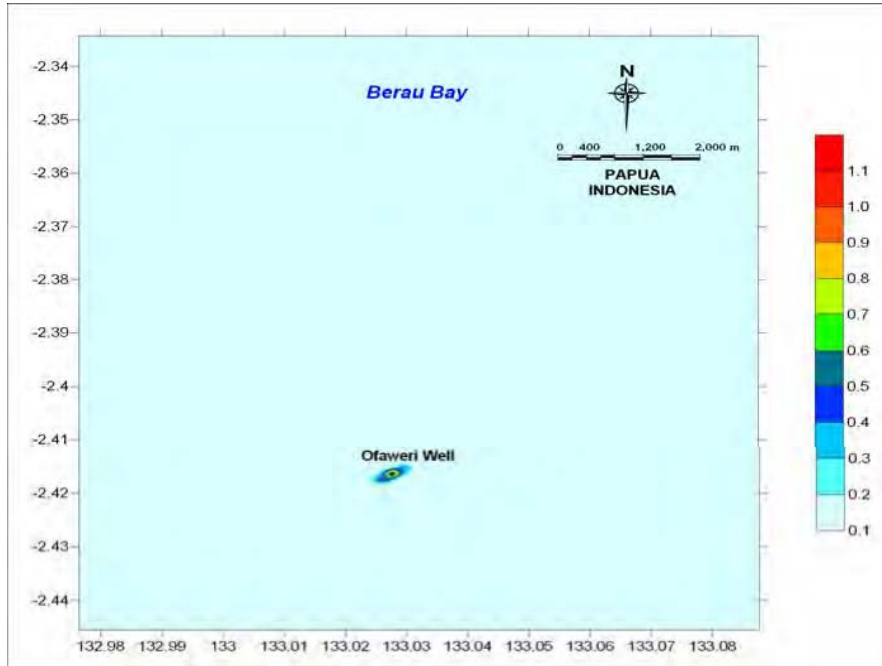


Figure E.1 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 1).

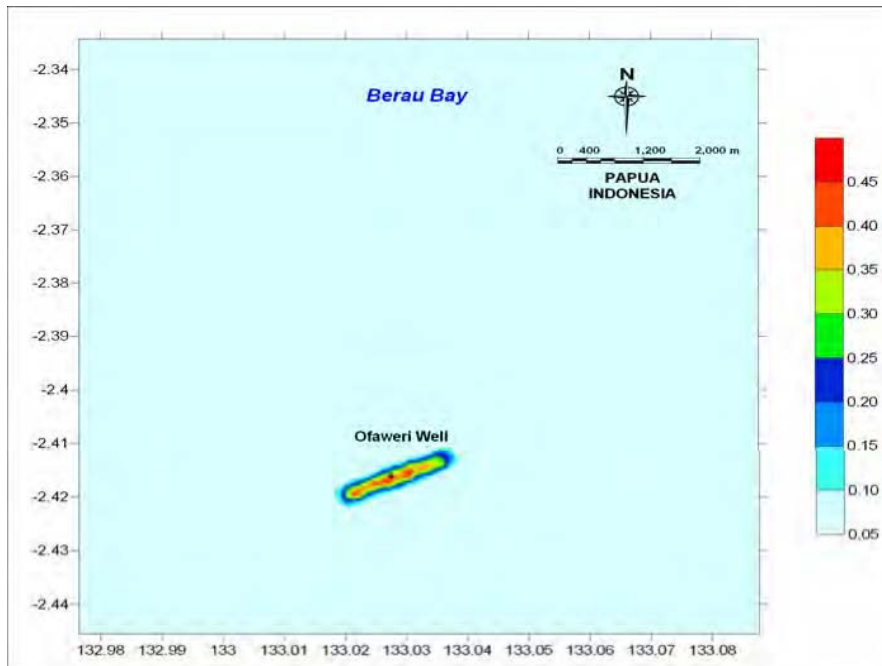


Figure E.2 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 1).

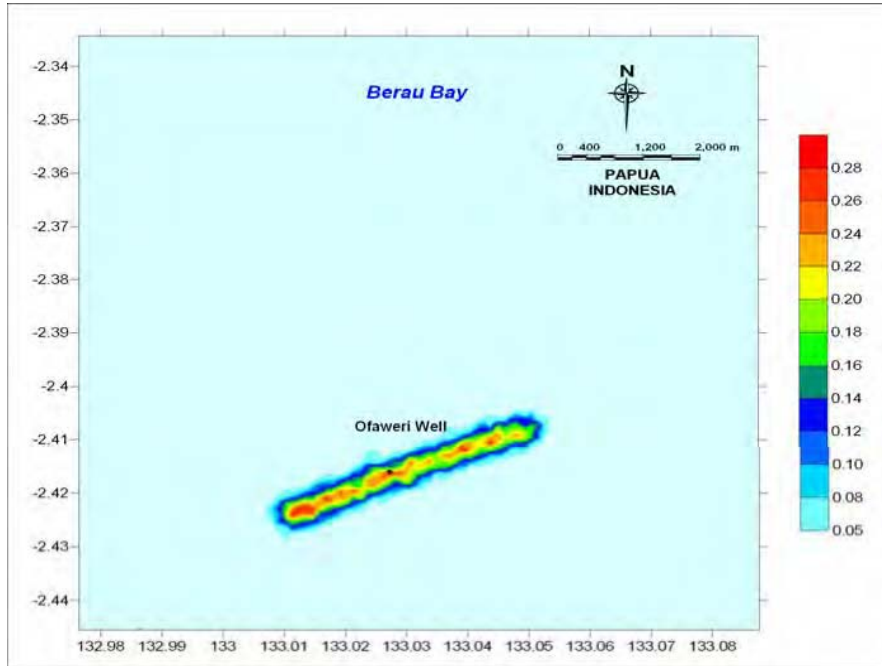


Figure E.3 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 1).

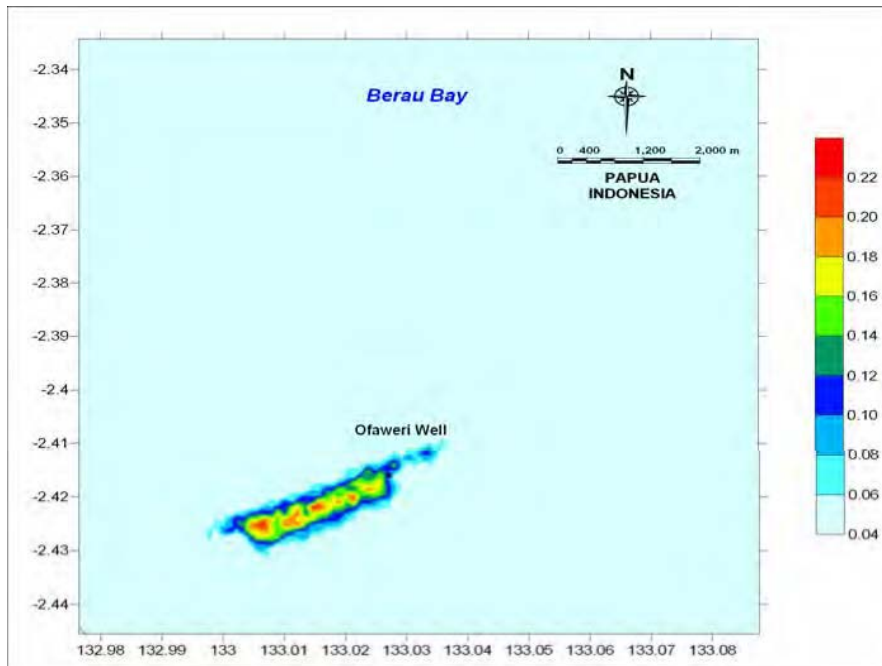


Figure E.4 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 1).

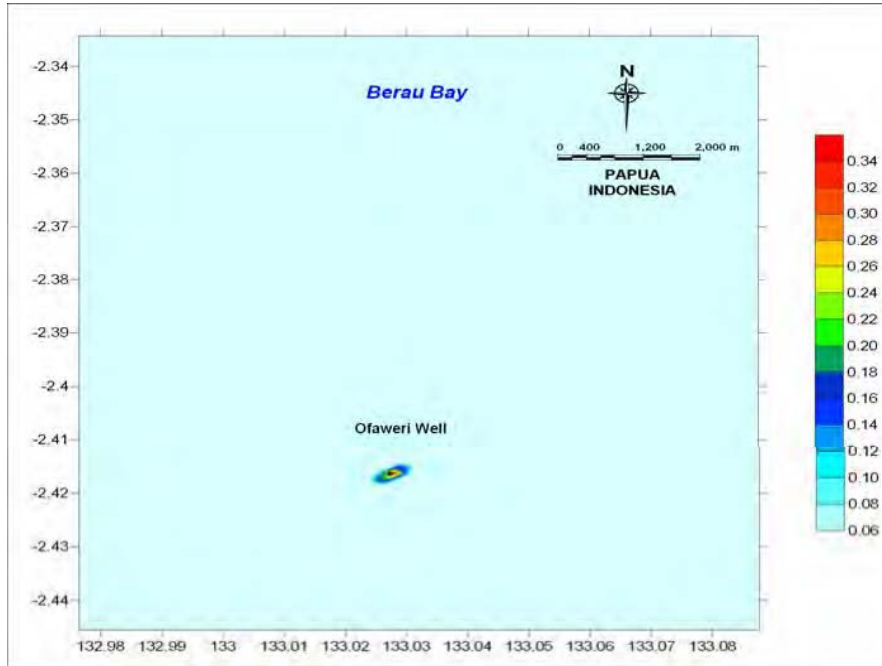


Figure E.5 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 2).

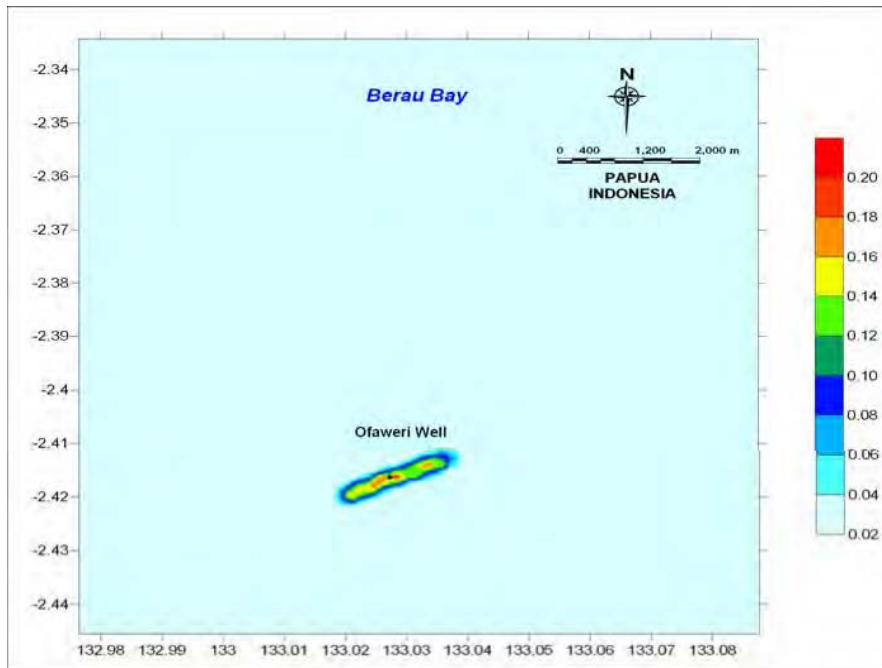


Figure E.6 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 2).

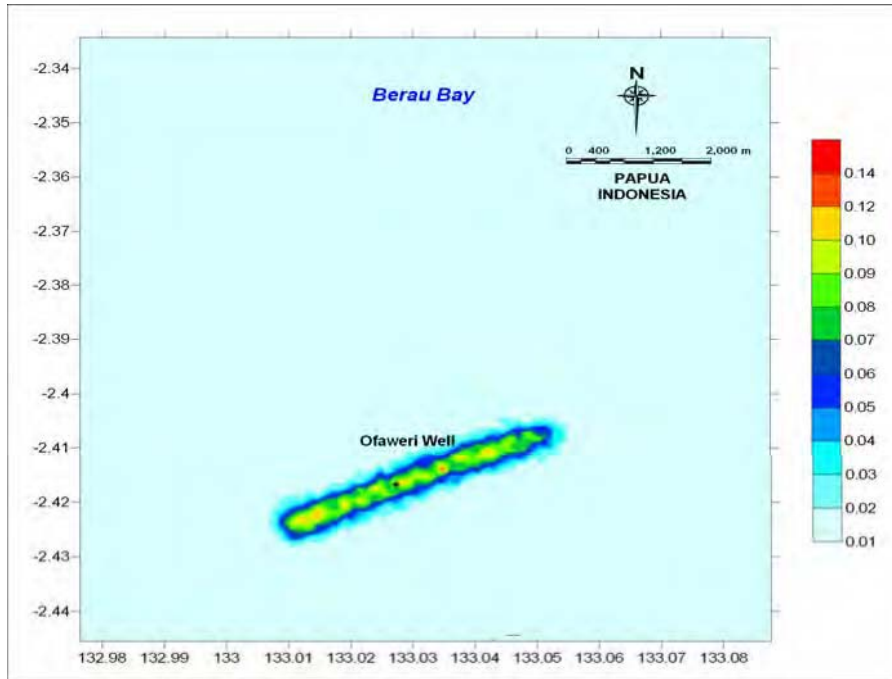


Figure E.7 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 2).

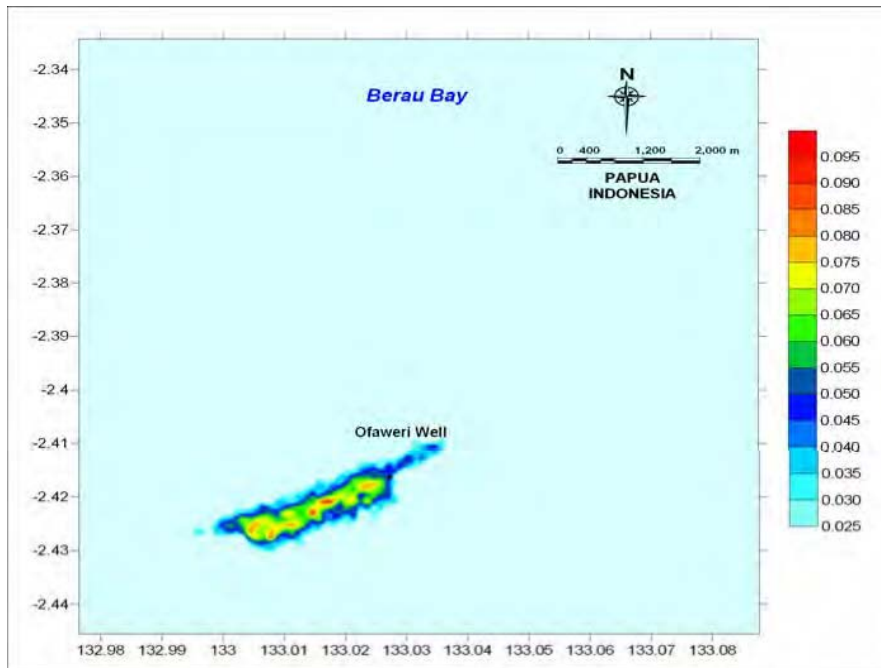


Figure E.8 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 2).

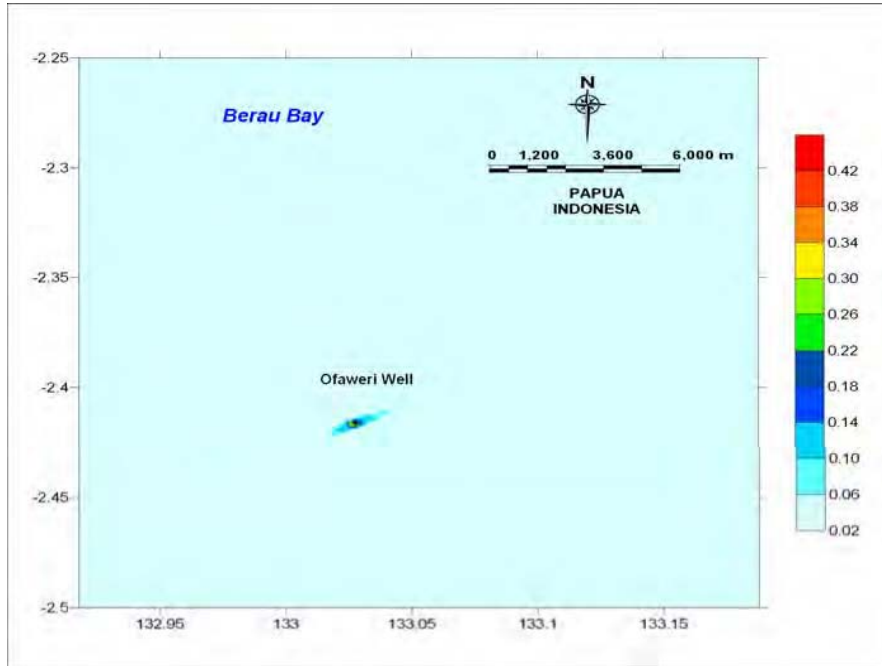


Figure E.9 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 3).

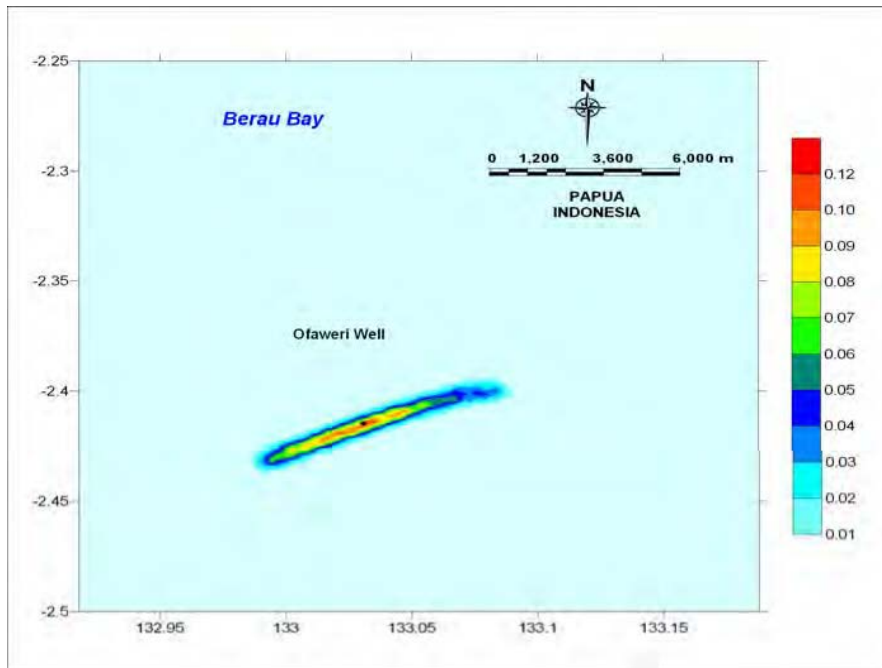


Figure E.10 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 3).

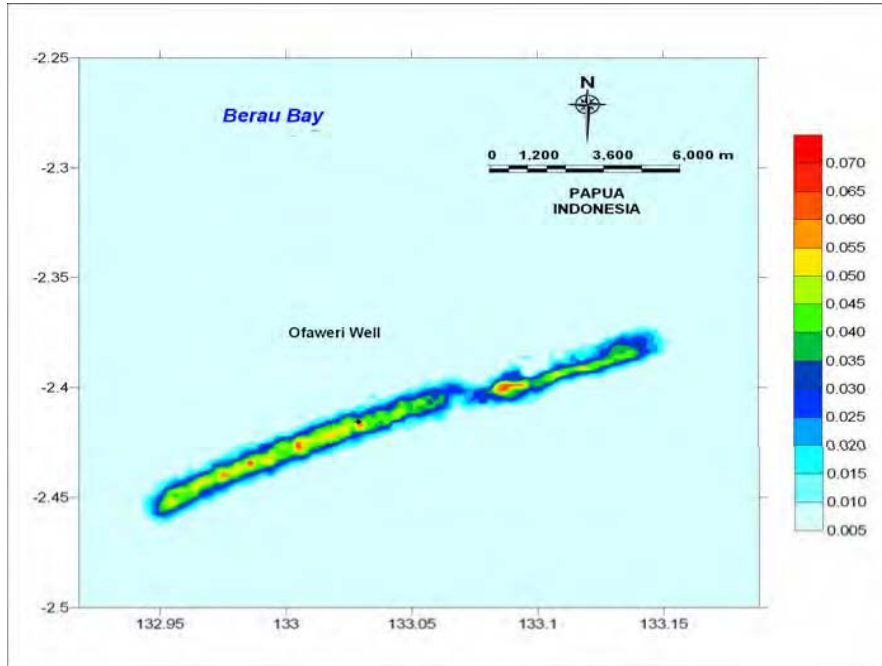


Figure E.11 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 3).

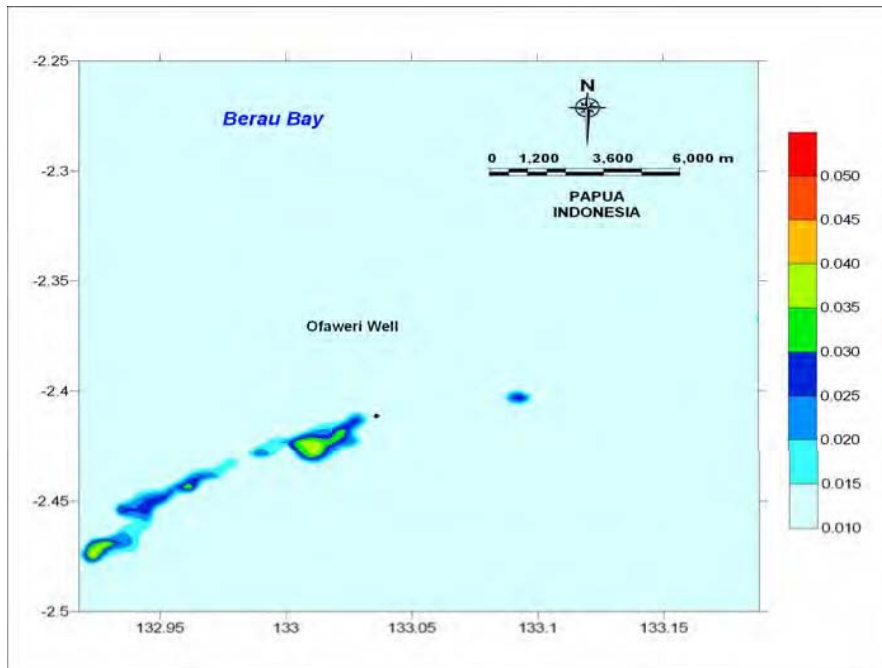


Figure E.12 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 3).

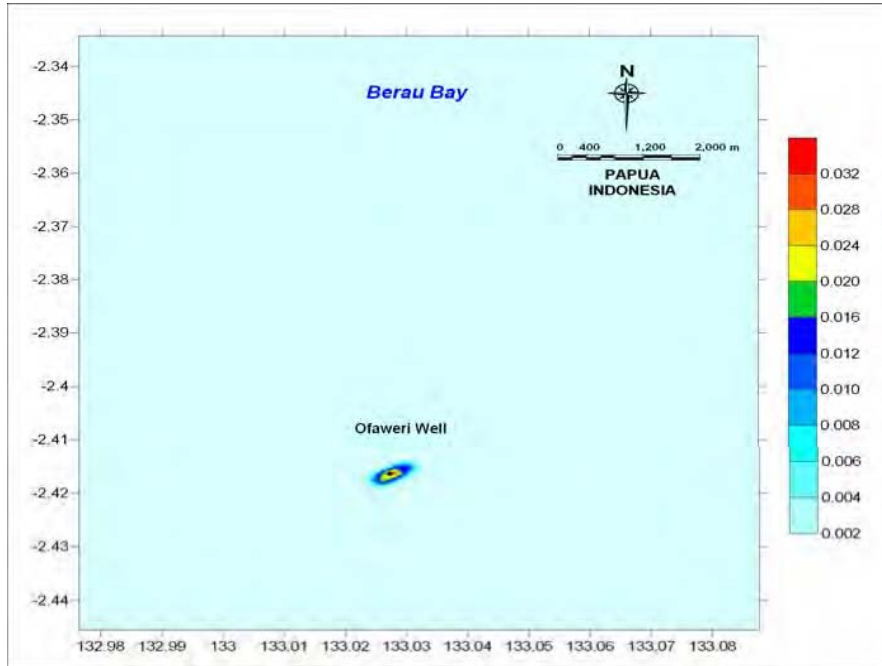


Figure E.13 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 4).

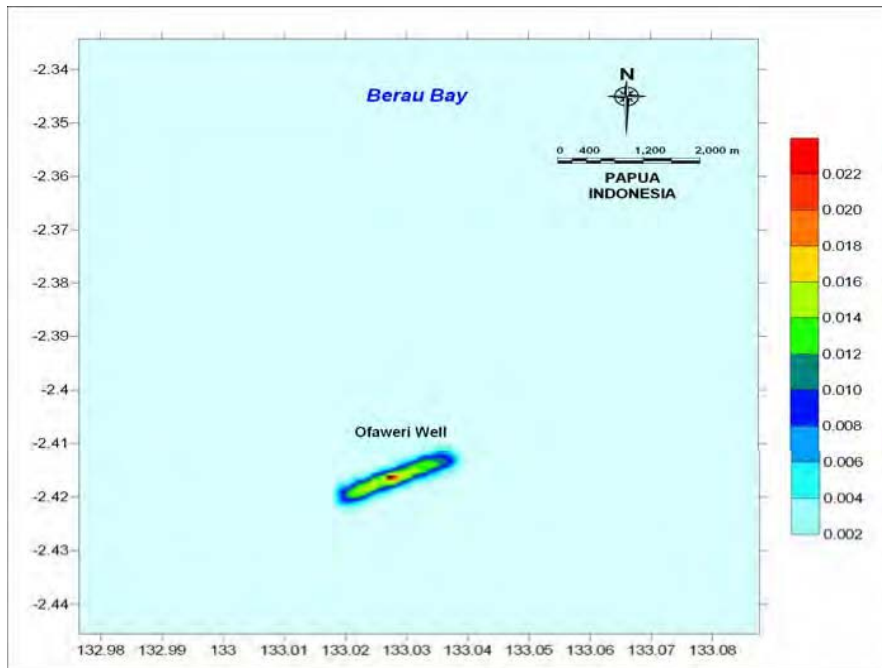


Figure E.14 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 4).

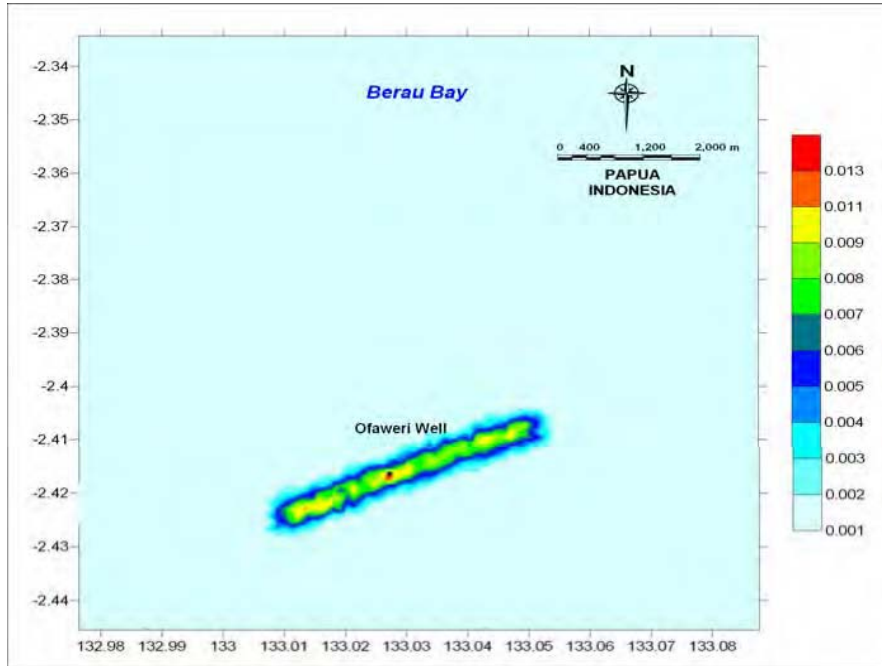


Figure E.15 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 4).

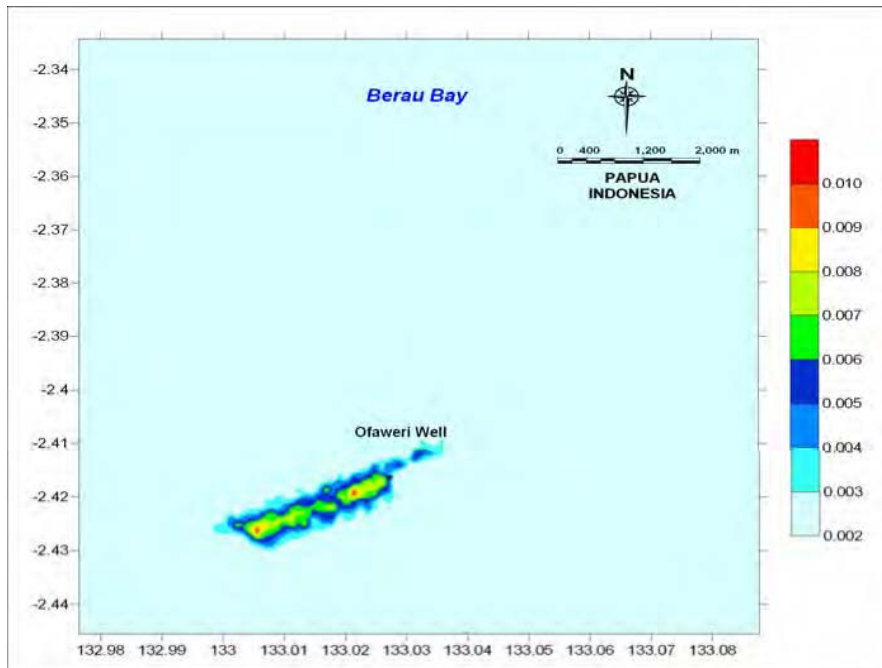


Figure E.16 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Ofaweri-2 Well (Stage 4).

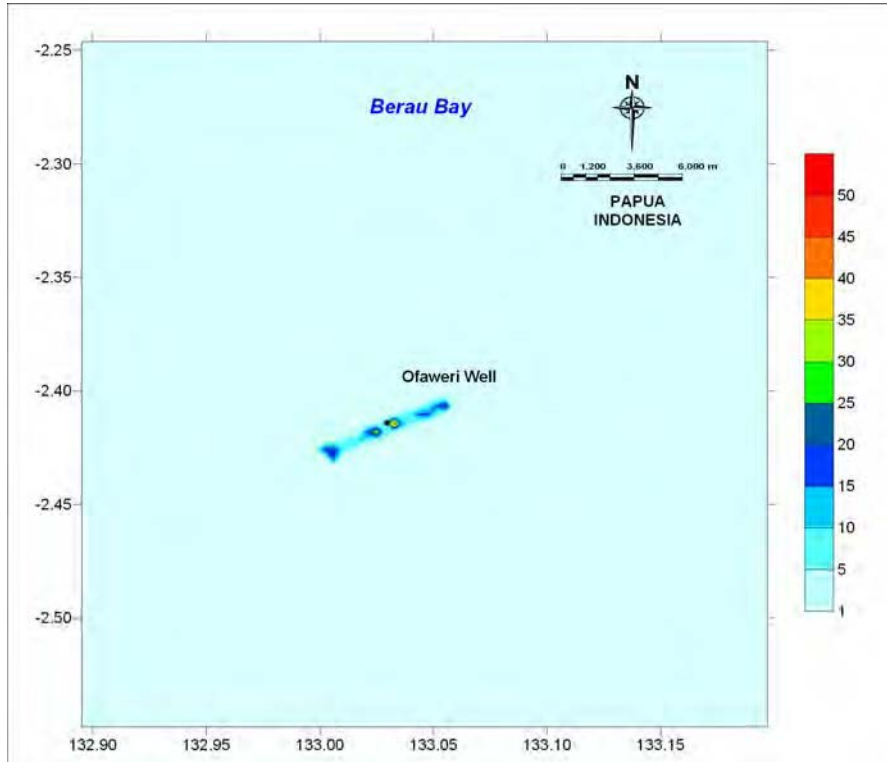


Figure E.17 Spatial extent of **Arsenic** in **Cutting Sediment Deposition** ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$) at Ofaweri-2 Well.

Drilling Cutting and Mud Dispersion Study

Appendix **F**

**Simulation Result of Arsenic in
Cutting at Roabiba-2 Well**

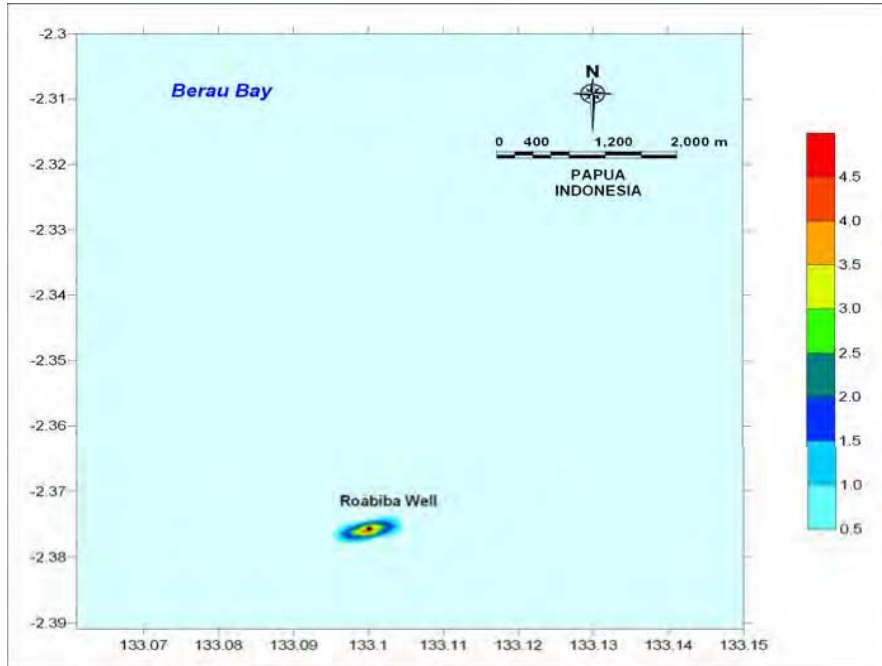


Figure F.1 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 1).

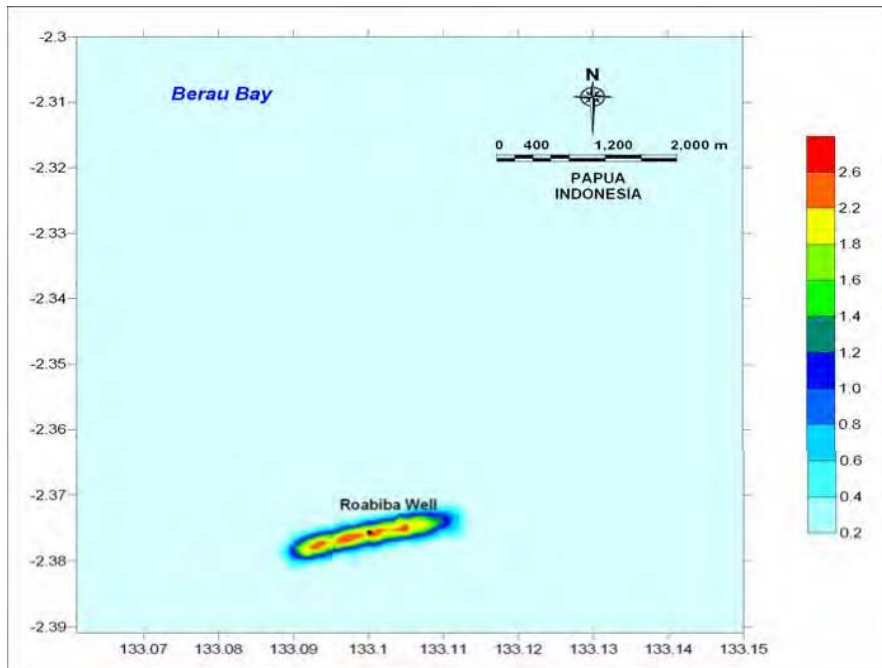


Figure F.2 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 1).

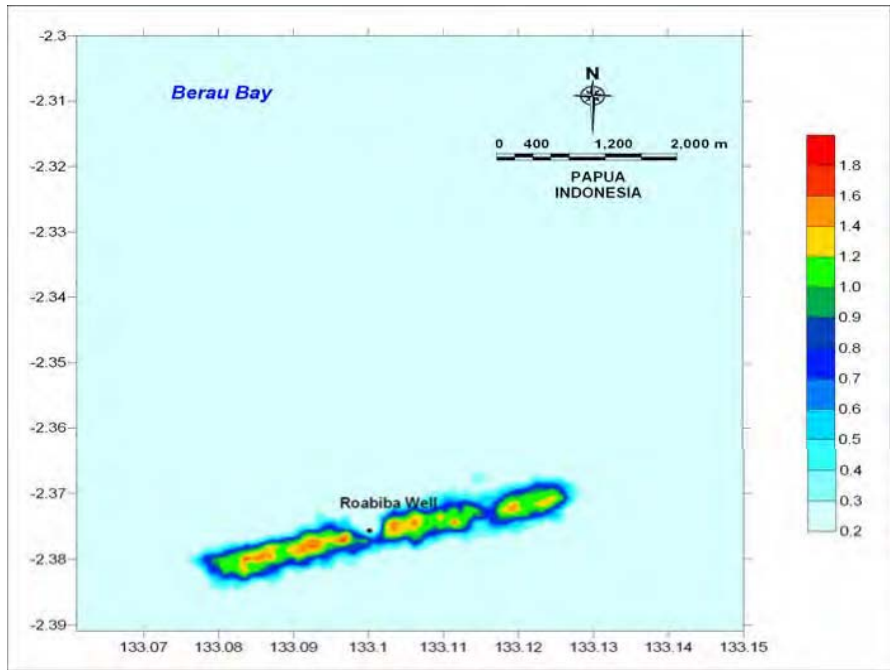


Figure F.3 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 1).

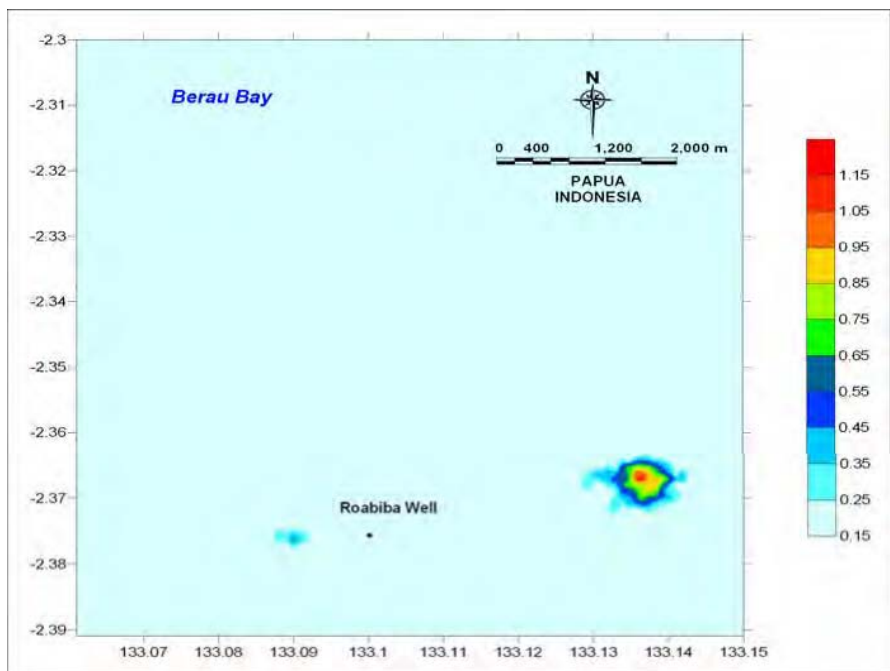


Figure F.4 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 1).

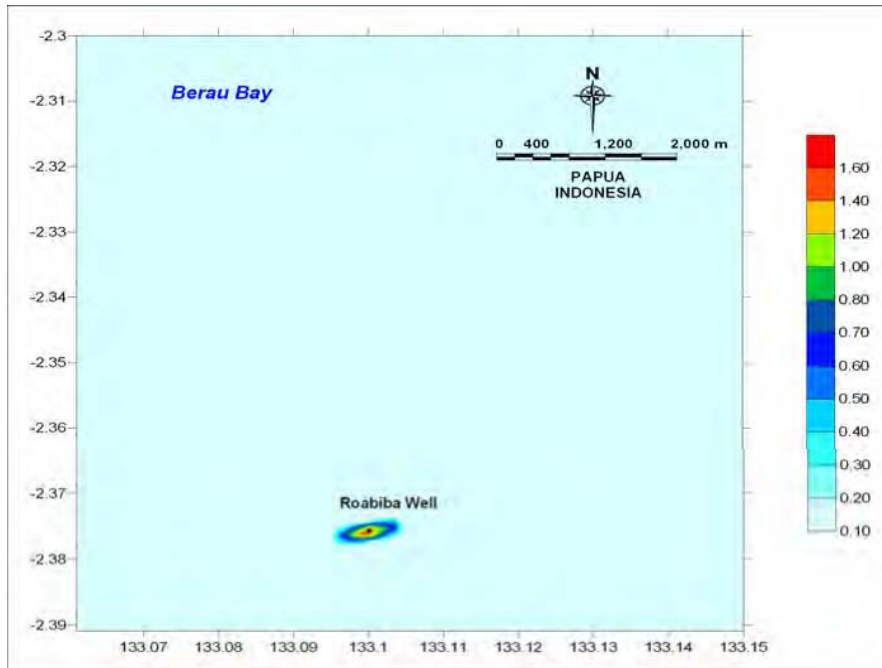


Figure F.5 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 2).

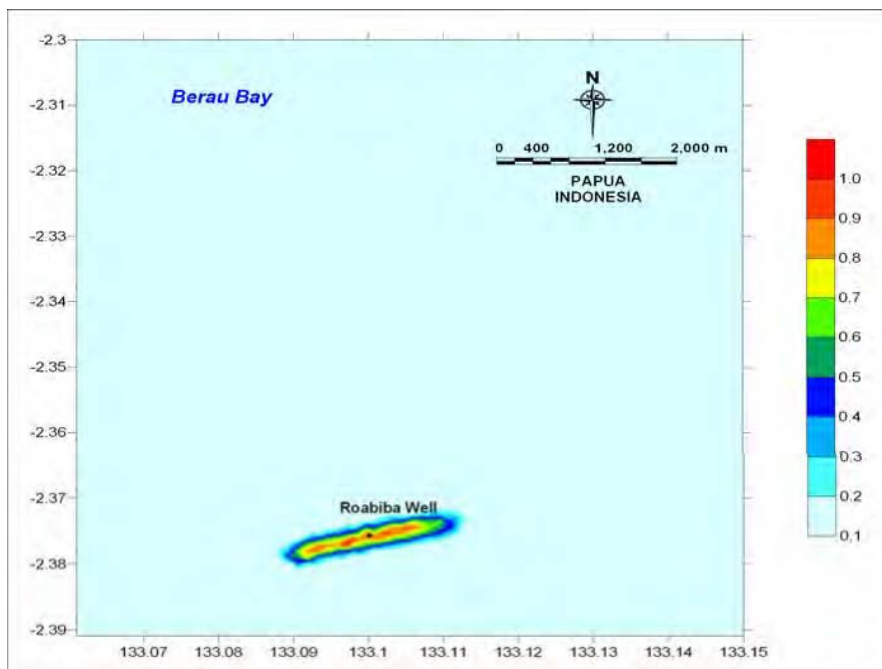


Figure F.6 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 2).

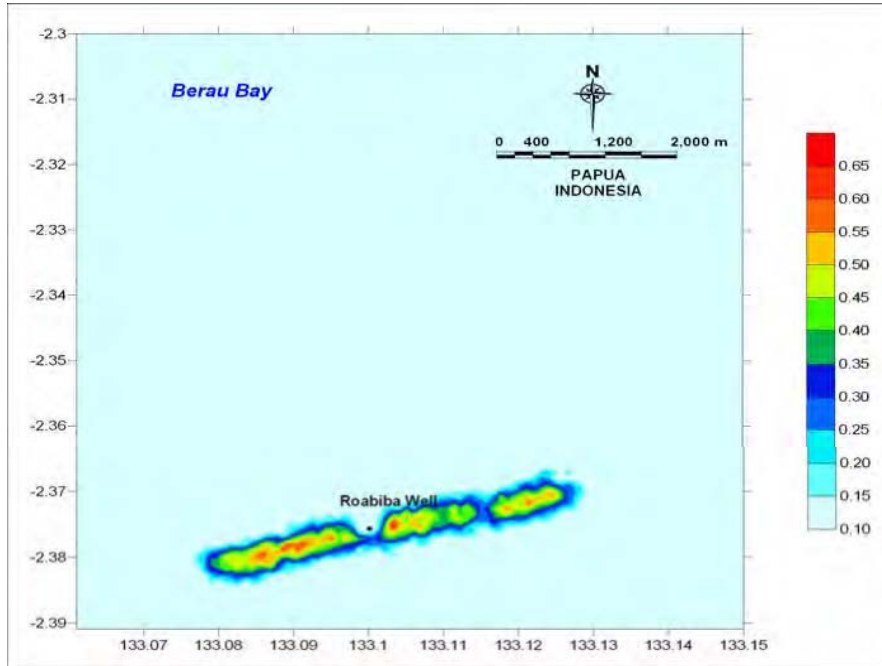


Figure F.7 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 2).

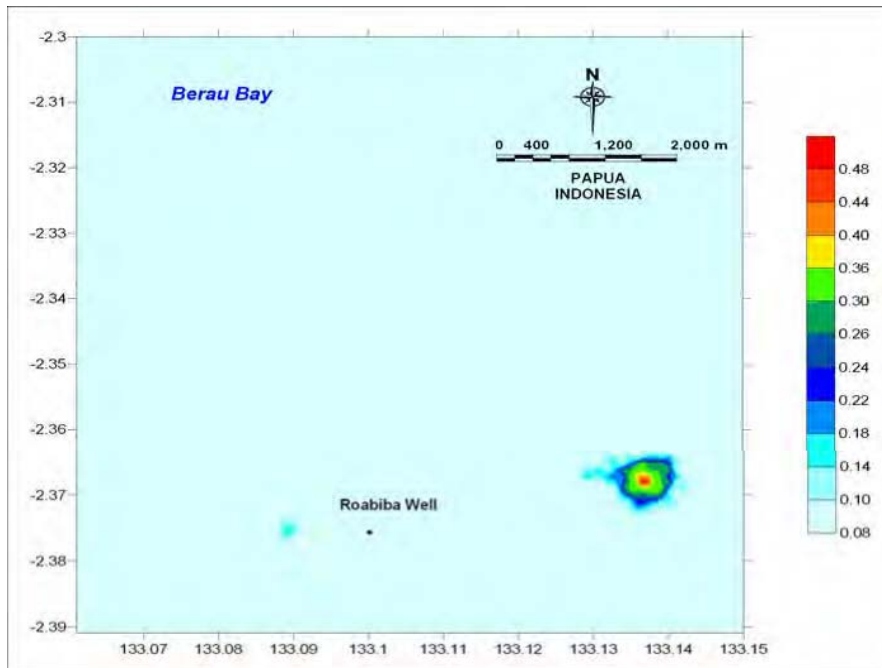


Figure F.8 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 2).

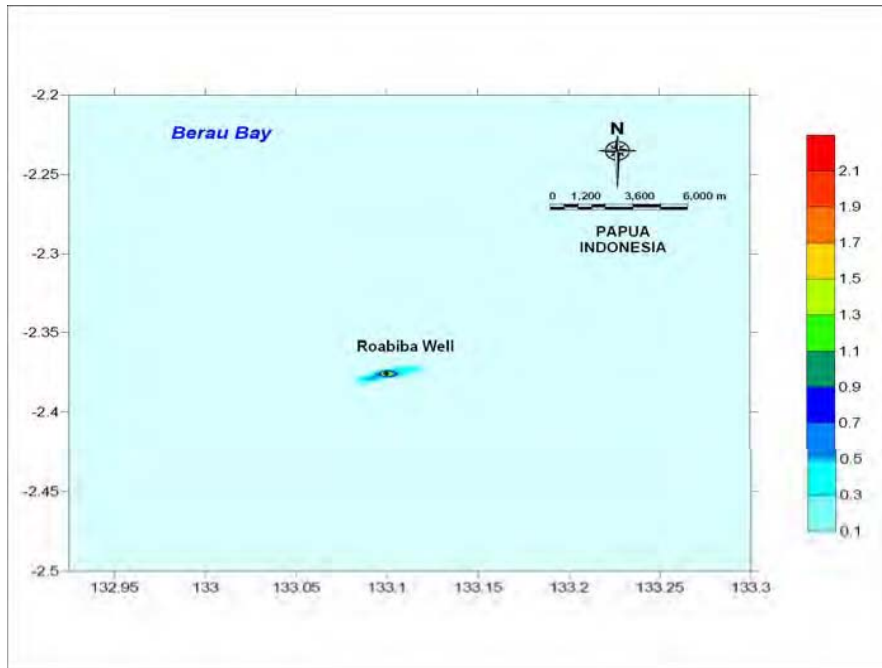


Figure F.9 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 3).

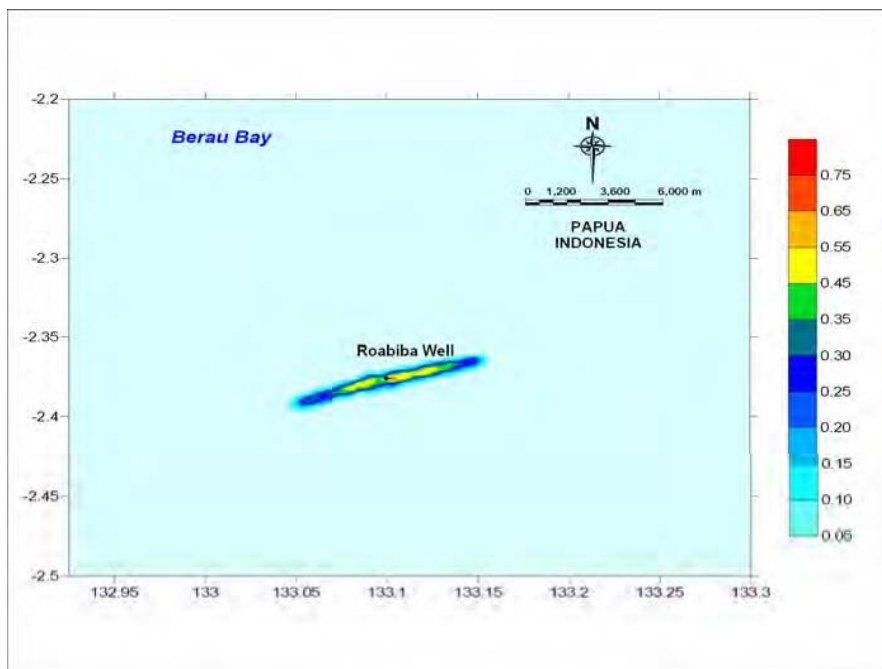


Figure F.10 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 3).

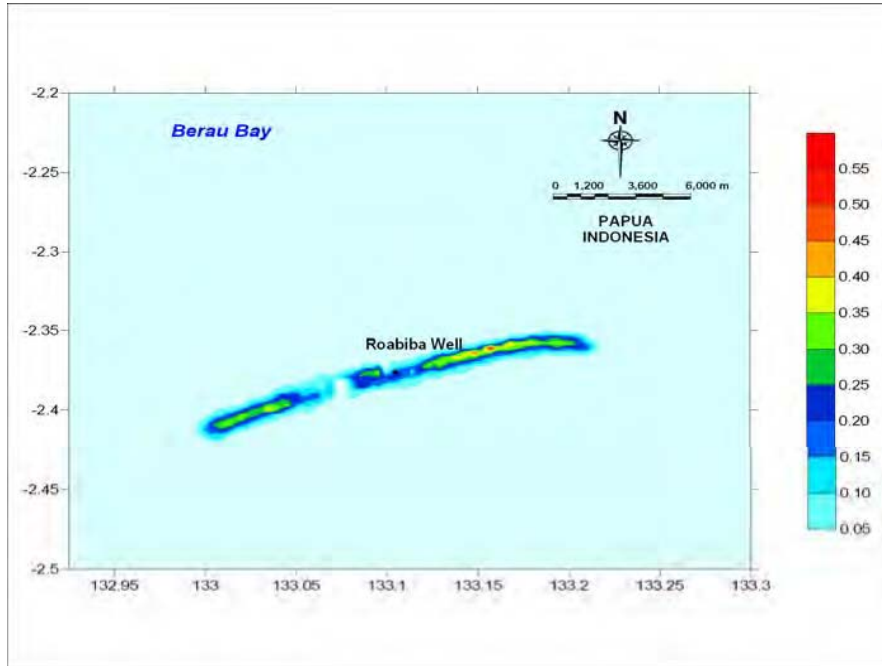


Figure F.11 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Roa-a-2 Well (Stage 3).

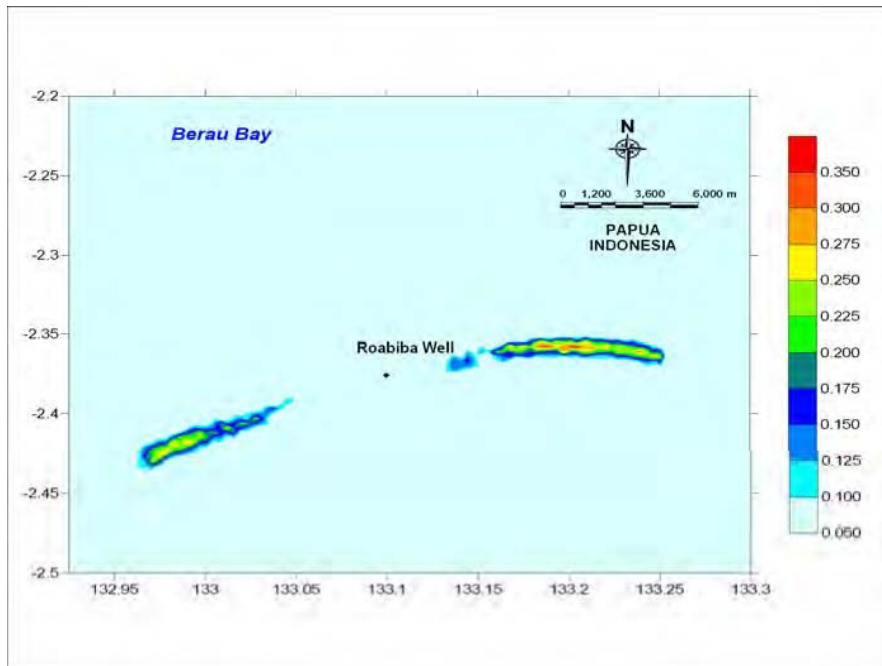


Figure F.12 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Roa-a-2 Well (Stage 3).

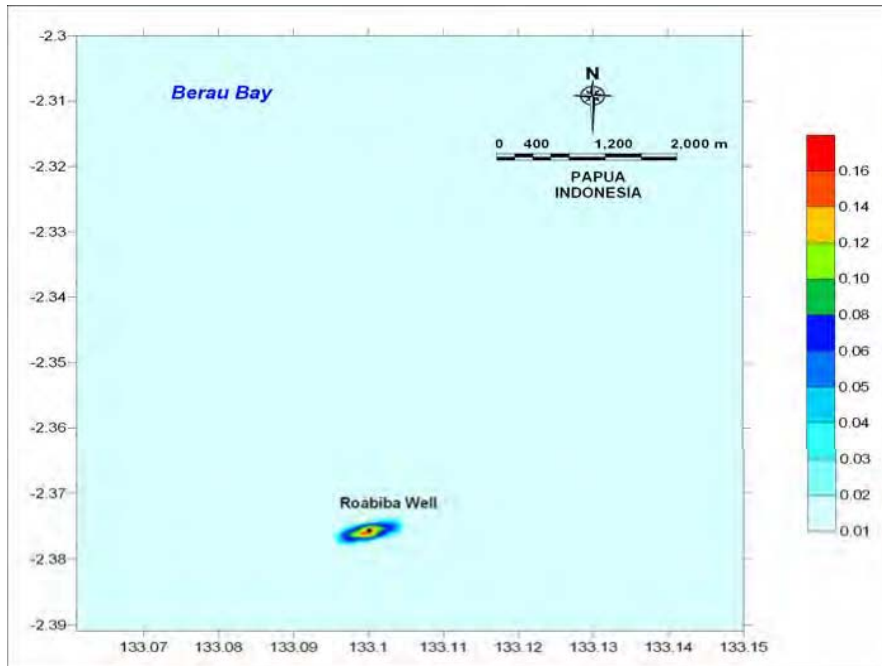


Figure F.13 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 4).

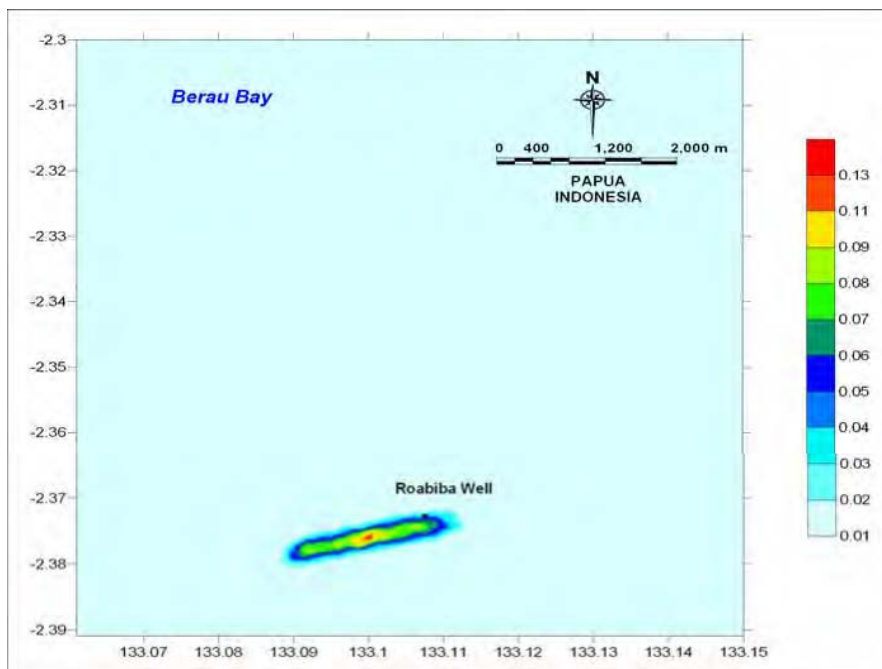


Figure F.14 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 4).

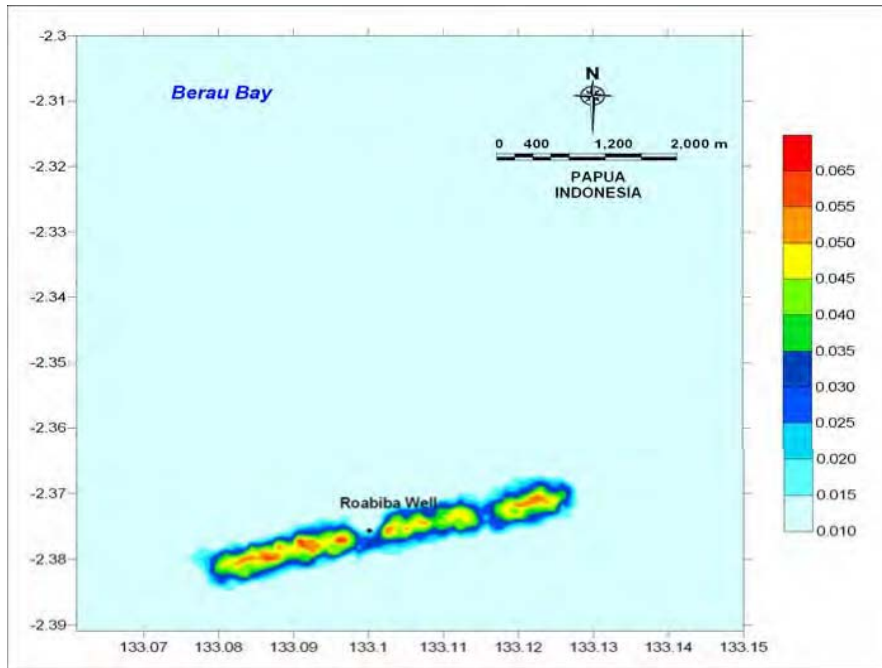


Figure F.15 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 4).

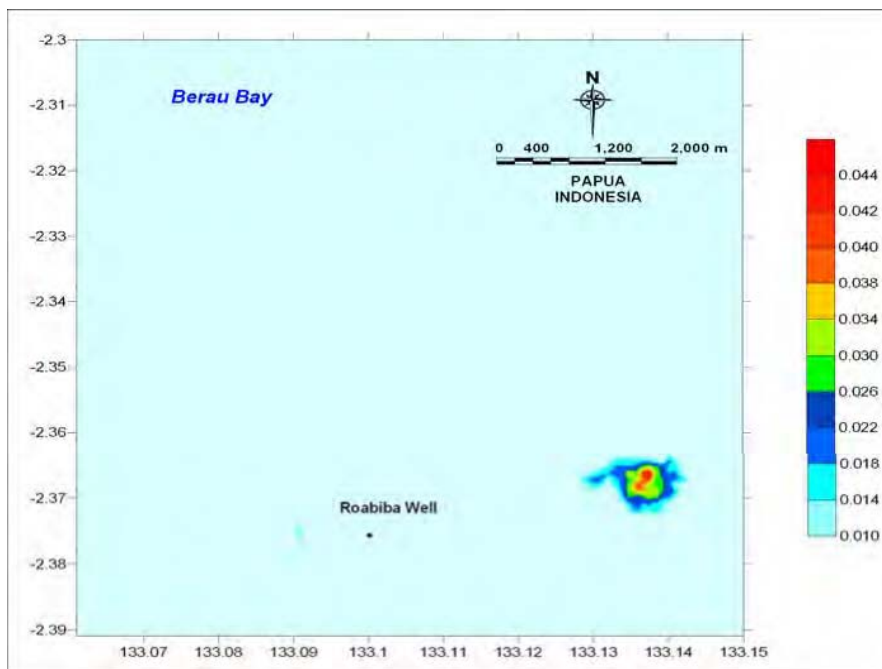


Figure F.16 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Roabiba-2 Well (Stage 4).

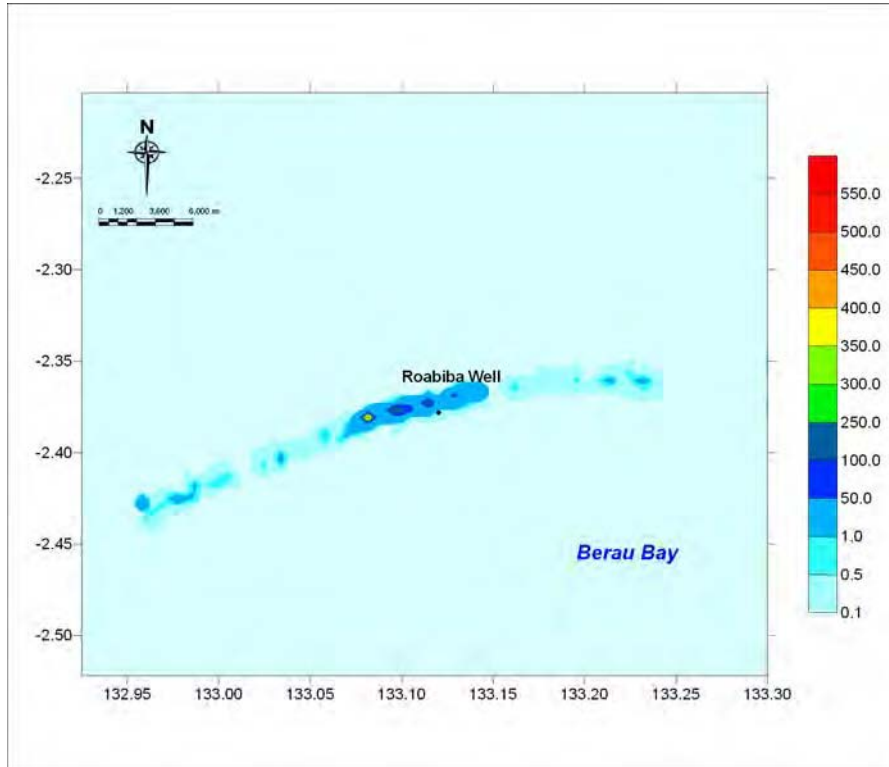


Figure F.17 Spatial extent of **Arsenic** in **Cutting Sediment Deposition** (mg m²) at Roabiba-2 Well.

Drilling Cutting and Mud Dispersion Study

Appendix **G**

**Simulation Result of Arsenic in
Cutting at Vorwata-12 Well**

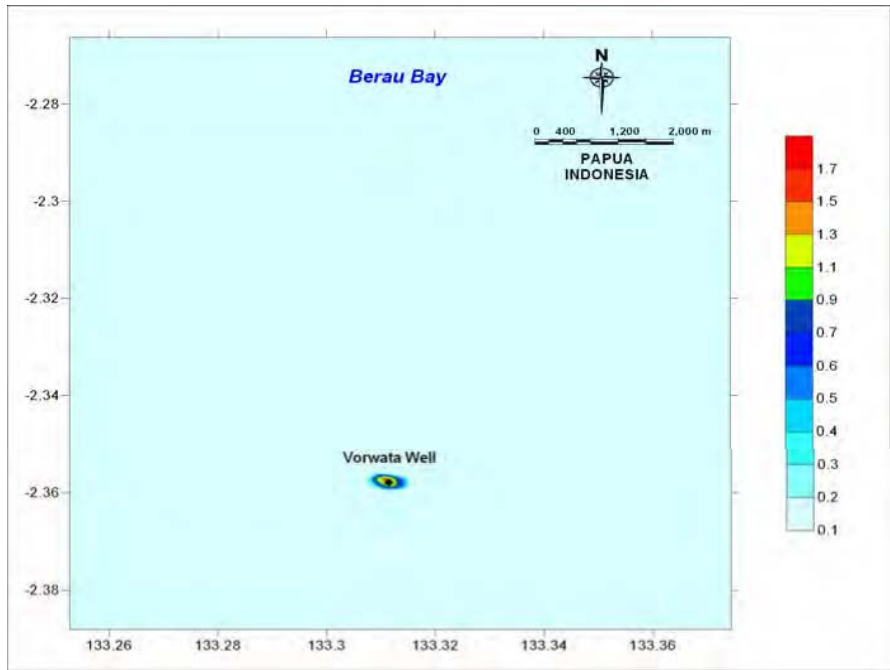


Figure G.1 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 1).

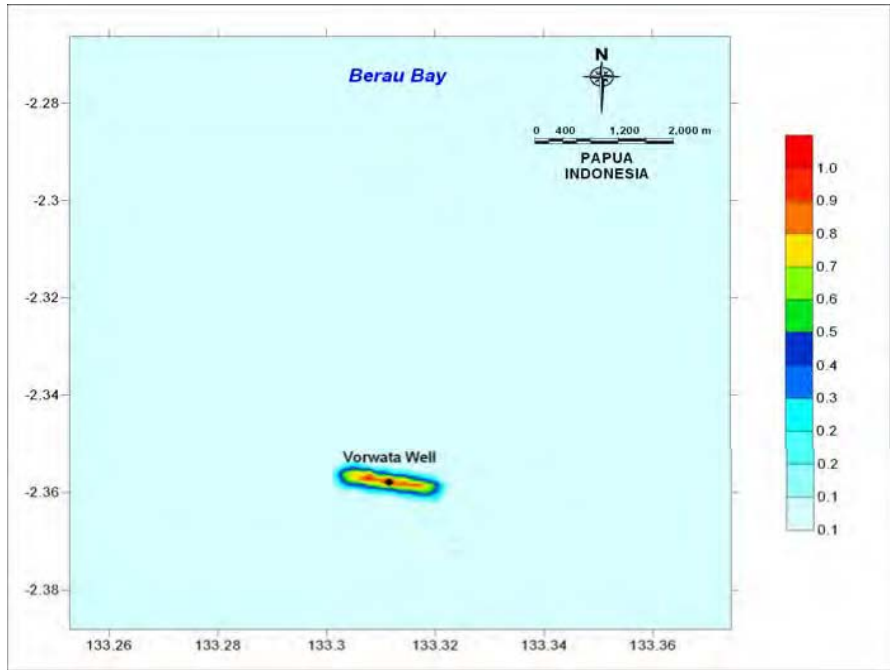


Figure G.2 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 1).

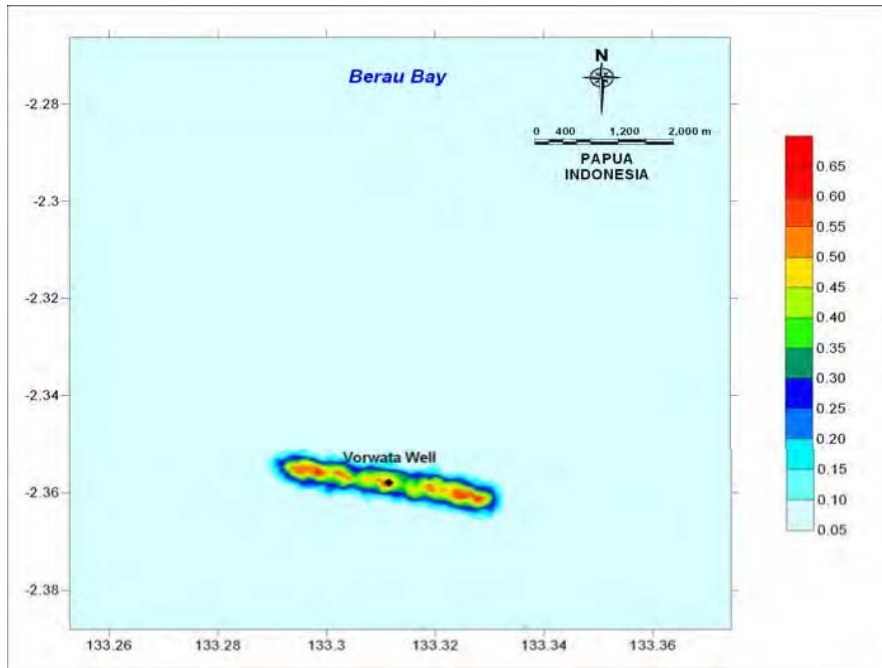


Figure G.3 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 1).

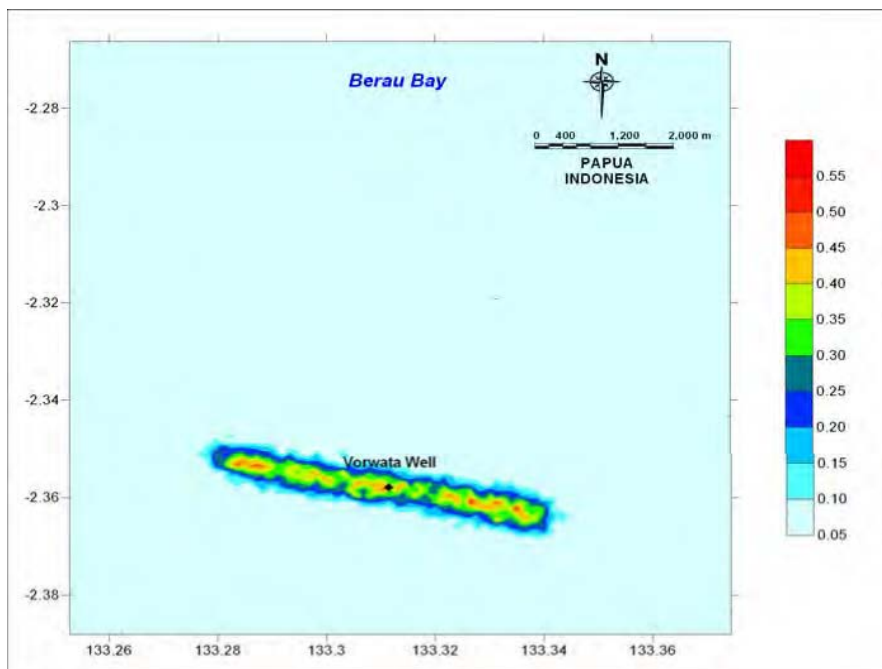


Figure G.4 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 1).

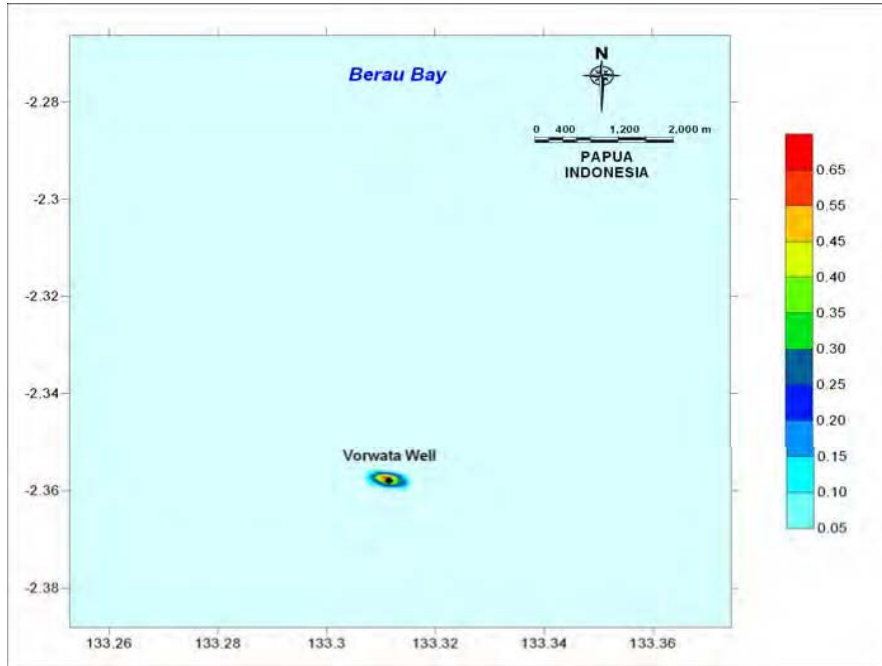


Figure G.5 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 2).

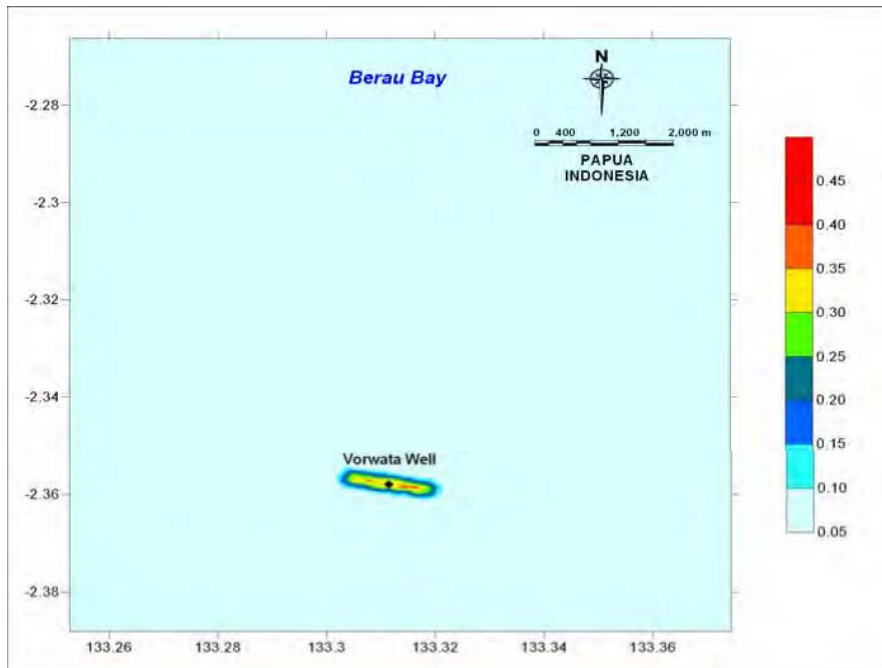


Figure G.6 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 2).

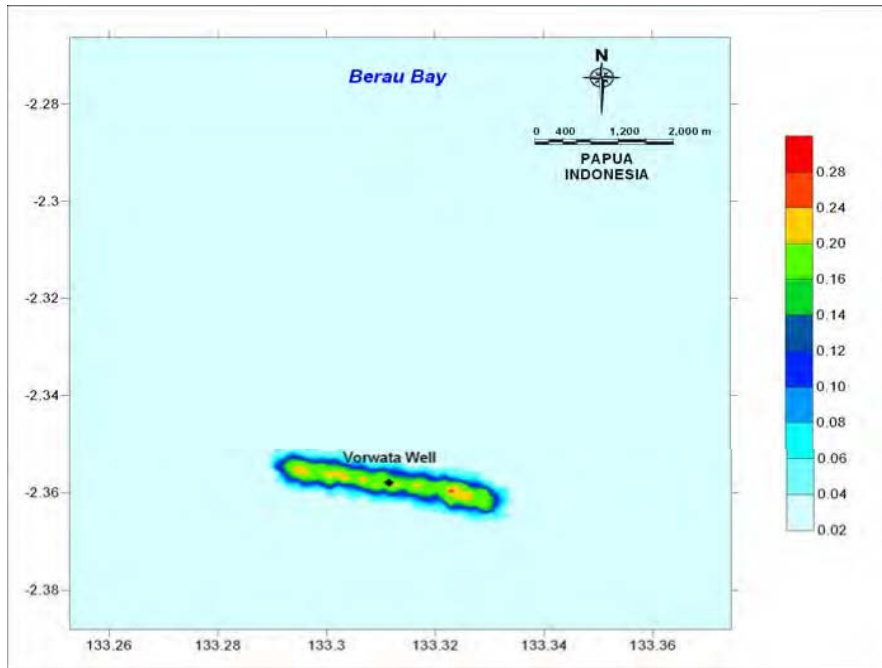


Figure G.7 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 2).

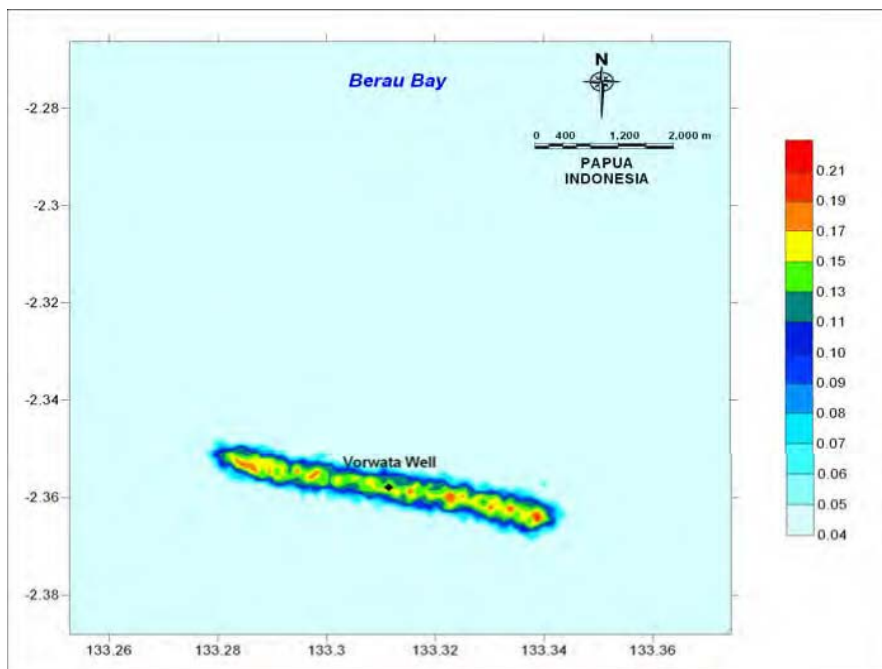


Figure G.8 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 2).

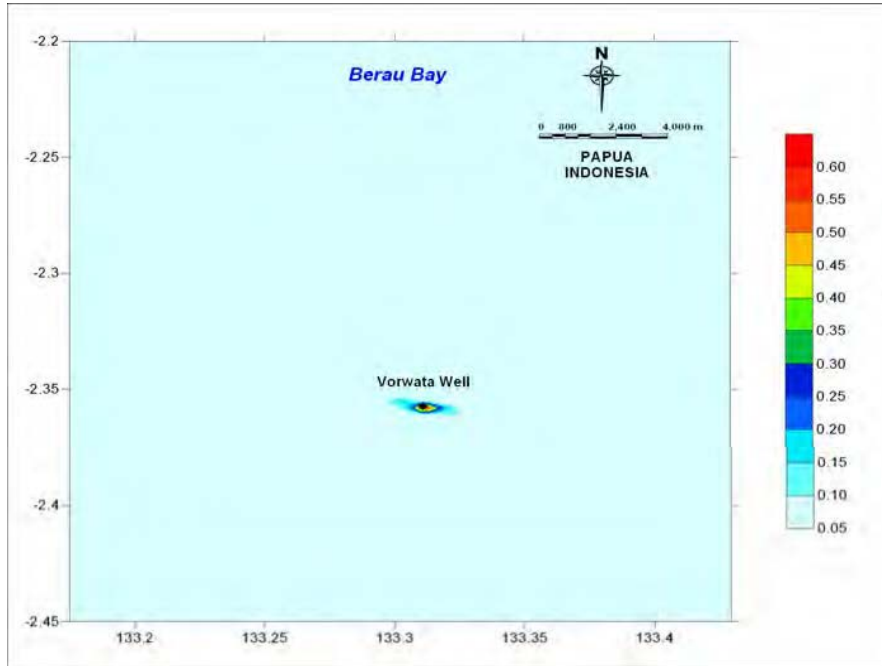


Figure G.9 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 3).

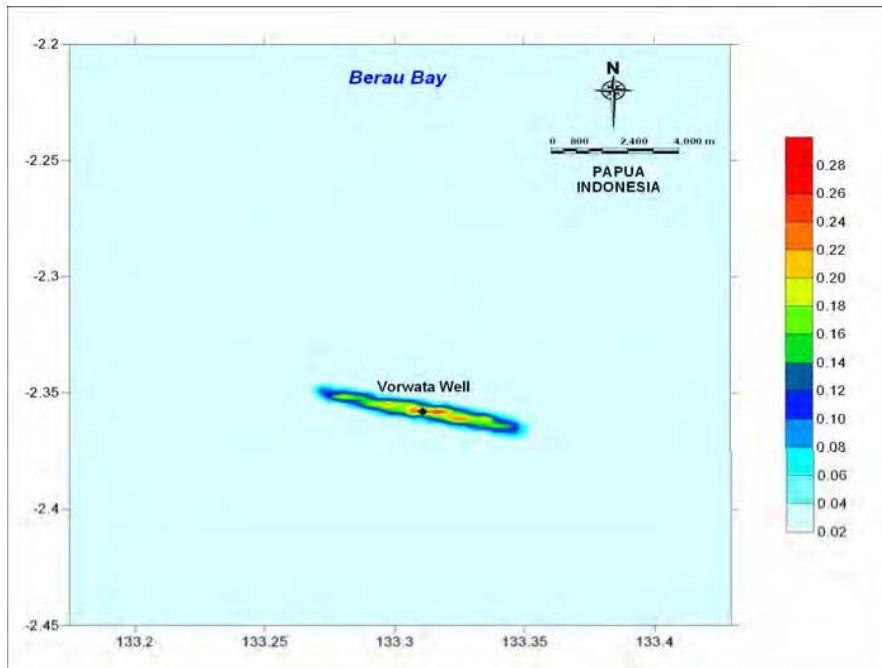


Figure G.10 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 3).

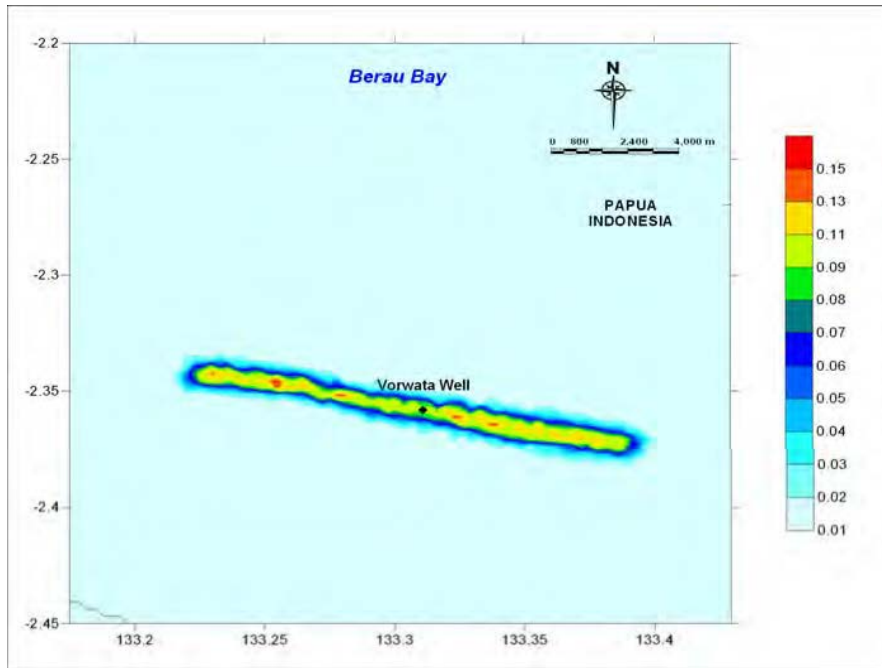


Figure G.11 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 3).

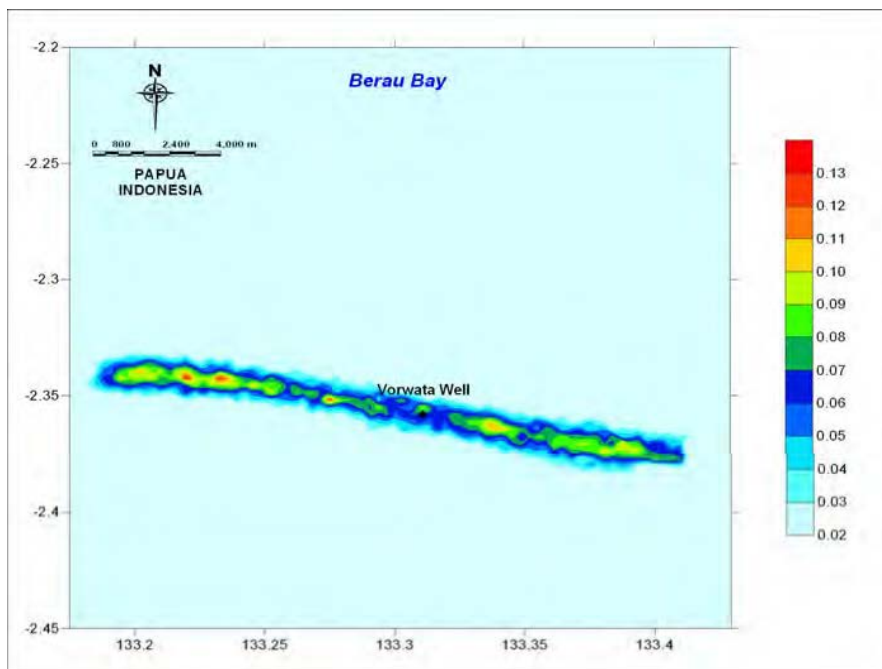


Figure G.12 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 3).

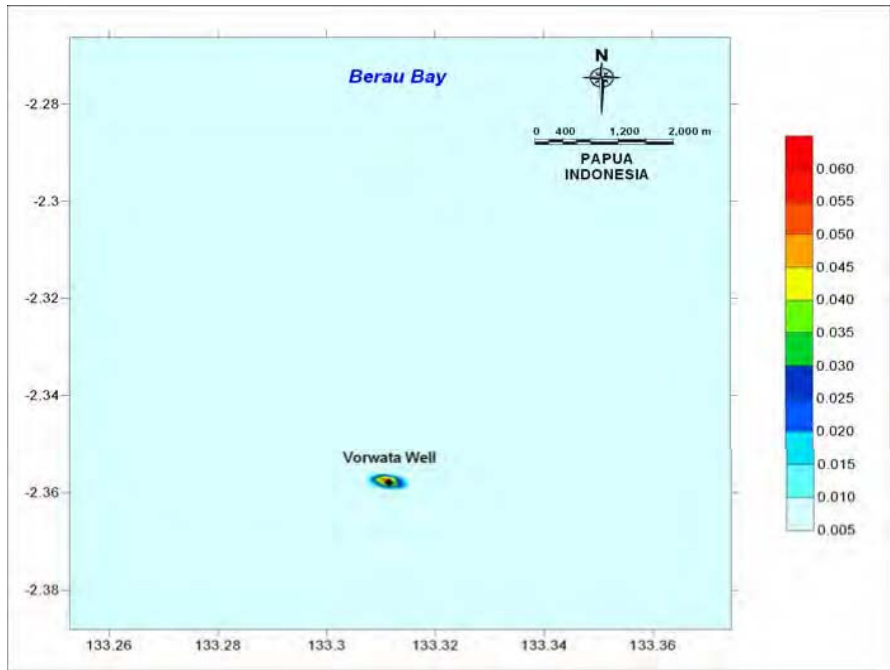


Figure G.13 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at release water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 4).

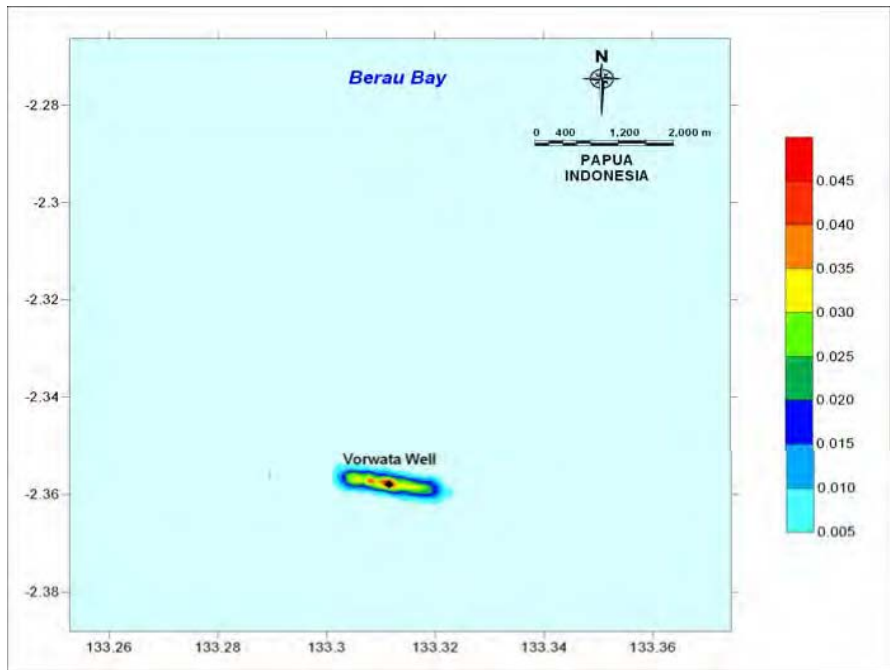


Figure G.14 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 4).

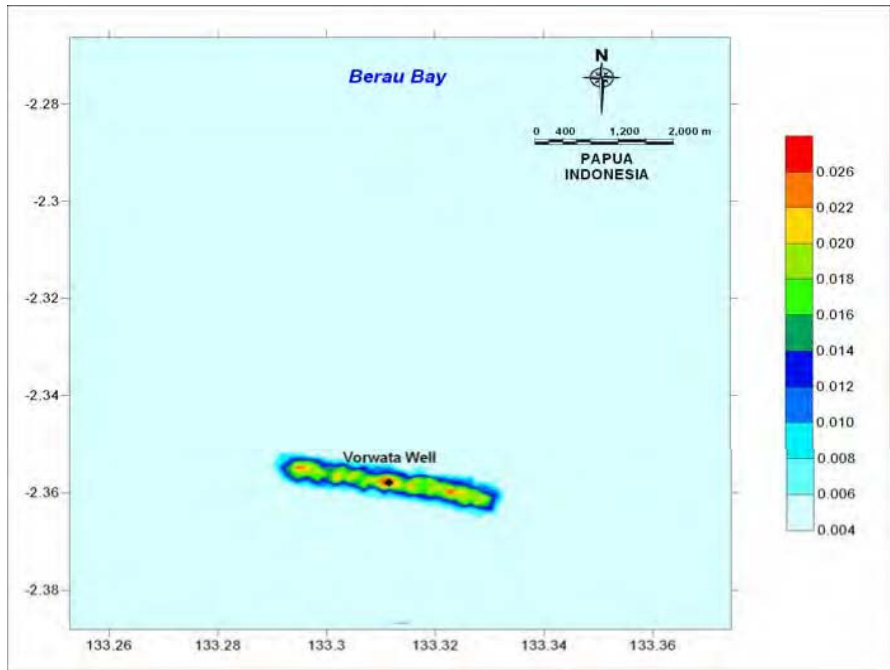


Figure G.15 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 4).

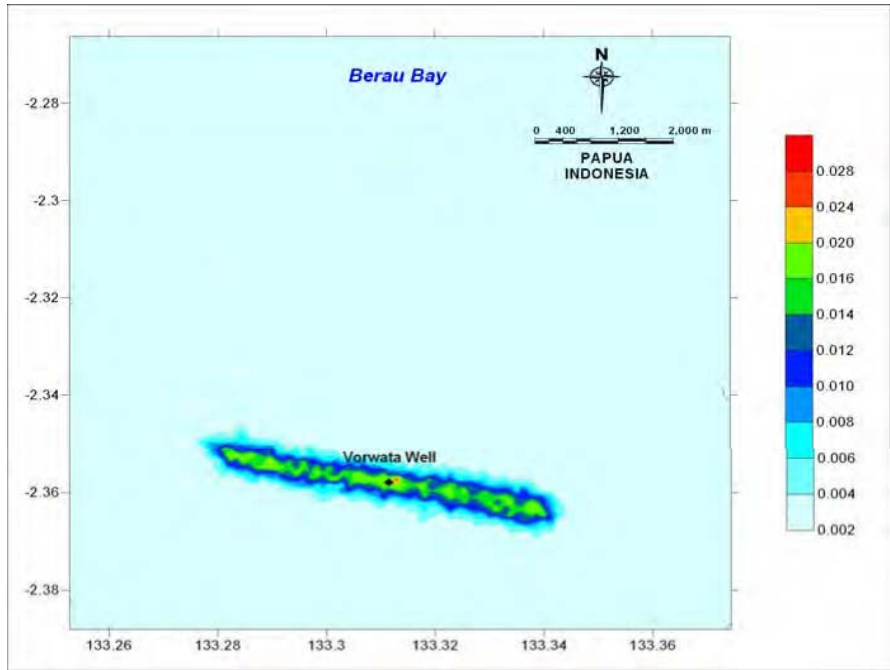


Figure G.16 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Vorwata-12 Well (Stage 4).

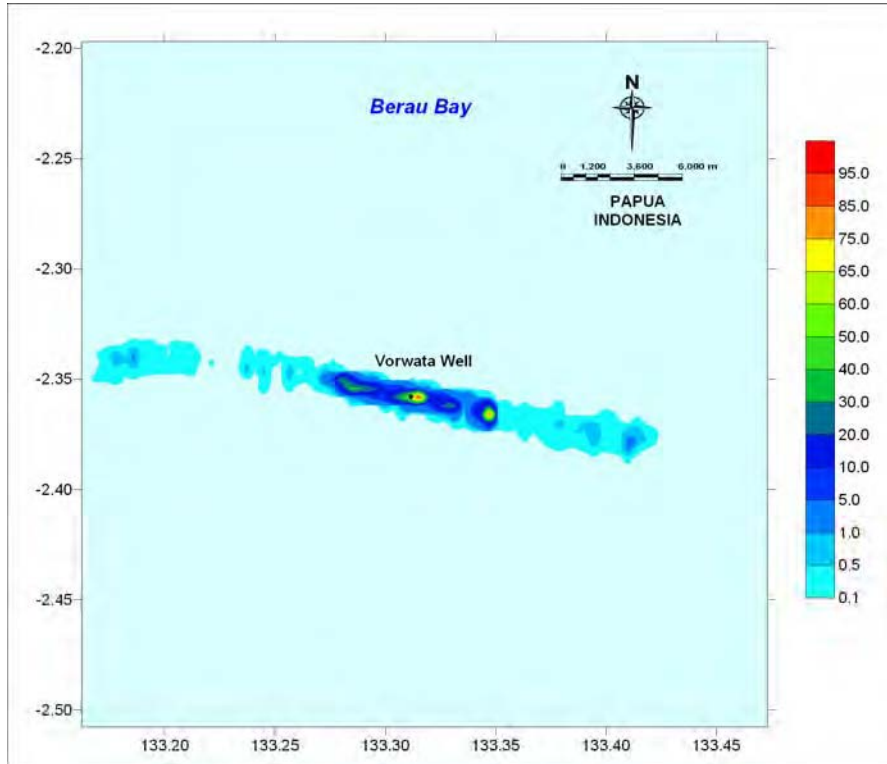


Figure G.17 Spatial extent of **Arsenic in Cutting Sediment Deposition (mg m^{-2})** at Vorwata-12 Well.

Drilling Cutting and Mud Dispersion Study

Appendix **H**

**Simulation Result of Arsenic in
Cutting at Teteruga-2 Well**

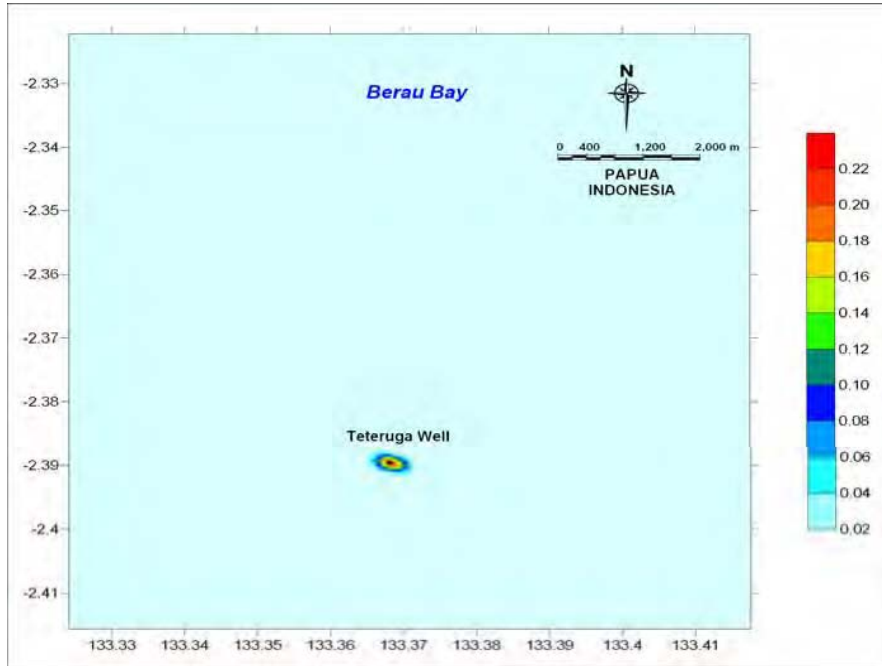


Figure H.1 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 1).

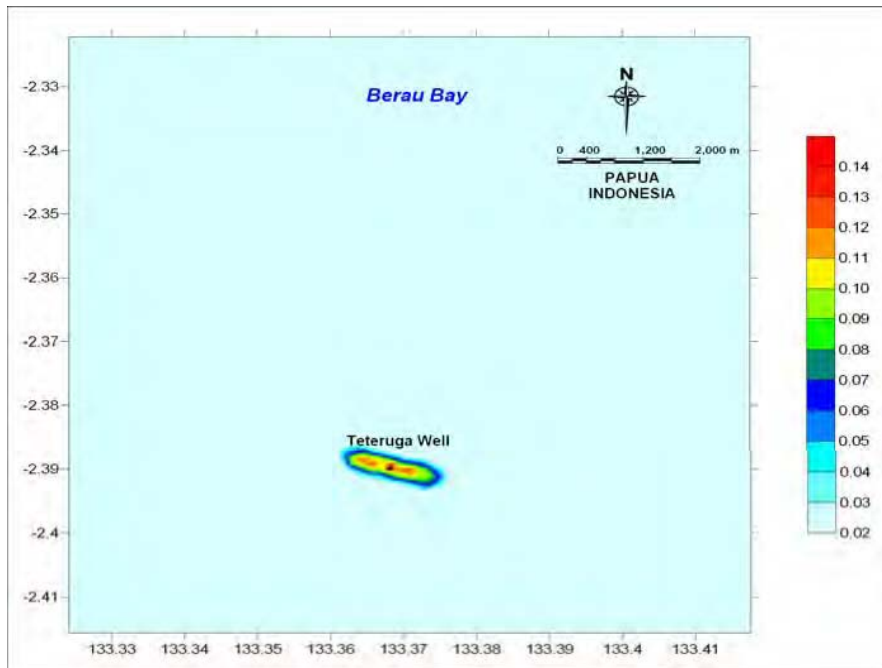


Figure H.2 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 1).

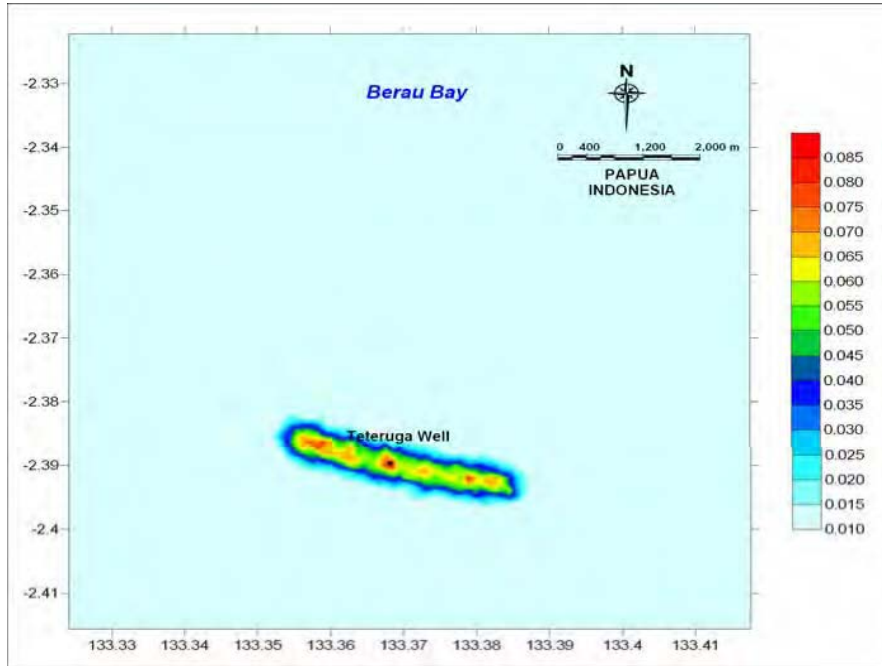


Figure H.3 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 1).

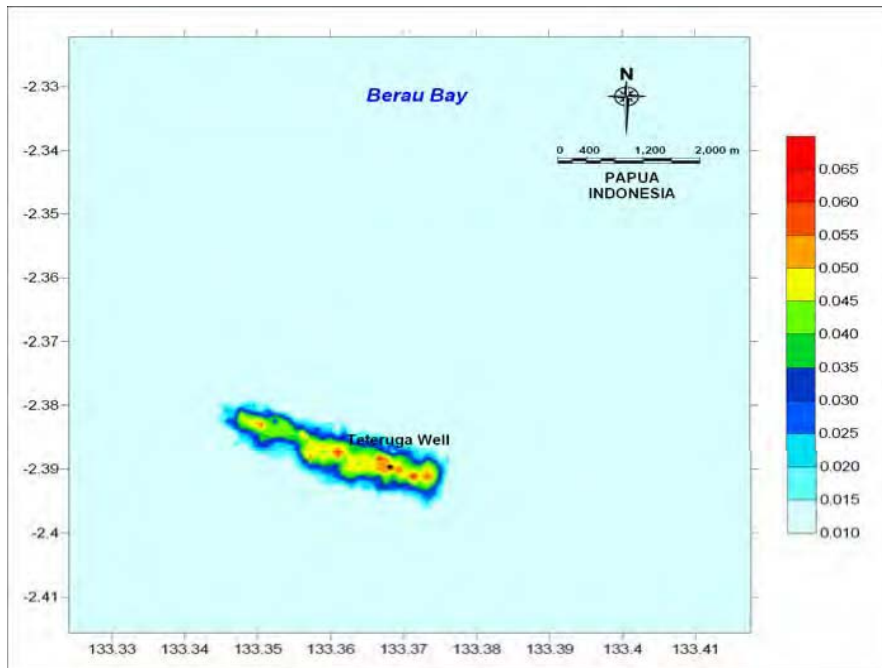


Figure H.4 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 1).

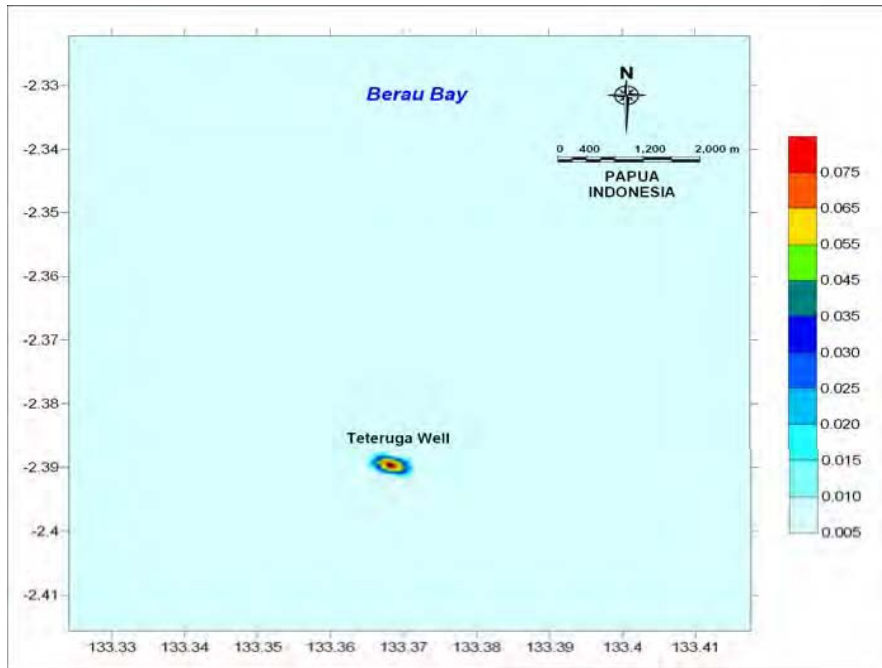


Figure H.5 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 2).

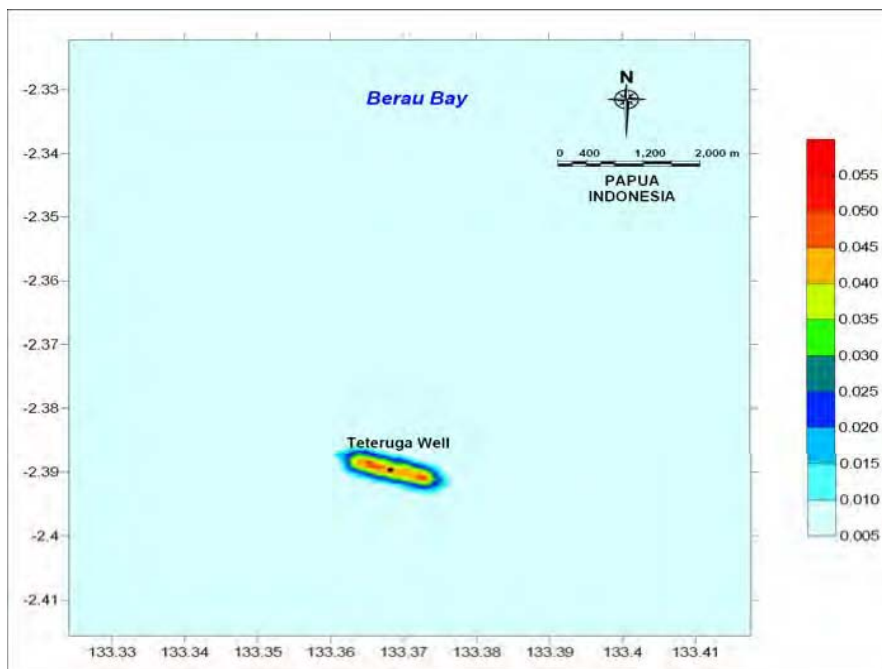


Figure H.6 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 2).

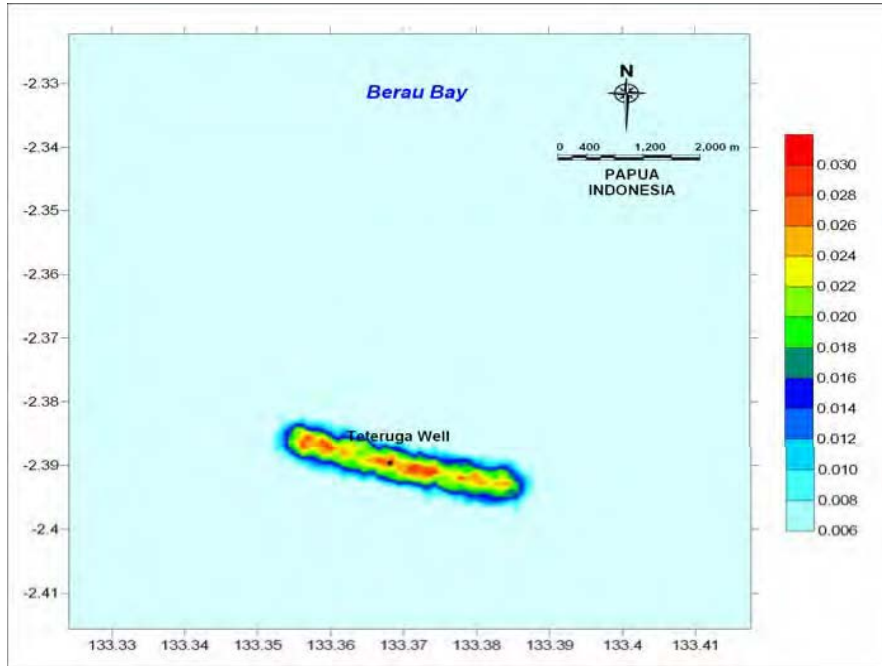


Figure H.7 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 2).

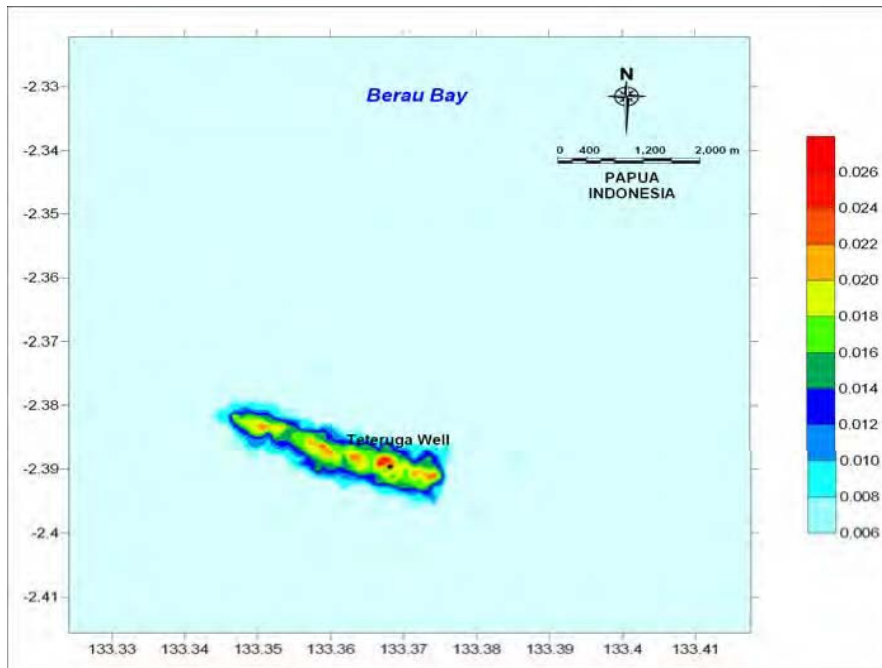


Figure H.8 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 2).

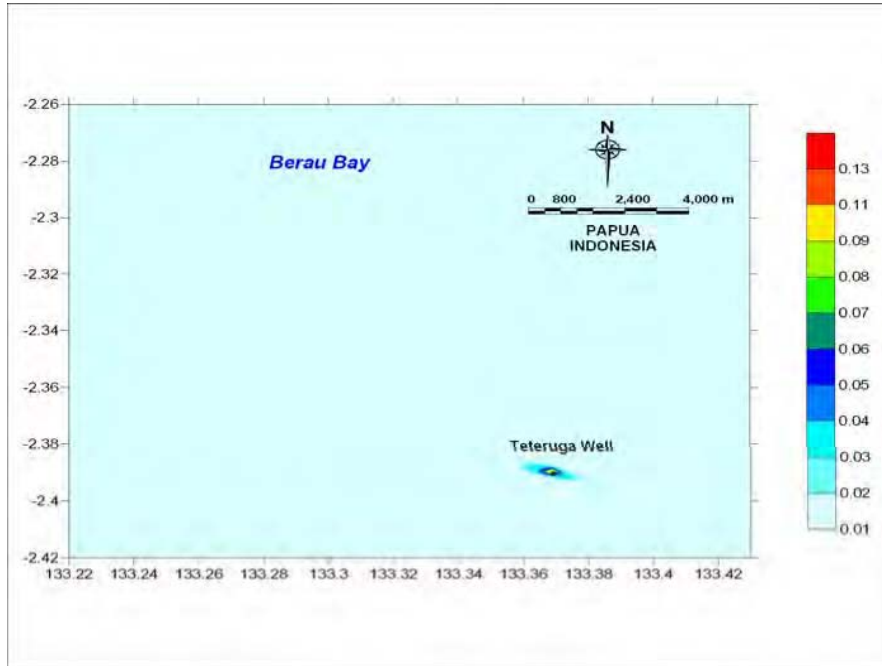


Figure H.9 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 3).

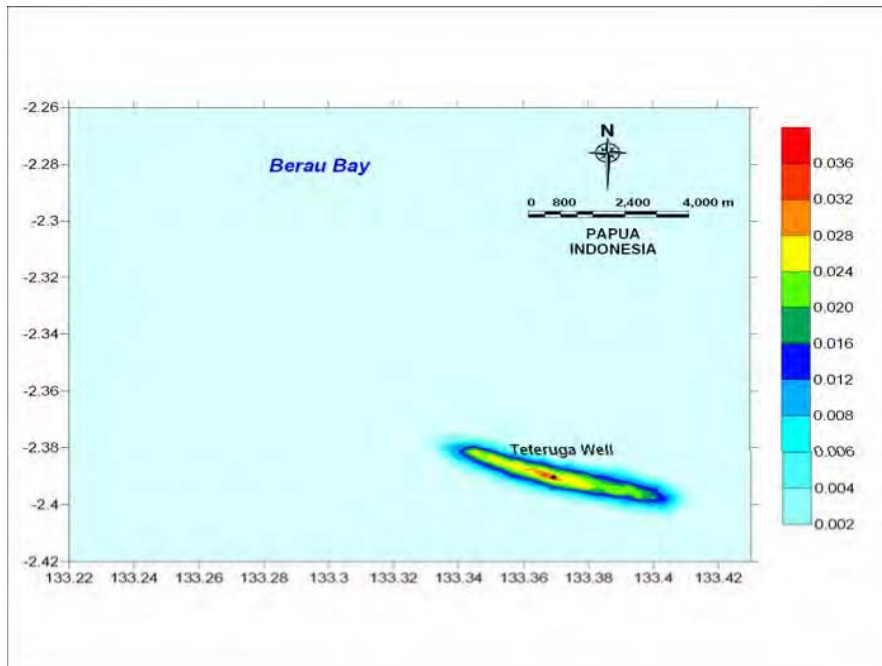


Figure H.10 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 3).

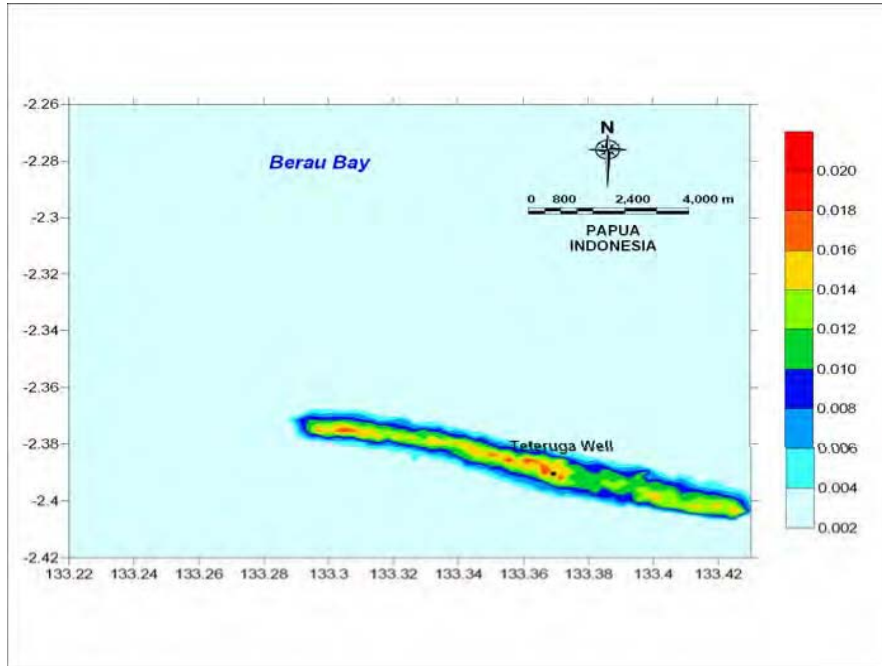


Figure H.11 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 3).

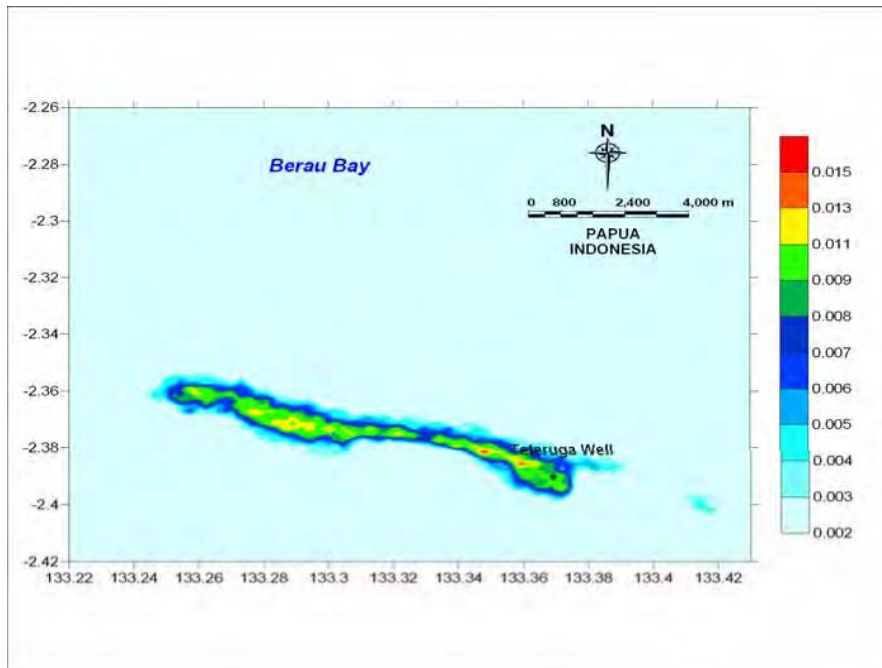


Figure H.12 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 3).

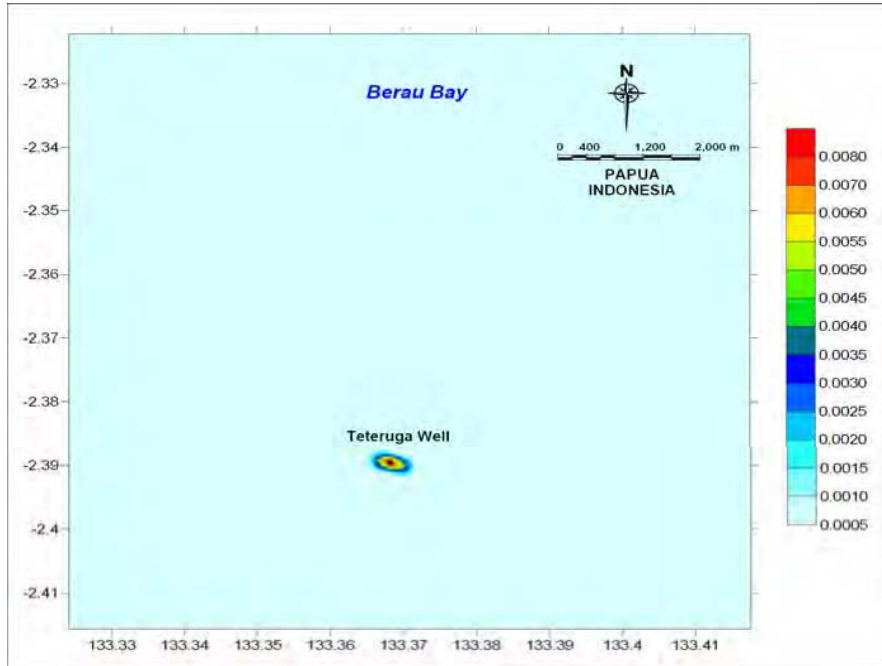


Figure H.13 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at release water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 4).

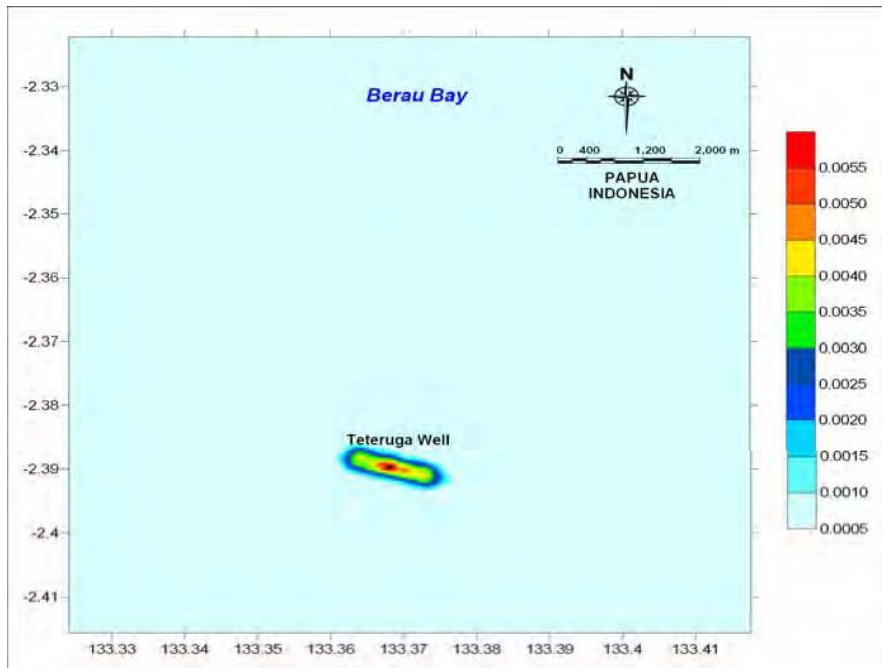


Figure H.14 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb) of Cutting Sediment** at 10 m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 4).

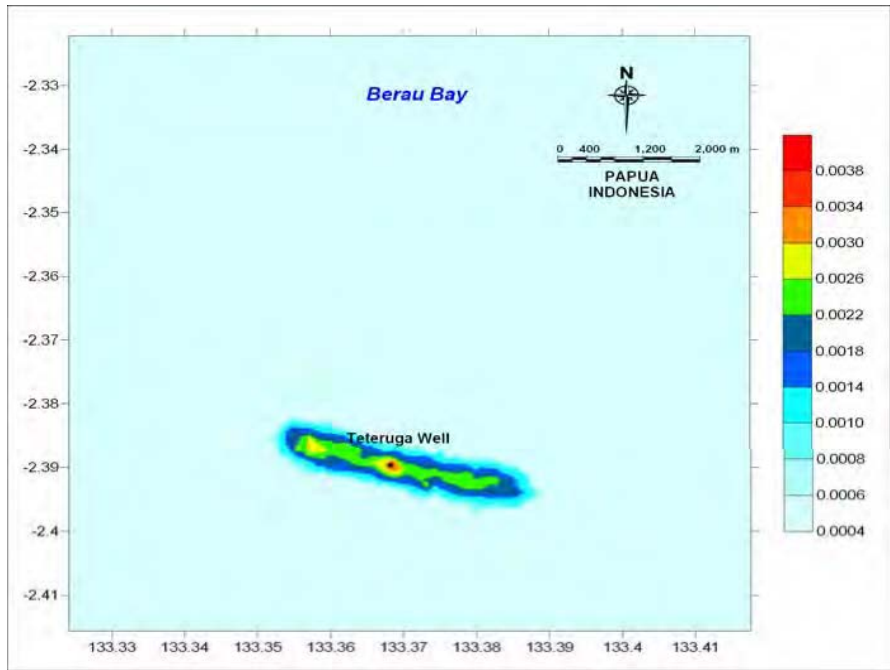


Figure H.15 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 20 m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 4).

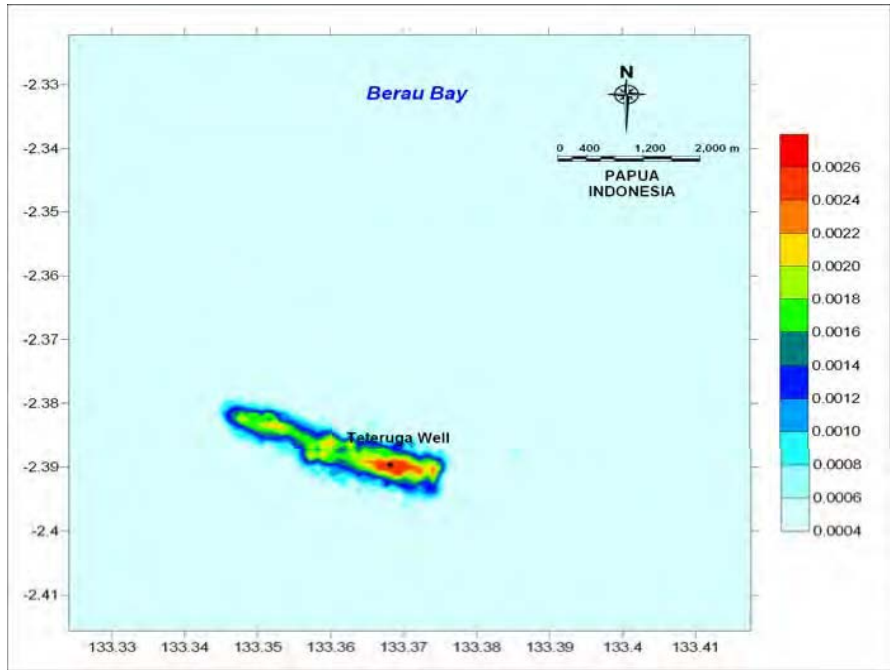


Figure H.16 Spatial extent of **Maximum Arsenic Concentration (ppb)** of **Cutting Sediment** at 30 m water depth layer at Teteruga-2 Well (Stage 4).

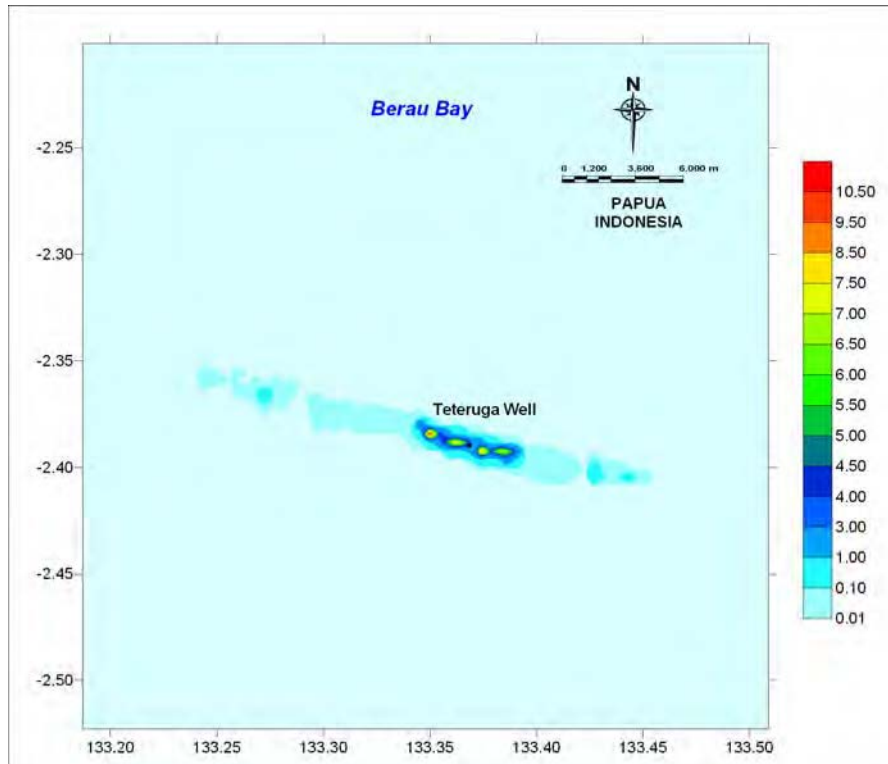


Figure H.17 Spatial extent of Arsenic in Cutting Sediment Deposition (mg m^{-2}) at Teteruga-2 Well.

Drilling Cutting and Mud Dispersion Study

Appendix I

**Simulation Result of Mud at
Dumping Location 1 (East)**

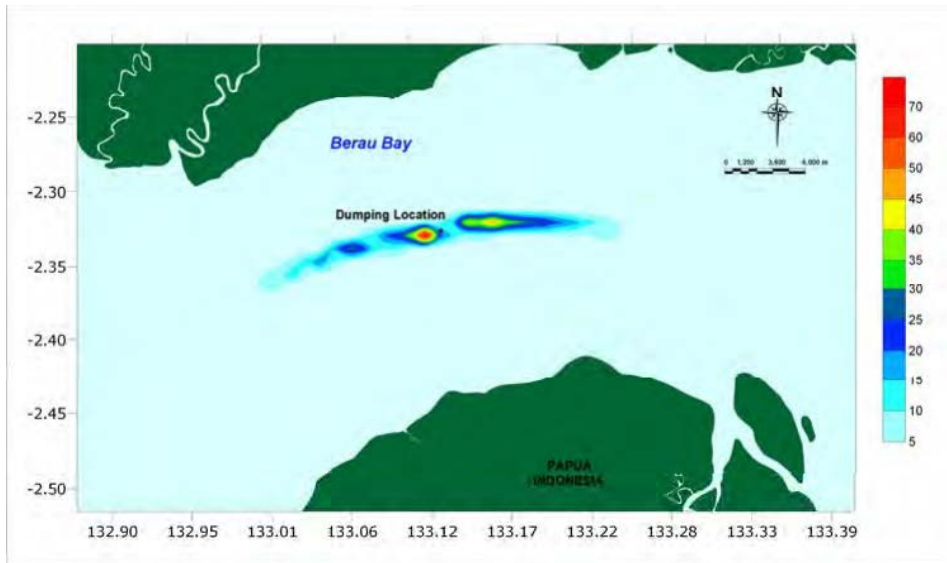


Figure I.1 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm)** of Mud Sediment at release water depth layer at East Dumping.

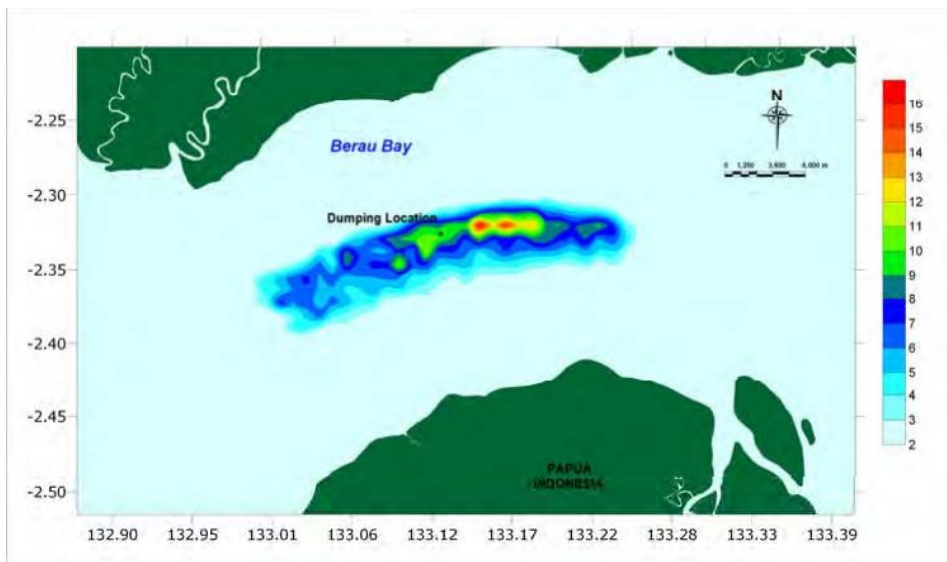


Figure I.2 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm)** of Mud Sediment at 10 m water depth layer at East Dumping (Stage 1).

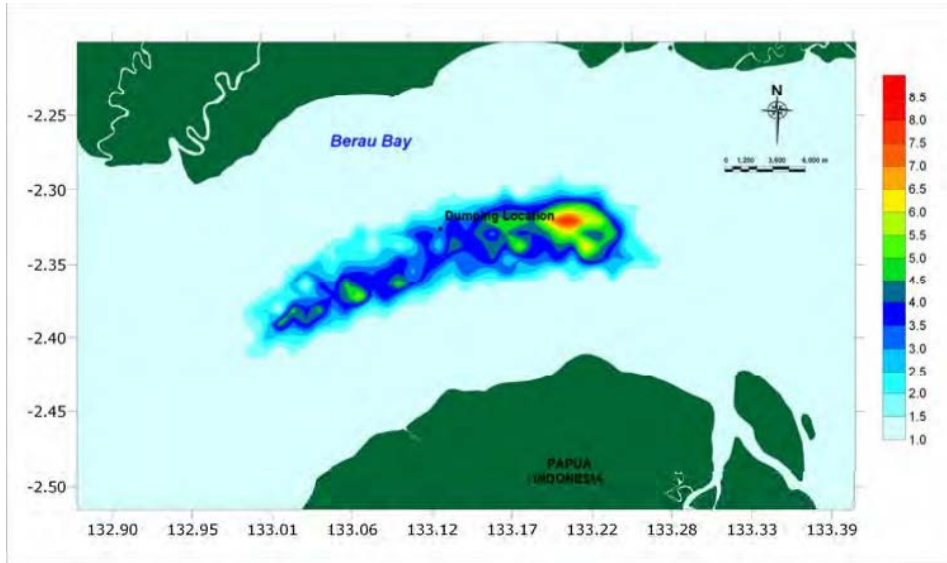


Figure I.3 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm)** of Mud Sediment at 20 m water depth layer at East Dumping.

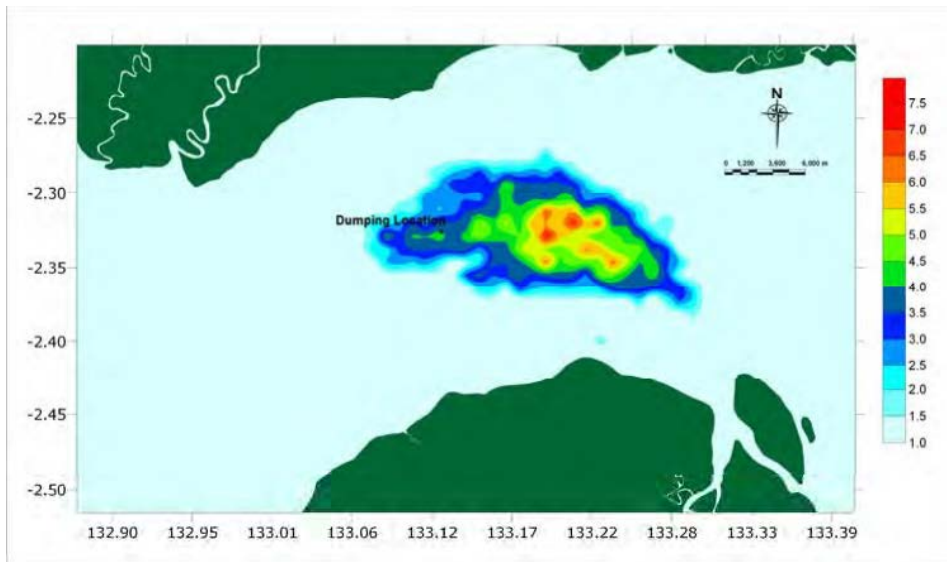


Figure I.4 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm)** of Mud Sediment at 30 m water depth layer at East Dumping.

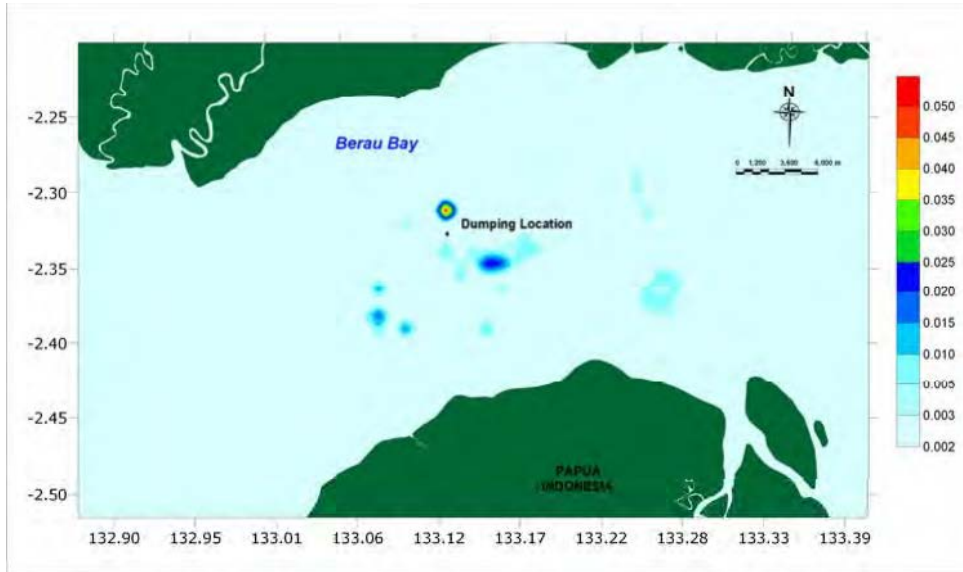


Figure I.5 Spatial extent of **Mud Sediment Deposition** (Kg m^{-2}) at East Dumping.

Drilling Cutting and Mud Dispersion Study

Appendix **J**

**Simulation Result of Mud at
Dumping Location 2 (West)**

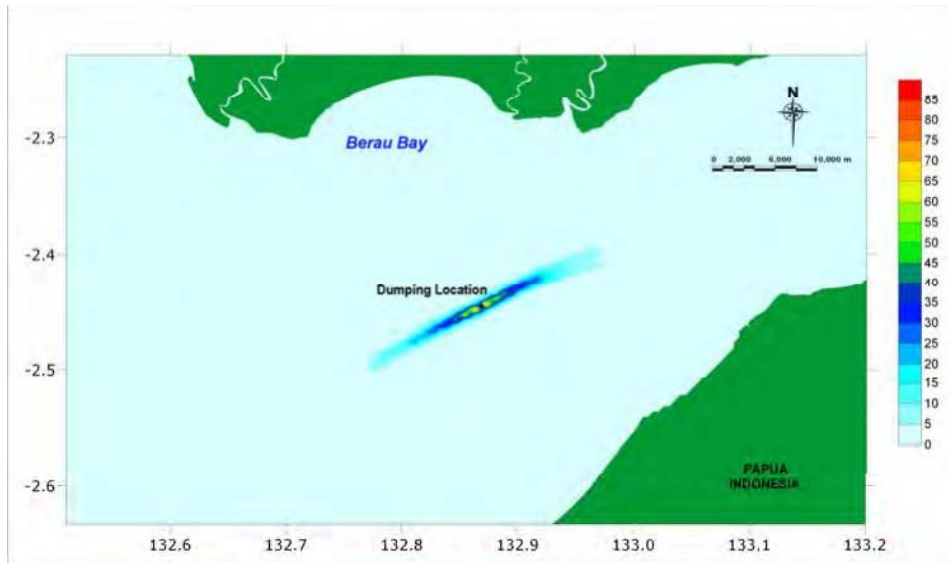


Figure J.1 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm)** of Mud Sediment at release water depth layer at West Dumping.

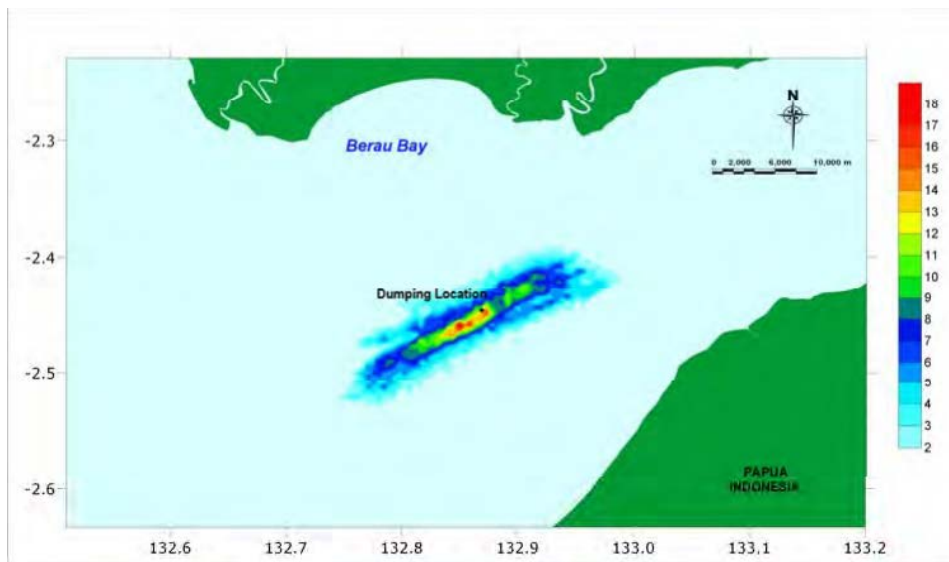


Figure J.2 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm)** of Mud Sediment at 10 m water depth layer at West Dumping.

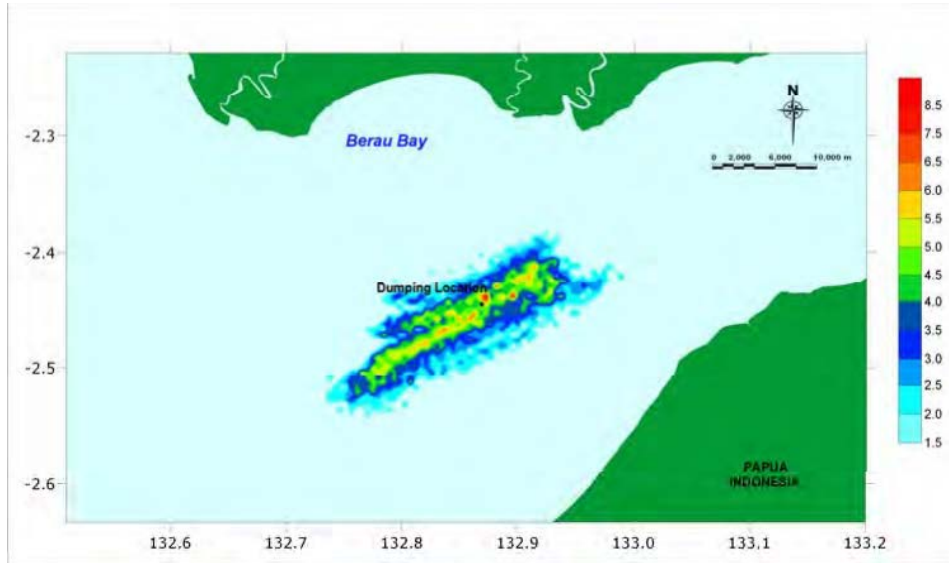


Figure J.3 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm)** of Mud Sediment at 20 m water depth layer at West Dumping.

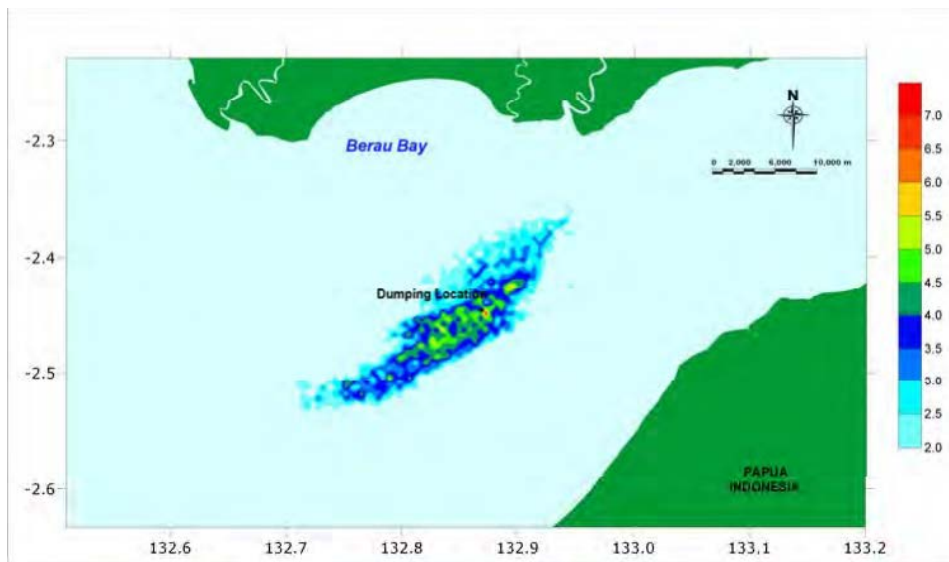


Figure J.4 Spatial extent of **Maximum Concentration (ppm)** of Mud Sediment at 30 m water depth layer at West Dumping.

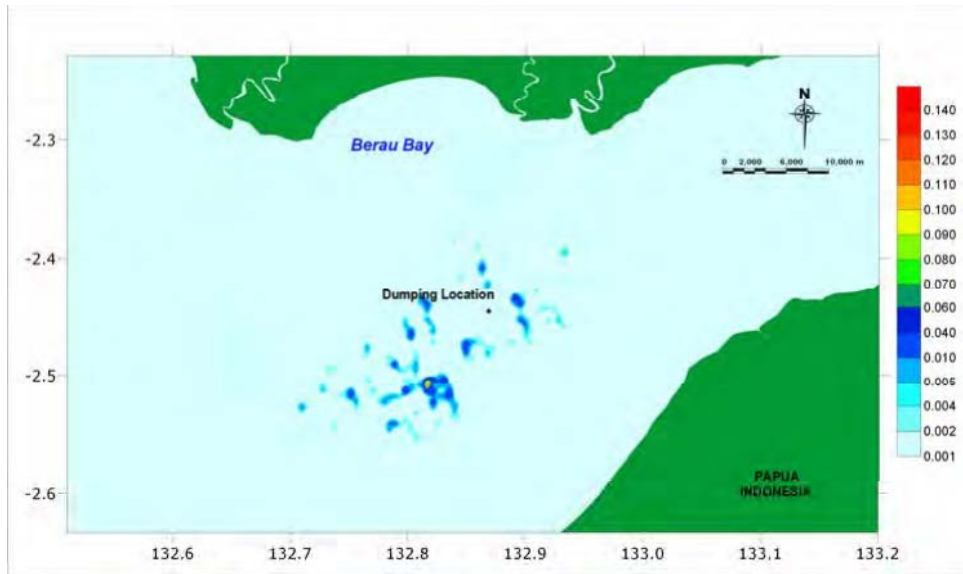
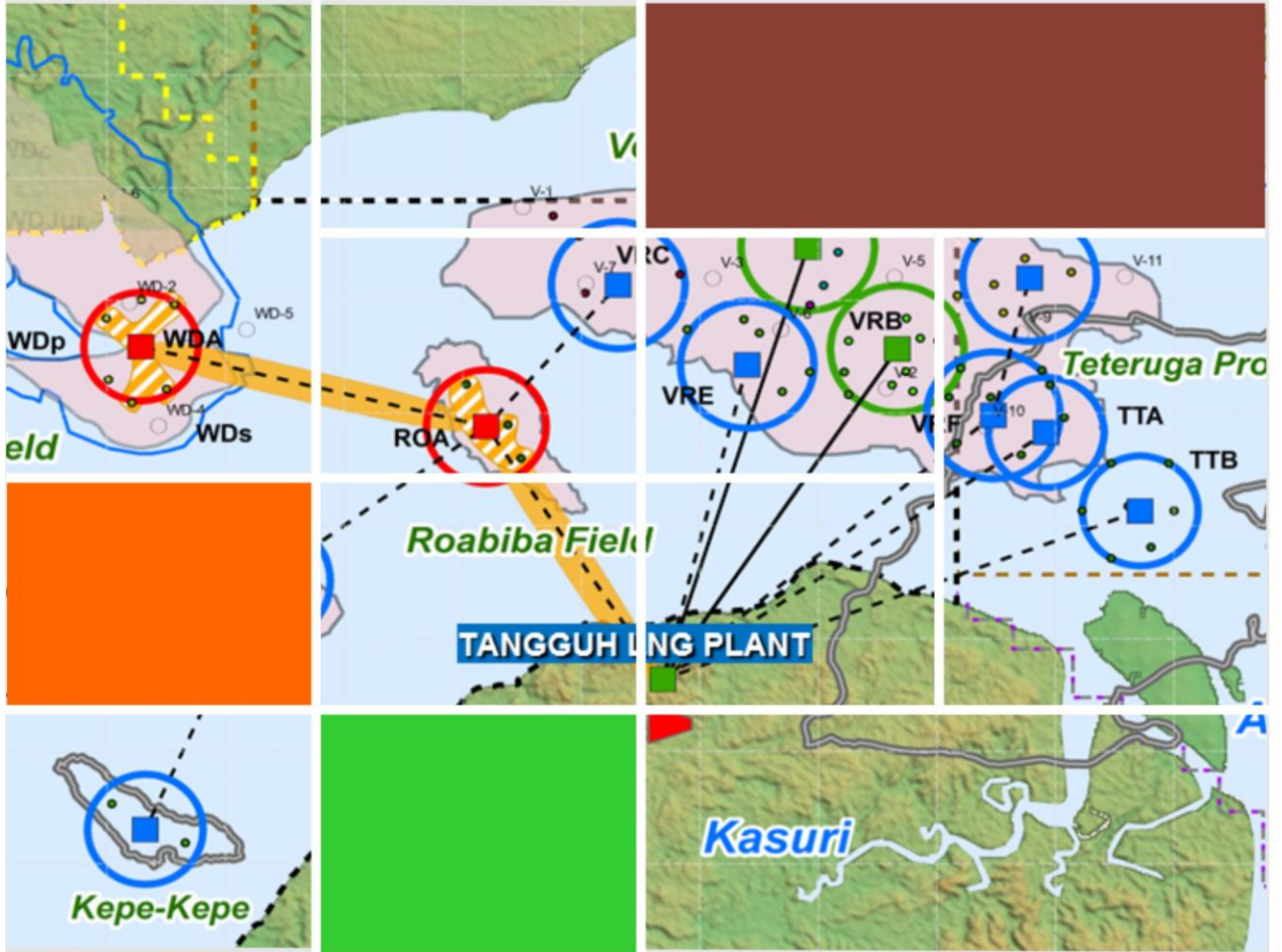


Figure J.5 Spatial extent of **Cud Sediment Deposition (Kg m^2)** at West Dumping.

Lampiran IV. 2

Pemodelan Dampak Lingkungan Dari Proyek Pengembangan Tangguh LNG

- Pemodelan Hidrodinamik
- Pemodelan Pembuangan Air Limbah Yang Tercampur
- Pemodelan Pembuangan Air Hidrotes
- Pemodelan Pembuangan Air Gabungan Air Limbah dan Air Hidrotes
- Pemodelan Pengerukan
- Pemodelan Pembuangan Material Pengerukan
- Model Pembuangan Lumpur dan Serbuk Bor Ke Laut



PEMODELAN DAMPAK LINGKUNGAN DARI PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH LNG

Disusun untuk:

BP Berau Ltd

Disusun oleh:

Environmental Resources Management

75Valley Stream Parkway, Suite 200, Malvern, PA 19355

Oktober 2013

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	x
1 RINGKASAN EKSEKUTIF.....	1
2 DESKRIPSI AREA STUDI.....	4
3 LINGKUP KERJA.....	10
4 PENDEKATAN.....	13
4.1 Metodologi Pemodelan.....	13
4.1.1 Pemodelan Hidrodinamika.....	15
4.1.2 Pemodelan Air Limbah Campuran dan PEmbuangan Air Limbah <i>Hydrotest</i>	16
4.1.3 Sebaran Dampak Kumulatif Lumpur dan Serbuk Bor.....	16
4.1.4 Pembuangan Material Keruk.....	17
4.2 Deskripsi Rangkaian GEMSS.....	17
4.2.1 GEMSS-HDM.....	19
4.2.2 GEMSS-UDC.....	20
4.2.3 GEMSS-GIFT.....	21
4.3 Deskripsi CORMIX.....	21
4.4 Deskripsi ADDAMS.....	22
4.4.1 DREDGE.....	22
4.4.2 STFATE.....	22
5 PEMODELAN HIDRODINAMIKA.....	23
5.1 Data Spasial.....	23
5.2 Batasan Data.....	25
5.3 Rancangan Skenario.....	30
5.4 Konfirmasi Model.....	31
5.5 <i>Subgrid</i> Model GIFT.....	34
6 PEMODELAN PEMBUANGAN AIR LIMBAH CAMPURAN.....	35
6.1 Desain Skenario.....	35
6.2 Informasi Pembuangan.....	35
6.3 Pemodelan <i>Near-field</i>	37
6.4 Permodelan <i>Far-field</i>	41
6.5 Kesimpulan.....	49

7	PEMODELAN PEMBUANGAN AIR LIMBAH <i>HYDROTEST</i>	50
7.1	Rancangan skenario	50
7.2	Informasi Pembuangan.....	50
7.3	Pemodelan <i>Near-field</i>	52
7.4	Pemodelan <i>Far-field</i>	57
7.5	Kesimpulan	62
8	PEMODELAN PEMBUANGAN AIR GABUNGAN AIR LIMBAH DAN AIR LIMBAH <i>HYDROTEST</i>	63
8.1	Rancangan skenario	63
8.2	Informasi Pembuangan.....	63
8.3	Pemodelan <i>Near-field</i>	63
8.4	Pemodelan <i>Far-field</i>	66
8.5	Kesimpulan	69
9	PEMODELAN Pengerukan	70
9.1	Kriteria Kajian	70
9.2	Rancangan Skenario.....	71
9.3	Data Kegiatan Pengerukan dan Data Sedimen.....	72
9.4	Pemodelan <i>Near-field</i>	74
9.5	Pemodelan <i>Far-field</i>	78
9.6	Kesimpulan	82
10	PEMODELAN PEMBUANGAN MATERI HASIL Pengerukan	84
10.1	Desain Skenario	84
10.2	Data Pembuangan dan Sedimen	84
10.3	Pemodelan <i>Near-field</i>	85
10.4	Pemodelan <i>Far-field</i>	94
10.5	Kesimpulan	98
11	PEMODELAN LUMPUR DAN SERBUK BOR	99
11.1	Rancangan Skenario.....	99
11.2	Data Lumpur Dan Serbuk Bor	100
11.3	Pemodelan <i>Far-field</i>	102
11.3.1	Pengeboran di ROA.....	102
11.3.2	Pengeboran di TTB.....	106
11.3.3	Pengeboran di WDA.....	110
11.3.4	Pengeboran di UBA	113
11.4	Kesimpulan	117
12	SINGKATAN	119
13	REFERENSI	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Peta Wilayah di Sekitar Tangguh LNG.....	4
Gambar 2-2	<i>Wind Roses</i> Berdasarkan Pengukuran yang Diambil di Tanah Merah.....	6
Gambar 2-3	Grafik Sebaran Kecepatan (cm/s) dan Arah Arus yang Diamati di Lokasi <i>Ocean Tower</i>	8
Gambar 2-4	Data Berurutan Kecepatan dan Arah Arus yang Diamati di Lokasi <i>Ocean Tower</i>	9
Gambar 3-1	Peta Teluk Berau/Teluk Bintuni dengan Fasilitas Tangguh LNG dan Lokasi yang diusulkan untuk Pengeboran, Pembuangan Air Limbah Hasil Uji Tes Tekan (<i>hydrottest</i>), dan Pembuangan Material Keruk yang Termasuk dalam Pemodelan Saat Ini.....	12
Gambar 3-2	Peta Fasilitas Tangguh LNG dengan Struktur Terminal Khusus, Lokasi Pembuangan (outfall), dan Lokasi Kerukan yang Termasuk dalam Pemodelan Ini.....	12
Gambar 4-1	Modul GEMSS: Rangkaian Pertama.....	18
Gambar 4-2	Modul GEMSS: Rangkaian Kedua.....	19
Gambar 5-1	<i>Grid</i> Model Hidrodinamika dengan Elevasi Dasar untuk Teluk Berau/Teluk Bintuni.....	24
Gambar 5-2	<i>Grid</i> Model Hidrodinamika dengan Elevasi Dasar pada Area Sekitar Fasilitas Terminal Khusus Tangguh LNG.....	25
Gambar 5-3	Elevasi yang Dipengaruhi Pasang Surut Diterapkan pada Model di Perbatasan Barat Selama Periode Musim Kemarau dan Musim Hujan.....	26
Gambar 5-4	<i>Wind Roses</i> Ditentukan Berdasarkan Pengukuran di Tanah Merah pada tahun 2011 Selama Periode Model Musim Kemarau (kiri) dan Hujan (kanan).....	27
Gambar 5-5	Temperatur Udara Kering (Dry Bulb Air), Temperatur saat Kondensasi (Dew Point), Tekanan Udara, Kelembaban Relatif, dan Radiasi Matahari di Tanah Merah Selama Periode Model Musim Kemarau.....	27
Gambar 5-6	Temperatur Udara Kering, Temperatur saat Kondensasi, Tekanan Udara, Kelembaban Relatif, dan Radiasi Matahari di Tanah Merah Selama Periode Model Musim Hujan.....	28
Gambar 5-7	Lokasi-lokasi Stasiun Profil Vertikal.....	29
Gambar 5-8	Profil Temperatur Udara dari Musim Kemarau dan Musim Hujan untuk Delapan Stasiun yang Digunakan untuk Input Model.....	29
Gambar 5-9	Profil Salinitas dari Musim Kemarau dan Hujan untuk Delapan Stasiun yang Digunakan untuk Input Model.....	30
Gambar 5-10	Perbandingan Elevasi Permukaan Air antara Model dan Data untuk Skenario Musim Kemarau.....	31

Gambar 5-11	Perbandingan Elevasi Permukaan Air antara Model dan Data untuk Skenario Musim Hujan.....	32
Gambar 5-12	Konfirmasi Profil Salinitas dengan Data untuk Periode Musim Hujan.....	33
Gambar 5-13	Konfirmasi Profil Temperatur Udara dengan Data dari Periode Musim Hujan.....	33
Gambar 5-14	Konfirmasi Profil Salinitas dengan Data untuk Periode Musim Kemarau	33
Gambar 5-15	Konfirmasi Profil Temperatur Udara dengan Data Priode Musim Kemarau.....	34
Gambar 6-1	Faktor Pengenceran (<i>dilution factor</i>) dengan Jarak ke Arah Hilir – Buangan Air Limbah Campuran (<i>Commingled Discharge</i>) dari Dermaga 1 Pada Saat Pasang Naik.....	38
Gambar 6-2	Faktor Pengenceran (<i>dilution factor</i>) dengan Jarak ke Arah Hilir – Buangan Air Limbah Campuran dari Dermaga 1 Pada Saat Pasang Surut.....	39
Gambar 6-3	Faktor Pengenceran (<i>dilution factor</i>) dengan Jarak ke Arah Hilir – Buangan Air Limbah Campuran dari Dermaga 2 Pada Saat Pasang Naik.....	39
Gambar 6-4	Faktor Pengenceran (<i>dilution factor</i>) dengan Jarak ke Arah Hilir – Buangan Air Limbah Campuran dari Dermaga 2 Pada Saat Pasang Surut.....	40
Gambar 6-5	Plot Kontur untuk Faktor Pengenceran Minimum dari Buangan Air Limbah Campuran di Dermaga 1 pada Musim Kemarau.....	42
Gambar 6-6	Plot Kontur untuk Faktor Pengenceran Minimum dari Buangan Air Limbah Campuran di Dermaga 1 pada Musim Hujan.....	42
Gambar 6-7	Plot Kontur untuk Faktor Pengenceran Minimum dari Buangan Air Limbah Campuran di Dermaga 2 pada Musim Kemarau.....	43
Gambar 6-8	Plot Kontur untuk Faktor Pengenceran Minimum dari Buangan Air Limbah Campuran di Dermaga 2 pada Musim Hujan.....	44
Gambar 6-9	Plot Kontur dari Sensitivitas Faktor Pengenceran Minimum Pembuangan Air Limbah Campuran pada Dermaga 1 (Pembuangan di Kedalaman -6 m)	48
Gambar 7-1	Kecepatan Arus Permukaan saat Musim Kemarau pada Dermaga 1 dengan Durasi Pembuangan seperti Ditunjukkan.....	51
Gambar 7-2	Kecepatan Arus Permukaan saat Musim Hujan pada Dermaga 1 dengan Durasi Pembuangan seperti Ditunjukkan.....	51
Gambar 7-3	Faktor <i>Pelarutan</i> (<i>dilution factor</i>) dengan Jarak ke Hilir – Pembuangan Air Limbah <i>Hydrotest</i> dari ROA pada saat Pasang Naik.....	53
Gambar 7-4	Faktor <i>Pelarutan</i> (<i>dilution factor</i>) dengan Jarak ke Hilir – Pembuangan Air Limbah <i>Hydrotest</i> dari ROA pada saat Pasang Surut	53

Gambar 7-5	<i>Faktor Pelarutan (dilution factor) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrotest dari WDA pada saat Pasang Naik</i>	54
Gambar 7-6	<i>Faktor Pelarutan (dilution factor) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrotest dari WDA pada saat Pasang Surut</i>	54
Gambar 7-7	<i>Faktor Pelarutan (dilution factor) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrotest dari VRF pada saat Pasang Naik</i>	55
Gambar 7-8	<i>Faktor Pelarutan (dilution factor) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrotest dari VRF pada saat Pasang Surut</i>	55
Gambar 7-9	<i>Faktor Pelarutan (dilution factor) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrotest dari UBA pada saat Pasang Naik</i>	56
Gambar 7-10	<i>Faktor Pelarutan (dilution factor) dengan Jarak ke Hilir - Pembuangan Air Limbah Hydrotest dari UBA pada saat Pasang Surut</i>	56
Gambar 7-11	Kontur Plot Pembuangan Air Limbah <i>hydrotest</i> ROA dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Kemarau	58
Gambar 7-12	Kontur Plot Pembuangan Air Limbah <i>Hydrotest</i> ROA dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Hujan.....	58
Gambar 7-13	Kontur Plot Pembuangan Air Limbah <i>Hydrotest</i> WDA dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Kemarau	59
Gambar 7-14	Kontur Plot Pembuangan Air Limbah <i>Hydrotest</i> WDA dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Hujan.....	59
Gambar 7-15	Kontur Plot Pembuangan Air Limbah <i>Hydrotest</i> VRF dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Kemarau	60
Gambar 7-16	Kontur Plot Pembuangan Air Limbah <i>Hydrotest</i> VRF dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Hujan.....	60
Gambar 7-17	Kontur Plot Pembuangan Air Limbah <i>Hydrotest</i> UBA dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Kemarau	61
Gambar 7-18	Kontur Plot Pembuangan Air Limbah <i>Hydrotest</i> UBA dengan Faktor Pelarutan Terkecil pada Musim Hujan.....	61
Gambar 8-1	Faktor Pelarutan (<i>dilution factor</i>) dengan Jarak Pembuangan ke Hilir - Pembuangan Air Limbah <i>hydrotest</i> dari Dermaga 1 pada Pasang Naik	64
Gambar 8-2	Faktor Pelarutan (<i>dilution factor</i>) dengan Jarak Pembuangan ke Hilir - Pembuangan Air Limbah <i>hydrotest</i> dari Dermaga 1 pada Pasang Surut	64
Gambar 8-3	Faktor Pelarutan (<i>dilution factor</i>) dengan Jarak Pembuangan ke Hilir - Pembuangan Air Limbah <i>hydrotest</i> dari Dermaga 2 pada Pasang Naik	65
Gambar 8-4	Faktor Pelarutan (<i>dilution factor</i>) dengan Jarak Pembuangan ke Hilir - Pembuangan Air Limbah <i>hydrotest</i> dari Dermaga 2 pada Pasang Surut	65

Gambar 8-5	Plot Kontur untuk Gabungan Buangan Air Limbah <i>hydrotest</i> dan Buangan Campuran di Dermaga 1 pada Musim Kemarau dengan Faktor Pelarutan (<i>dilution factor</i>) Minimum 67
Gambar 8-6	Plot Kontur untuk Gabungan Buangan Air Limbah <i>hydrotest</i> dan Buangan Campuran di Dermaga 1 pada Musim Hujan dengan Faktor Pelarutan (<i>dilution factor</i>) Minimum 67
Gambar 8-7	Plot Kontur untuk Gabungan Buangan Air Limbah <i>hydrotest</i> dan Buangan Campuran di Dermaga 2 pada Musim Kemarau dengan Faktor Pelarutan (<i>dilution factor</i>) Minimum 68
Gambar 8-8	Plot Kontur untuk Gabungan Buangan Air Limbah <i>hydrotest</i> dan Buangan Campuran di Dermaga 2 pada Musim Hujan dengan Faktor Pelarutan (<i>dilution factor</i>) Minimum 69
Gambar 9-1	<i>Grid</i> Pengerukan dengan <i>Subgrid</i> -nya untuk Mewakili Garis Pantai dan Struktur yang Kompleks. Struktur yang Tampak pada <i>Grid</i> ini adalah Fasilitas BOF..... 72
Gambar 9-2	Contoh Tampilan Layar <i>Grid</i> Adaptif TSS pada Dua Waktu yang Berbeda 73
Gambar 9-3	Konsentrasi Centerline dari TSS Dibandingkan dengan Jarak ke Hilir pada Tiap Simulasi 76
Gambar 9-4	Kontur Konsentrasi TSS (mg/L) untuk Pasang Tinggi 76
Gambar 9-5	TSS Kontur Kadar Konsentrasi TSS (mg/L) untuk Pasang Lendut Tinggi 77
Gambar 9-6	Kontur Konsentrasi TSS (mg/L) untuk Pasang Rendah 77
Gambar 9-7	Kontur Konsentrasi TSS (mg/L) untuk Pasang Lendut Rendah .. 78
Gambar 9-8	Peningkatan Maksimum Konsentrasi TSS selama Kegiatan Pengerukan pada Lokasi BOF pada Musim Kemarau 79
Gambar 9-9	Kecepatan Maksimum Sedimentasi Selama Kegiatan Pengerukan pada Lokasi BOF pada Musim Kemarau 80
Gambar 9-10	Ketebalan Maksimum Sedimen Selama Kegiatan Pengerukan pada Lokasi BOF pada Musim Kemarau..... 80
Gambar 9-11	Peningkatan Maksimum Konsentrasi TSS Selama Kegiatan Pengerukan pada Lokasi BOF pada Musim Hujan..... 81
Gambar 9-12	Nilai Maksimum Sedimentasi Selama Kegiatan Pengerukan pada Lokasi BOF pada Musim Hujan..... 81
Gambar 9-13	Ketebalan Sedimen Selama Proses Pengerukan pada lokasi BOF pada Musim Hujan..... 82
Gambar 10-1	<i>Grid</i> Pengerukan dengan Model Sebaran (<i>fate</i> dan Transport Pembuangan Hasil Pengerukan..... 85
Gambar 10-2	Ketebalan Maksimum Endapan Dasar Laut pada saat Pasang Naik 88
Gambar 10-3	Ketebalan Maksimum Endapan Dasar Laut pada saat Pasang Lendut Tinggi 88
Gambar 10-4	Ketebalan Maksimum Endapan Dasar Laut pada saat Pasang Surut..... 89

Gambar 10-5	Ketebalan Maksimum Endapan Dasar Laut pada saat Pasang Rendah Lendut	89
Gambar 10-6	Gambaran Rencana Konsentrasi Maksimum Partikel Lumpur (silt) dan Lempung (mg/L) di Dasar Laut pada Jam ke-1 dan Jam ke-4 Setelah Pembuangan Tunggal (a single release) - pada saat Pasang Tinggi.....	90
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.....	91
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	92
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	93
Gambar 10-10	Penambahan Maksimum TSS Selama Pembuangan Materi Hasil Pengerukan pada Lokasi Pembuangan Bagian Timur pada Kondisi Musim Kemarau	95
Gambar 10-11	Laju Sedimentasi Maksimum Selama Pembuangan Materi Hasil Pengerukan pada Lokasi Pembuangan Bagian Timur pada Kondisi Musim Kemarau	95
Gambar 10-12	Ketebalan Maksimum Sedimen selama Pembuangan Materi Hasil Pengerukan pada Lokasi Pembuangan Bagian Timur pada Kondisi Musim Kemarau	96
Gambar 10-13	Penambahan Maksimum TSS selama Pembuangan Materi Hasil Pengerukan pada Lokasi Pembuangan Bagian Timur pada Kondisi Musim Hujan	96
Gambar 10-14	Laju Sedimentasi selama Pembuangan Materi Hasil Pengerukan pada Lokasi Pembuangan Bagian Timur pada Kondisi Musim Hujan.....	97
Gambar 10-15	Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pembuangan Materi Hasil Pengerukan pada Lokasi Pembuangan Bagian Timur pada Kondisi Musim Hujan	97
Gambar 11-1	<i>Grid</i> Sedimentasi dan Ketebalan Endapan	101
Gambar 11-2	Pertambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di ROA pada Musim Hujan.....	103
Gambar 11-3	Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di ROA pada Musim Hujan	104
Gambar 11-4	Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di ROA pada Musim Hujan	104
Gambar 11-5	Penambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di ROA pada Musim Kemarau	105
Gambar 11-6	Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di ROA pada Musim Kemarau.....	105
Gambar 11-7	Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di ROA pada Musim Kemarau	106

Gambar 11-8	Penambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di TTB pada Musim Hujan	107
Gambar 11-9	Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di TTB pada Musim Hujan	107
Gambar 11-10	Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di TTB pada Musim Hujan	108
Gambar 11-11	Penambahan Maksimum TSS selama Pengeboran di TTB pada Musim Kemarau.....	108
Gambar 11-12	Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di TTB pada Musim Kemarau.....	109
Gambar 11-13	Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di TTB pada Musim Kemarau	109
Gambar 11-14	Penambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di WDA pada Musim Hujan.....	110
Gambar 11-15	Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di WDA pada Musim Hujan	111
Gambar 11-16	Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di WDA pada Musim Hujan	111
Gambar 11-17	Penambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di WDA pada Musim Kemarau	112
Gambar 11-18	Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di WDA pada Musim Kemarau.....	112
Gambar 11-19	Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di WDA pada Musim Kemarau	113
Gambar 11-20	Penambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di UBA pada Musim Hujan.....	114
Gambar 11-21	Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di UBA pada Musim Hujan	114
Gambar 11-22	Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di UBA pada Musim Hujan	115
Gambar 11-23	Penambahan Maksimum Konsentrasi TSS selama Pengeboran di TTB pada Musim Kemarau	115
Gambar 11-24	Laju Sedimentasi Maksimum selama Pengeboran di UBA pada Musim Kemarau.....	116
Gambar 11-25	Ketebalan Sedimen Maksimum selama Pengeboran di UBA pada Musim Kemarau	116
Gambar 11-26	Konsentrasi TSS Maksimum selama Pengeboran di UBA pada Musim Hujan	118

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Ringkasan Data Statistik Temperatur dan Salinitas yang Dijelaskan dalam Bagian 5.2.....	7
Tabel 4-1	Inventarisasi Skenario-skenario Pemodelan	14
Tabel 6-1	Aliran Limbah Individu dan Debitnya yang Membentuk Buangan Air Limbah Campuran (<i>comingled discharge</i>).....	35
Tabel 6-2	Asumsi Konsentrasi Buangan Air Limbah Campuran (<i>comingled discharge</i>) dan Baku Mutu Ambien	36
Tabel 6-3	Jarak yang Diperkirakan ke Arah Hilir dari Lokasi Pembuangan dimana Baku Mutu Kualitas Air Tercapai Sesuai Faktor Pengenceran (<i>dilution factor</i>) - Buangan Air Limbah Campuran dari Dermaga 1	37
Tabel 6-4	Jarak yang Diperkirakan ke Arah Hilir dari Lokasi Pembuangan dimana Baku Mutu Kualitas Air Tercapai Sesuai Faktor Pengenceran (<i>dilution factors</i>) - Buangan Air Limbah Campuran dari Dermaga 2	38
Tabel 6-5	Konsentrasi Ambien Maksimum pada Musim Kemarau yang Diprediksi dari Hasil Buangan Air Limbah Campuran untuk Dermaga 1	44
Tabel 6-6	Konsentrasi Ambien Maksimum pada Musim Hujan yang Diprediksi dari Hasil Buangan Air Limbah Campuran untuk Dermaga 1	45
Tabel 6-7	Konsentrasi Maksimum Ambien Musim Kemarau yang Diprediksi dari Hasil Buangan Air Limbah Campuran untuk Dermaga 2	45
Tabel 6-8	Konsentrasi Maksimum Ambien Musim Hujan yang Diprediksi dari Hasil Buangan Air Limbah Campuran untuk Dermaga 2	46
Tabel 6-9	Konsentrasi Maksimum Ambien yang Diprediksi dari Hasil Buangan Air Limbah Campuran dengan Menggunakan Nilai Median Konsentrasi Buangan	47
Tabel 6-10	Konsentrasi Ambien Maksimum yang Diperkirakan Akibat dari Sensitivitas Kedalaman Buangan Air Limbah Campuran pada Dermaga 1	48
Tabel 7-1	Lokasi pembuangan air limbah <i>hydrotest</i>	51
Tabel 7-2	Konsentrasi Pembuangan Air <i>Hydrotest</i>	52
Tabel 7-3	Konsentrasi Ambien Maksimum yang Diperkirakan Akibat Pembuangan Air Limbah <i>Hydrotest</i>	62
Tabel 8-1	Konsentrasi Ambien Maksimum yang Diperkirakan Akibat Gabungan Pembuangan Air Limbah <i>Hydrotest</i> and Buangan Air Limbah Campuran pada 50m dan 100m.....	69
Tabel 9-1	Daftar Skenario	71
Tabel 9-2	Karakteristik Pembuangan	73
Tabel 9-3	Distribusi Ukuran Partikel Material Hasil Pengerukan.....	73
Tabel 9-4	Berat Jenis Material Hasil Pengerukan.....	74

Tabel 9-5	Parameter Input.....	74
Tabel 9-6	Rata-rata Kecepatan untuk Empat Simulasi Pasang Surut	75
Tabel 9-7	Ringkasan Hasil-hasil yang Diperkirakan untuk Skenario Operasi Kegiatan Pengerukan.....	83
Tabel 10-1	Skenario Pembuangan Materi Hasil Pengerukan.....	84
Tabel 10-2	Karakteristik Pembuangan	85
Tabel 10-3	Komponen Arus pada Kedalaman 10 ft pada Lokasi Pembuangan di Bagian Timur (the East Disposal Site).....	86
Tabel 10-4	Dimensi dan posisi lumpur dan lempung pada dasar laut.	87
Tabel 10-5	Ringkasan Perkiraan Hasil dari Skenario Kegiatan Operasi Pengerukan	98
Tabel 11-1	Daftar Skenario	100
Tabel 11-2	Karakteristik Pembuangan	101
Tabel 11-3	Persebaran Ukuran Partikel Serbuk dan Lumpur Bor.....	102
Tabel 11-4	Berat Jenis Serbuk dan Lumpur Bor	102
Tabel 11-5	Ringkasan Hasil Perkiraan untuk Semua Skenario Operasi Pengeboran.....	117

BP Berau Ltd menugaskan ERM untuk melakukan kajian dampak lingkungan terhadap rencana kegiatan terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG di Kabupaten Teluk Bintuni dan Kabupaten Fakfak, Provinsi Papua Barat. BP beserta mitra usahanya ("Tangguh LNG") berencana akan mengembangkan operasinya dengan pembangunan Kilang LNG 3 serta pengembangan tahap selanjutnya yang diantaranya meliputi rencana pembangunan Kilang LNG 4 dan fasilitas pendukungnya.

Fasilitas Tangguh LNG terletak di pantai selatan perairan Teluk Bintuni di Kabupaten Teluk Bintuni, Provinsi Papua Barat. Pemaparan dalam laporan ini membahas tentang studi pemodelan yang dilakukan sebagai bagian dari kajian dampak lingkungan secara keseluruhan untuk mengevaluasi sebaran dampak (*fate and transport*) dari pembuangan berbagai macam air permukaan beserta dampaknya terhadap populasi akuatik dan bentik di perairan Teluk Bintuni.

Evaluasi dampak pada air permukaan dilakukan dengan menggunakan pendekatan pemodelan menyeluruh yang mengandalkan pada sebuah sistem pemodelan tunggal, GEMSS®. Berbagai modul dalam GEMSS® digunakan untuk memperkirakan sebaran dampak (*fate and transport*) dari air limbah campuran, air limbah dari kegiatan uji tes tekan (*hydrotest*), lumpur bor dan serbuk bor, serta sedimen tersuspensi dari kegiatan pengerukan dan pembuangan material keruk. Dampak kumulatif di sepanjang Teluk Bintuni telah disampaikan dengan memakai perhitungan *near-field* dan *far-field*.

Berbagai macam kontaminan yang dikhawatirkan dari aliran limbah campuran dievaluasi melalui perbandingan terhadap baku mutu ambien dan baku mutu *near-field* dengan memperhitungkan kondisi rona awal. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa aliran limbah memiliki potensi untuk merusak standar kualitas perairan ambien untuk beberapa konstituen termasuk ammonia, chromium, tembaga, DO, timbal, dan seng. Namun demikian, untuk chromium, tembaga dan timbal, prediksi ini terutama merupakan suatu *artefact* batas deteksi tinggi (*high limit detection*) dari data sampel aliran limbah. Selain itu, konservatif ekstrim (*extreme conservatism*) telah digunakan dengan pemilihan konsentrasi buangan maksimum yang mungkin (*maximum probable*) dikombinasikan dengan tidak ada kehilangan air akibat pembusukan (*decay*) atau pemakaian. Telah ditemukan bahwa konsentrasi rendah dapat dicapai dengan memindahkan saluran pembuangan (*outfall*) ke Dermaga 2. Berbagai pilihan lain seperti memindahkan pembuangan jauh dari dasar laut (*seabed*) ke kedalaman menengah (*mid-depth*) atau jauh dari pantai ke dalam perairan yang lebih dalam dapat mencapai pengurangan yang sama. Secara keseluruhan buangan air limbah campuran memiliki potensi rendah untuk dapat menimbulkan dampak apapun terhadap populasi akuatik. Standar ambien dapat tercapai, baik dalam beberapa ratus meter dari pembuangan atau dapat dipenuhi dengan mengambil salah satu alternatif yang disarankan.

Pembuangan air limbah kegiatan uji tes tekan (*hydrotest*) yang diolah dengan *biocide*, *oxygen scavenger*, dan *fluorescein tracer* telah dievaluasi dengan menggunakan pendekatan pemodelan serupa. Karena tidak ada standar ambien yang ditetapkan untuk bahan-bahan kimia ini, evaluasi kualitatif dilakukan berdasarkan konsentrasi yang diperkirakan dan jangkauan dari *plume*. Pemodelan mengindikasikan bahwa buangan air limbah dari kegiatan uji tes tekan (*hydrotest*) akan menghasilkan konsentrasi yang sangat rendah dari bahan kimia tambahan. Diketahui bahwa pemilihan waktu (yaitu kondisi pasang-surut) dari pembuangan limbah mempunyai pengaruh besar pada lintasan *plume*, yang menunjukkan bahwa, jika reseptor yang berpotensi ada di dekatnya, pemilihan waktu pembuangan dapat mengurangi dampak pada reseptor tersebut.

Pengerukan yang direncanakan di sekitar berbagai fasilitas terminal khusus (*Combo Dock*, *Bulk Offloading Facility* dan Dermaga 2) telah dilakukan pemodelannya untuk mengevaluasi hasil dari peningkatan TSS, laju sedimentasi dan ketebalan sedimen. Kegiatan operasi pengerukan di *Bulk Offloading Facility* (BOF), yang memerlukan pemindahan sedimen dengan volume terbesar, dipilih untuk analisis yang sama terkait kegiatan operasi pembuangan jauh di lepas pantai. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pengendapan sedimen terkait operasi pengerukan hanya terjadi di sekitar lokasi pembuangan, sebagian besar dalam jarak 500 m dari lokasi pengerukan dan dalam jarak 10 km dari lokasi pembuangan. Peningkatan maksimum TSS diperkirakan hanya sebesar 11,8 mg/L untuk operasi pengerukan dan 5,5 mg/L untuk pembuangan. TSS maksimum pada rona awal selama musim kemarau adalah 27 mg/L di mana ketika ditambahkan dengan peningkatan maksimum TSS menghasilkan nilai TSS sebesar 38,8 mg/L dan 32,5 mg/L, jauh di bawah baku mutu air laut ambien untuk badan air area mangrove (*mangrove-lined water bodies*) yaitu 80 mg/L. Hasil yang diperkirakan ini menunjukkan bahwa rencana operasi pengerukan dan pembuangan tidak akan melewati baku mutu lingkungan yang berlaku ataupun menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan.

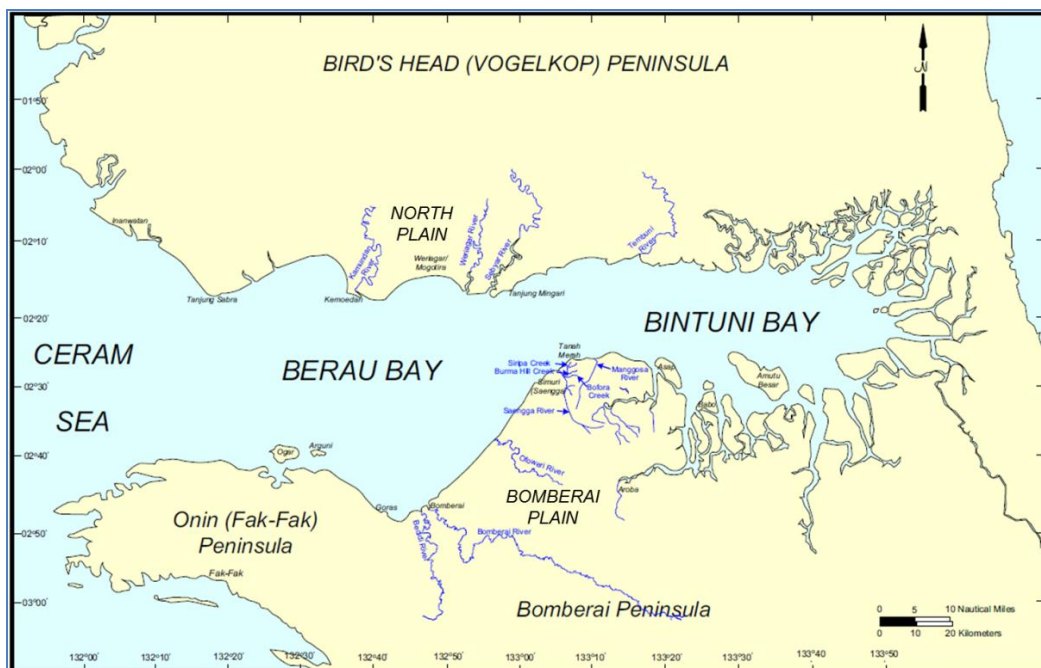
Kegiatan pengeboran terkait dengan rencana kegiatan terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG telah dibuat pemodelannya untuk memperkirakan kemungkinan peningkatan TSS dan sedimentasi akibat pengeboran di empat lokasi sumur (Wiriagar, Roabiba, Ofaweri dan Vorwata). Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pengendapan serbuk bor dan lumpur bor hanya terjadi di sekitar lokasi pengeboran, sebagian besar dalam jarak 150 m. Peningkatan maksimum TSS diperkirakan hanya sebesar 1,9 mg/L. TSS maksimum pada rona awal selama musim kemarau adalah 27 mg/L di mana ketika ditambahkan dengan peningkatan maksimum TSS dari kegiatan pengeboran menghasilkan nilai TSS sebesar 28,9 mg/L, masih jauh di bawah baku mutu air laut ambien untuk badan air area mangrove (*mangrove-lined water bodies*) yaitu 80 mg/L. Hasil yang diperkirakan ini menunjukkan bahwa rencana operasi pengeboran tidak akan melewati baku mutu lingkungan yang berlaku ataupun menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan.

Secara keseluruhan, Proyek Pengembangan Tangguh LNG kecil kemungkinannya menyebabkan dampak lingkungan terhadap populasi akuatik dan bentik dalam perairan Teluk Bintuni. Studi pemodelan menyajikan beberapa konstituen yang mungkin menjadi masalah. Langkah-langkah mitigasi yang disarankan dan pengambilan sampel tambahan akan dapat mengurangi masalah ini.

Fasilitas Tangguh LNG terletak di pantai selatan perairan Teluk Bintuni di Kabupaten Teluk Bintuni, Provinsi Papua Barat (**Gambar 2-1**). Fasilitas ini berada di ujung selatan antara Teluk Berau (ke arah barat) dan Teluk Bintuni (ke arah timur). Deskripsi latar belakang kawasan di sekitar fasilitas Tangguh LNG sehubungan dengan pemodelan hidrodinamika, pembuangan air limbah, pengeboran, dan pengerukan telah diberikan dalam laporan-laporan sebelumnya. Deskripsi yang paling lengkap ada dalam laporan ANDAL Tangguh LNG (selanjutnya disebut sebagai ANDAL) disiapkan oleh Pertamina dan BP selama tahap perencanaan fasilitas (Pertamina, 2002). Laporan terkait lainnya termasuk "Summary Environmental Impact Assessment: Tangguh LNG Project in Indonesia" (Asian Development Bank, 2005) dan "Drill Cutting and Mud Dispersion Simulation: Final Report" (ITB, 2012).

Sementara ada variabilitas dari tahun ke tahun (dan kemungkinan adanya kecenderungan atau *trend*) dalam beberapa proses yang mengatur Hidrodinamika di dekat fasilitas Tangguh LNG, kondisi hidrodinamika di Teluk Berau/Teluk Bintuni terutama ditentukan oleh proses siklus: pasang surut dan angin monsoon musiman, curah hujan, dan limpasan aliran. Sehingga informasi yang diberikan dalam laporan sebelumnya masih relevan, dan dapat diandalkan dalam memberikan gambaran ringkasan area studi. Sementara beberapa penelitian mandiri yang dipublikasikan terkait dengan Hidrodinamika tersedia untuk wilayah yang lebih luas di sekitar barat New Guinea, tidak ada yang tersedia untuk Teluk Berau/Teluk Bintuni; laporan sehubungan dengan Pengembangan Tangguh LNG adalah sumber terbaik karena sifat spesifik lokasi dari studi ini.

Berikut adalah ringkasan latar belakang dari informasi yang tersedia dalam laporan-laporan Pengembangan Tangguh LNG.



Dari ANDAL

Gambar 2-1 Peta Wilayah di Sekitar Tangguh LNG

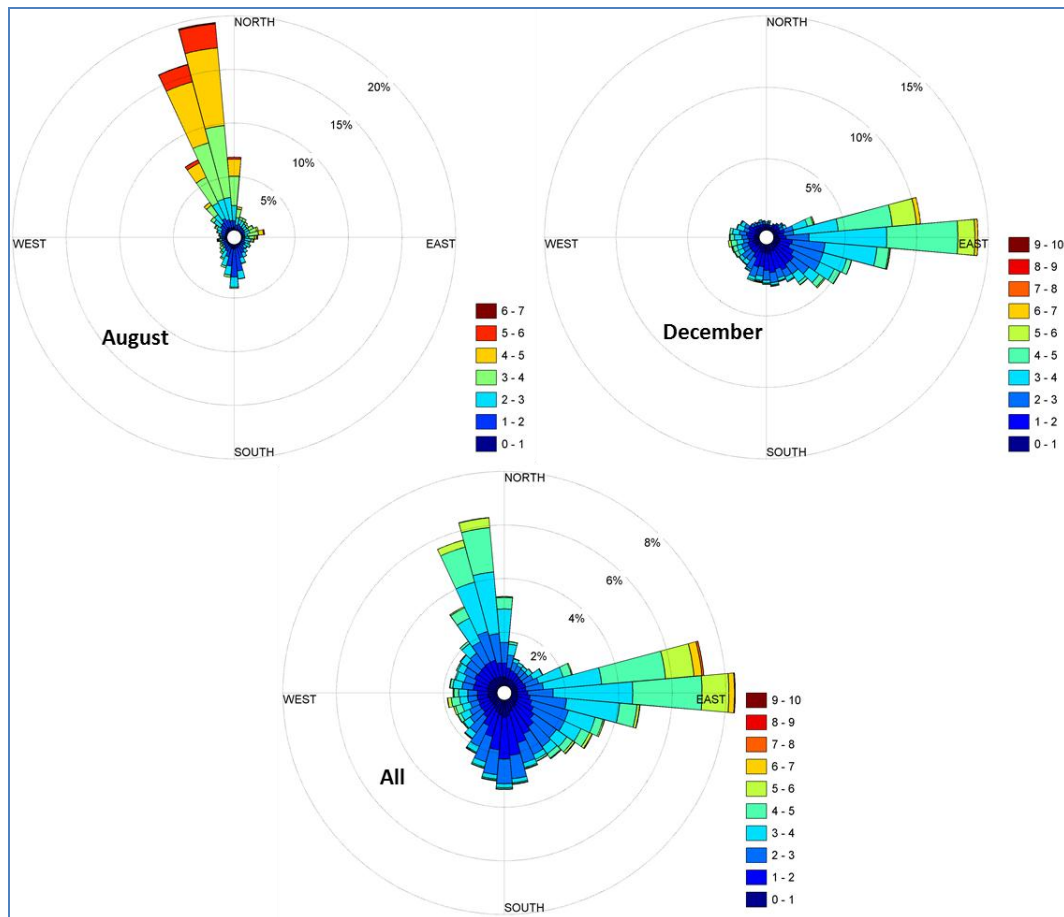
Teluk Berau terbuka sampai dengan Laut Seram pada ujung sebelah barat di 132° 19' BT. Pada titik ini, lebar antara utara dan selatan adalah 42 km. Teluk menyempit ke arah timur, dan jarak terpendek menyeberangi teluk adalah 22 km pada 133° 13' BT. Teluk Berau/Teluk Bintuni berbentuk panjang dan sempit pada arah timur-barat, yaitu sepanjang 164 km di 2° 20' LS, dan memisahkan Semenanjung Kepala Burung dari sebagian Papua Barat. Bagian terdalam teluk adalah sepanjang poros Barat Daya-Timur Laut dimana kadalaman dasar bagian Timur dari 132° 19' BT mencapai 80 m (lihat **Gambar 5-1**). Dekat dengan Tangguh LNG, kadalaman dasar laut yang lebih dalam ada pada sisi utara teluk.

Area di sekitar wilayah teluk dapat dibagi menjadi tiga wilayah fisiografi: Dataran Utara (Kepala Burung/*Bird's Head Peninsula*), Dataran Bomberai (*Peninsula*), dan Semenanjung Onin (*Onin Peninsula*). Bagian utara pantai memiliki rawa yang luas. Dataran Bomberai (juga dikenal sebagai Dataran Selatan) terdiri atas hamparan dataran rendah aluvial pantai (*low-lying coastal alluvial plain*) di antara hamparan rendah perbukitan bebatuan (*low-lying bedrocks hills*). Di bagian selatan Tangguh LNG, daratan datar hingga bergelombang, dengan beberapa punggung bukit rendah mengarah timur-barat memanjang sampai 50 m di atas permukaan laut. Lebih jauh ke arah timur, memanjang sekitar perimeter timur dan selatan Teluk Bintuni, terdapat rawa di berbagai pulau dan tanjung, dan dipisahkan oleh saluran muara. Semenanjung Onin memiliki lereng curam di dekat Teluk Berau dan puncak kasar dengan ketinggian mencapai 1.619 m.

Banyak sungai mengalir ke dalam Teluk dari arah utara, timur, dan selatan. Kamundan, Weriagar, Sebyar, dan Tembuni adalah empat sungai utama yang masuk sisi utara teluk; sungai-sungai tersebut memiliki debit rata-rata tahunan masing-masing sebesar 380, 175, 355, dan 185 m³/detik. Bedidi dan Bomberai adalah dua sungai utama yang masuk dari sisi selatan teluk, masing-masing memiliki debit rata-rata tahunan sekitar 100 m³/detik. Sungai-sungai utama di dekat fasilitas Tangguh LNG adalah Sungai Manggosa, yang membentuk batas timur lokasi Tangguh LNG, dan Sungai Saengga, yang sejajar dengan batas barat dari Tangguh LNG, sekitar 1,5 km ke arah barat. Drainase dari fasilitas Tangguh LNG sebagian besar menuju Sungai Saengga melalui beberapa aliran yang tidak kontinu (*intermittent*) menuju ke arah barat.

Papua Barat memiliki iklim tropis yang dicirikan dengan temperatur dan kelembaban tinggi sepanjang tahun. Terdapat monsoon musiman; monsoon tenggara (musim kemarau) berlangsung dari bulan Juni hingga Oktober, dan monsoon barat laut (musim hujan) berlangsung dari bulan Desember hingga Maret. Selama sepuluh tahun terakhir, angin pada saat musim kemarau di Tanah Merah berasal dari arah utara (sangat mungkin dari arah 350°) dan selama musim hujan berasal dari arah timur (sangat mungkin dari arah 90°) (**Gambar 2-2**). Angin monsoon adalah kontributor utama terhadap angin sepanjang tahun. Ada beberapa variasi diurnal pada garis pantai. Selama monsoon Barat Laut, angin lebih kuat sejak larut malam hingga dini hari, sedangkan pada siang/sore hari menjadi berbalik dan ringan. Selama monsoon Tenggara, angin lebih kuat pada siang hari, sedangkan pada pagi hari menjadi berbalik dan ringan. Bulan Juli dan Agustus (musim kemarau) cenderung menjadi bulan terhangat, dan bulan November hingga

Maret (musim hujan) cenderung menjadi bulan terdingin. Variasi temperatur di wilayah ini lebih bergantung pada ketinggian daripada lokasi geografis. Ada variasi jumlah hujan dari tahun ke tahun yang cukup besar. Curah hujan total melebihi 3.000 mm dalam satu tahun rata-rata, didistribusikan di antara semua bulan, dengan Februari adalah yang terbasah, dan Agustus-September adalah yang terkering (Bank Pembangunan Asia, 2005). Sulit untuk memverifikasi curah hujan di Teluk Berau/Teluk Bintuni karena data jumlah hujan seketika dari Teluk Berau/Teluk Bintuni tidak tersedia. Variasi musiman di lingkungan dekat pantai diharapkan terjadi sebagai akibat dari perbedaan curah hujan dan limpasan sungai antara musim kering dan musim hujan.



Data dikumpulkan dari tahun 2002–2011 selama bulan Agustus (kiri), Desember (tengah), dan semua bulan (kanan). Warna menunjukkan rentang kecepatan angin dalam satuan m/detik dan hembusan angin dari arah yang ditunjukkan.

Gambar 2-2 Wind Roses Berdasarkan Pengukuran yang Diambil di Tanah Merah

Karena Teluk Berau/Teluk Bintuni dibatasi pada tiga sisi dengan hubungan terbatas ke Laut Seram dan menerima masukan sungai air tawar yang signifikan, teluk berfungsi sebagai muara. Muara dicirikan oleh gradien salinitas dalam arah melintang atau vertikal dengan medan alir didominasi oleh pasang surut, angin, dan *inflow* air tawar. Selain itu, muara biasanya memiliki wilayah dangkal pada bagian hulu yang miring ke batas laut dalam.

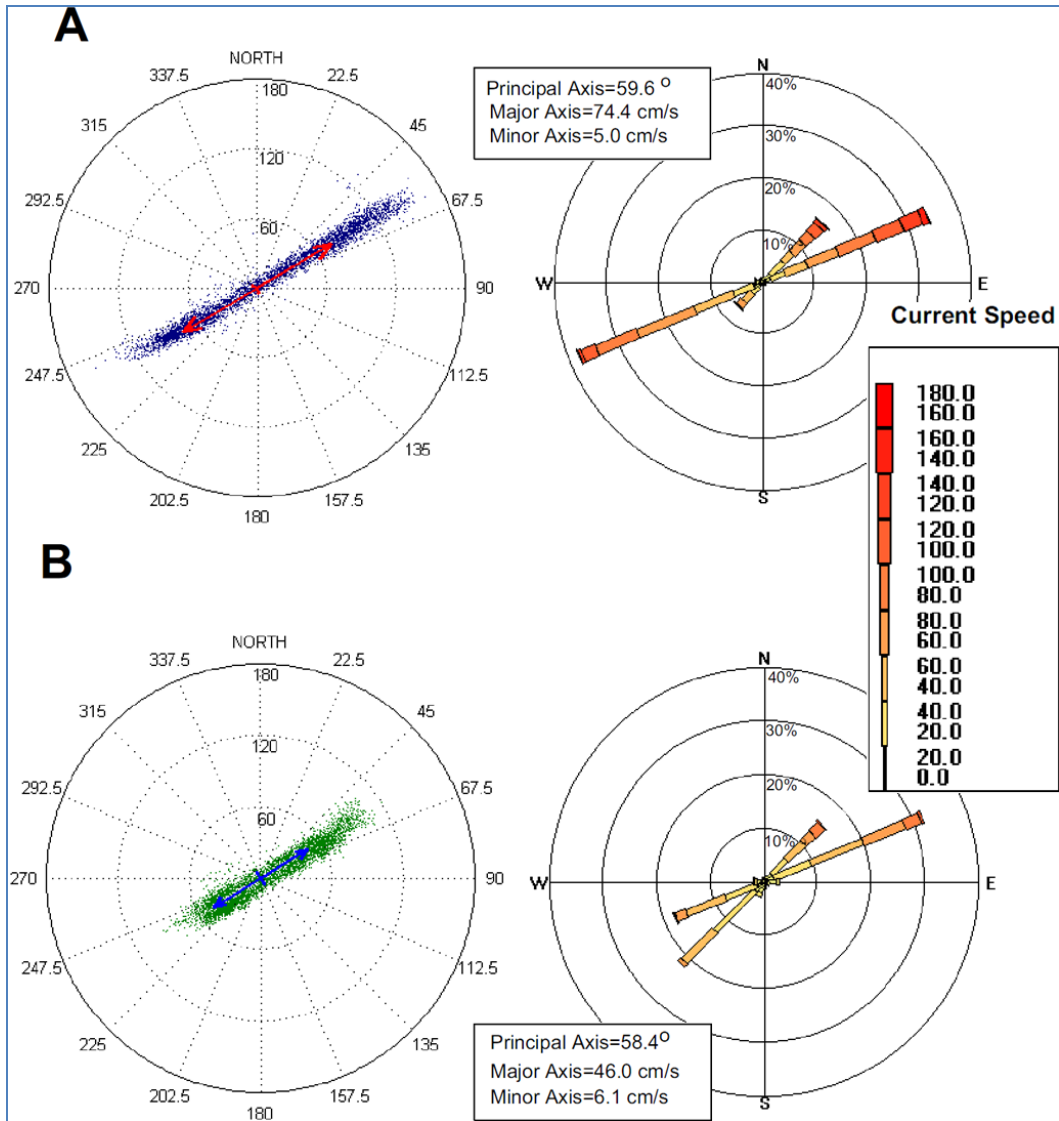
Profil dari temperatur (T) dan salinitas (S) yang diperoleh pada tahun 2012-2013 (dijelaskan dalam Bagian 5.2) memberikan beberapa informasi terbaru tentang jangkauan berbagai sifat tersebut pada teluk. Temperatur air lebih tinggi selama musim hujan, ketika temperatur udara, curah hujan, dan limpasan sungai lebih besar (**Tabel 2-1**). Temperatur secara jelas tergantung pada kedalaman baik pada musim kemarau dan musim hujan, menjangkau lebih dalam pada musim hujan (**Gambar 5-8**). Musim hujan menghasilkan air lebih segar, terutama di teluk bagian timur dan dekat dengan sungai (**Tabel 2-1**). Ketergantungan kedalaman salinitas lebih menonjol selama musim hujan, dan kontribusi air tawar paling jelas pada kedalaman yang paling dangkal (**Gambar 5-9**).

Tabel 2-1 Ringkasan Data Statistik Temperatur dan Salinitas yang Dijelaskan dalam Bagian 5.2

	Musim Kemarau	Musim Hujan
MinimumT(°C)	27,2	29,3
25 th PercentileT(°C)	28,2	30,1
50 th PercentileT(°C)	28,4	30,2
75 th PercentileT(°C)	28,6	30,3
MaximumT(°C)	31,0	32,4
MinimumS	19,4	19,1
25 th PercentileS	29,6	27,6
50 th PercentileS	29,9	28,9
75 th PercentileS	30,5	30,1
MaximumS	32,1	31,9

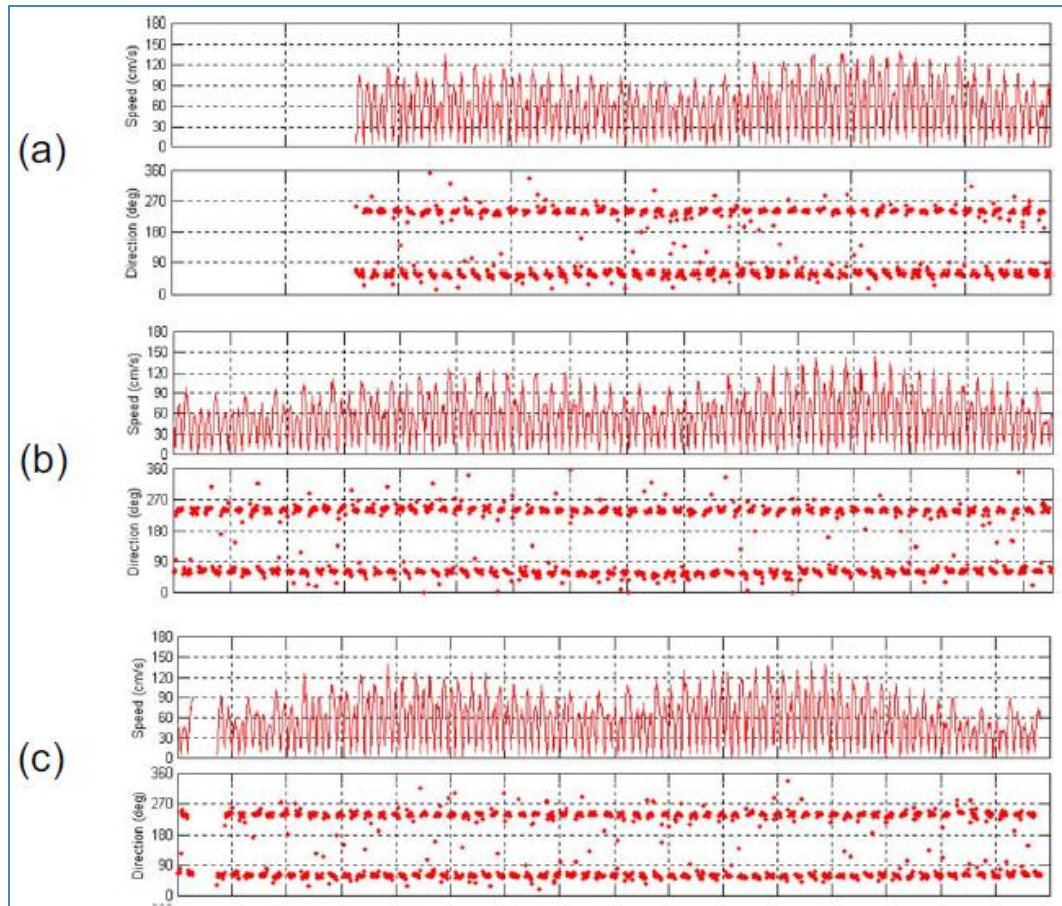
Arus di Teluk Berau/Teluk Bintuni didominasi oleh pasang surut, yang dengan jelas dapat dilihat di fasilitas Tangguh LNG (**Gambar 2-3** dan **Gambar 2-4**). Di sini kecepatan pada kedalaman di tengah laut (*mid-water depth*) terbesar adalah 1,6-1,8 m/detik dan arah arus adalah di sepanjang pantai. Arus pasang surut sebagian besar semidiurnal (dua tertinggi dan dua terendah per hari), tetapi dimodifikasi oleh kontribusi diurnal. Pasang surut terbesar adalah M_2 , S_2 , dan N_2 and K_1 dan O_1 . Pada air yang lebih dalam di bagian tengah teluk, arus paling kuat berada di dekat permukaan dan melemah ke arah dasar, dan variasi musiman adalah kecil dibandingkan dengan pasang surut (ANDAL).

Gelombang permukaan di Teluk Berau/Teluk Bintuni menampilkan arah yang konsisten dengan gelombang pada saat angin monsoon. Kondisi ekstrim gelombang tidak besar dibanding dengan bagian lain dari dunia. Gelombang signifikan setinggi 1 m memiliki probabilitas tidak lebih dari 99,7% (ITB, 2012). Sebagian besar Teluk Berau/Teluk Bintuni terlindung dengan sangat baik dari gelombang besar lautan dalam karena paparan yang terbatas terhadap Laut Seram dan lautan terbuka.



Data dikumpulkan di dekat Tanah Merah dari tanggal 07-12-1999 sampai 03-03-2000 pada A) tengahan air (5,5 m di atas dasar laut) dan B) dekat dasar (0,5 m di atas dasar laut). Dari ANDAL.

Gambar 2-3 Grafik Sebaran Kecepatan (cm/s) dan Arah Arus yang Diamati di Lokasi *Ocean Tower*



Data dikumpulkan di tengahan air (5.5 m di atas dasar laut) dari a) tanggal 07-12-1999 sampai 31-12- 1999, b) tanggal 01-01-2000 sampai 31-01-2000, dan c) tanggal 01-02-2000 sampai 03-03- 2000. Dari ANDAL.

Gambar 2-4 Data Berurutan Kecepatan dan Arah Arus yang Diamati di Lokasi *Ocean Tower*

Lingkup kerja yang dilakukan di sini termasuk beberapa studi pemodelan untuk melihat karakteristik dampak lingkungan terhadap air permukaan dari Proyek Pengembangan Tangguh LNG di Teluk Bintuni. Kegiatan terkait dengan Proyek Pengembangan Tangguh LNG yang dikaji melalui pemodelan termasuk:

- Pembuangan air limbah campuran dari fasilitas Tangguh LNG;
- Pembuangan air limbah dari kegiatan uji test tekan (*hydrottest*) pada perpipaan;
- Pengerukan fasilitas terminal khusus dan pembuangan material hasil pengerukan;
- Pembuangan lumpur dan serbuk bor.

Buangan dari fasilitas Tangguh LNG mencakup aliran limbah campuran dari beberapa sumber termasuk:

- Air terproduksi;
- Air limbah desalinisasi (*Brine Water*);
- Air limbah domestik (*Treated Sewage*);
- Pengolahan air limbah dalam kolam:
 - Kolam netralisasi (Proses penetralan pH);
 - Kolam pengolah air limbah terkontaminasi minyak dan lemak.

Berbagai kontaminan yang menjadi perhatian dari aliran limbah campuran dimodelkan dan dievaluasi melalui perbandingan dengan baku mutu ambien dan standard-standard/baku mutu pada *near-field* dengan memperhitungkan kondisi rona awal. Kontaminan yang dipilih untuk perbandingan adalah kontaminan yang mempunyai baku mutu ambien air laut yang telah ada dan baku mutu air *near-field* serta mempunyai konsentrasi aliran limbah yang melebihi baku mutu yang berlaku. Selain itu, pembuangan air limbah dari Kilang LNG dievaluasi di dua lokasi dalam fasilitas terminal khusus untuk menilai operasi lokasi pembuangan secara optimal. **Gambar 3-2** menunjukkan struktur fasilitas terminal khusus Tangguh LNG dan lokasi dari dua lokasi pembuangan yang direncanakan.

Hydrottest melibatkan pembersihan pipa menggunakan air tawar yang telah diolah dengan *biocide*, *oxygen scavenger*, dan *fluorescein tracer*. Pelepasan air *hydrottest* dievaluasi dengan pemodelan bahan tambahan ini untuk memperkirakan konsentrasi ambien. Sementara tidak ada baku mutu ambien yang ditentukan untuk bahan kimia tersebut, evaluasi kualitatif akan didasarkan pada konsentrasi yang diperkirakan dan luasnya bidang konsentrasi. Buangan air limbah dari empat lokasi pengembangan lepas pantai (dua anjungan Pengembangan Tahap Awal dan dua anjungan Pengembangan Tahap Selanjutnya) serta dari dua lokasi fasilitas terminal khusus (dicampur dengan buangan dari Tangguh LNG) dimodelkan.

Gambar 3.1 menunjukkan empat lokasi anjungan lepas pantai (UBA, ROA, WDA, dan VRF) dan **Gambar 3-2** menunjukkan dua lokasi pembuangan pada fasilitas terminal khusus.

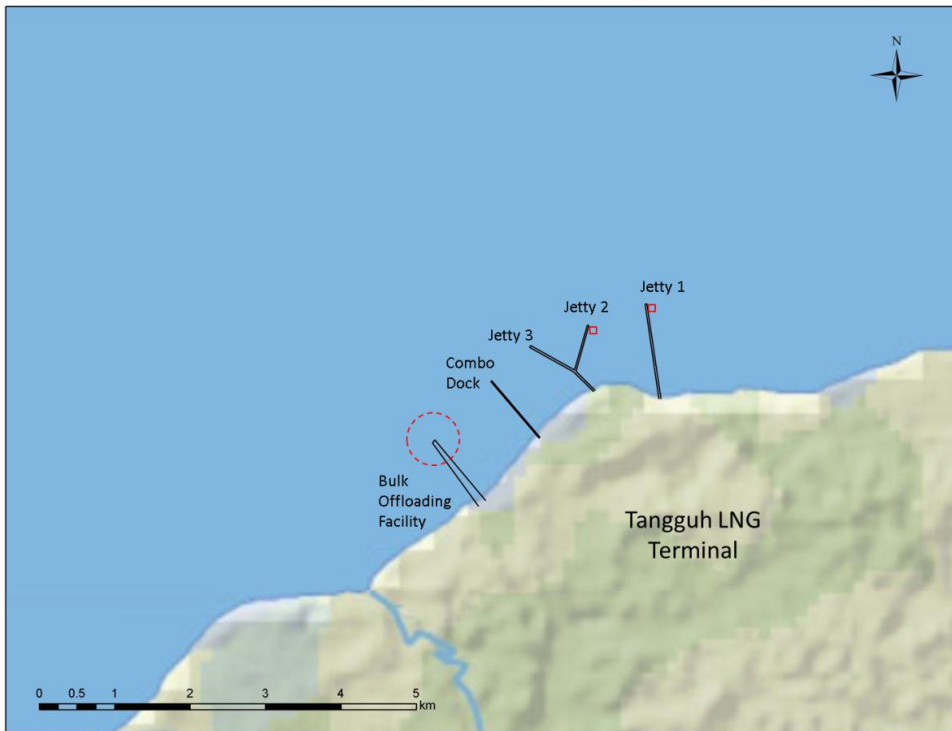
Pengerukan awal dan pemeliharaan di sekitar berbagai fasilitas terminal khusus merupakan bagian dari rencana Proyek Pengembangan Tangguh LNG. Ini termasuk Dermaga Kombo (*Combo Dock*) dan BOF yang telah ada, serta rencana dermaga LNG (Dermaga 2). Padatan yang dilepaskan ke dalam air sebagai akibat dari resuspensi (*resuspension*) pengerukan dimodelkan untuk satu lokasi yang representatif. Evaluasi didasarkan pada perbandingan TSS yang diperkirakan, termasuk TSS rona awal, terhadap baku mutu ambien. Jejak pengendapan (*depositional footprint*) pada dasar sedimen juga dihitung. **Gambar 3-2** menunjukkan lokasi di sekitar BOF yang digunakan untuk pemodelan pengerukan.

Pembuangan material keruk ini direncanakan terjadi di dua lokasi area lepas pantai yang lebih dalam. Padatan (*solids*) yang dilepaskan ke air sebagai akibat dari pembuangan material keruk dimodelkan untuk satu lokasi pembuangan yang representatif. Serupa dengan pemodelan pengerukan, evaluasi ini didasarkan pada perbandingan TSS yang diperkirakan terhadap baku mutu ambien dan luas jejak pengendapan (*depositional footprint*). Gambar 3-1 menunjukkan Lokasi Pembuangan di bagian Timur yang digunakan dalam pemodelan.

Sumur-sumur di sejumlah lokasi dalam Teluk Bintuni dipertimbangkan sebagai bagian dari Proyek Pengembangan Tangguh LNG. Lokasinya termasuk Lapangan gas Wiriagar, Roabiba, Ofaweri, Vorwata, dan Ubadari juga Prospek Teteruga. Empat dari lokasi tersebut dilakukan pemodelan untuk memperkirakan TSS dan dasar dari jejak pengendapan (*depositional footprint*) serbuk dan lumpur bor. Pemodelan mencakup durasi penuh dari kegiatan pengeboran pada masing-masing sumur. **Gambar 3-1** menunjukkan keempat sumur (UBA, WDA, ROA, dan TTB) yang diperhitungkan dalam pemodelan serbuk dan lumpur bor.



Gambar 3-1 Peta Teluk Berau/Teluk Bintuni dengan Fasilitas Tangguh LNG dan Lokasi yang diusulkan untuk Pengeboran, Pembuangan Air Limbah Hasil Uji Tes Tekan (*hydrotest*), dan Pembuangan Material Keruk yang Termasuk dalam Pemodelan Saat Ini



Gambar 3-2 Peta Fasilitas Tangguh LNG dengan Struktur Terminal Khusus, Lokasi Pembuangan (outfall), dan Lokasi Kerukan yang Termasuk dalam Pemodelan Ini

4.1 METODOLOGI PEMODELAN

Dampak lingkungan terhadap air permukaan dari perluasan fasilitas Tangguh LNG di Teluk Bintuni dinilai dengan menggunakan pendekatan pemodelan menyeluruh. Dalam pendekatan pemodelan menyeluruh, GEMSS[®], *Generalized Environmental Modelling System for Surface water*, dipakai untuk menghitung bidang aliran (*flow fields*) di seluruh Teluk Bintuni. Bidang aliran (*flow fields*) ini kemudian digunakan untuk memperkirakan sebaran dampak (*fate and transport*) dari air limbah campuran, air limbah *hydrotest*, lumpur dan serbuk bor, serta sedimen tersuspensi dari pengerukan dan pembuangan material keruk.

Dampak kumulatif disampaikan dengan memakai perhitungan *near-field* dan *far-field* untuk memperkirakan dampak di seluruh Teluk Berau/Teluk Bintuni. Model *near-field* memungkinkan perkiraan dengan resolusi tinggi atas *plume* pembuangan pada skala 100-200 m. Model *far-field* memberikan perkiraan atas cakupan keseluruhan pembuangan di seluruh Teluk dan mewakili konsentrasi setelah pengenceran *plume* awal (*initial plume dilution*).

Model *far-field* yang dipakai adalah modul-modul hidrodinamika GEMSS (GEMSS-HDM), pengguna (GEMSS-UDC), dan sebaran sedimen (GEMSS-GIFT). Pemodelan dilakukan untuk dua musim iklim/oseanografi. Musim hujan pada bulan Juni sampai Oktober dan musim kemarau pada bulan Desember sampai Maret. Untuk setiap musim, simulasi mencakup 28 hari siklus pasang surut tunggal untuk mendapatkan pasang perbani (*spring tides*) dan anak pasang surut (*neap tides*). Catatan data historis selama dua periode digunakan dalam pemodelan untuk mewakili kondisi musiman ini. Bidang aliran dihitung dengan modul hidrodinamika GEMSS-HDM yang digunakan secara langsung dalam modul GEMSS-UDC dan GEMSS-GIFT.

Model yang digunakan untuk perhitungan *near-field* adalah CORMIX (*US EPA's dilution model*) dan ADDAMS (*US Army Corps of Engineers suite of dredge impact models*). Model ini merupakan model *steady-state* dan digunakan dalam studi pemodelan untuk mensimulasikan kondisi pasang naik dan pasang surut. Hasil hidrodinamika (kedalaman, kecepatan, temperatur, dan salinitas) untuk kondisi ini diekstrak dari bidang aliran yang dihasilkan oleh GEMSS-HDM untuk dipakai dalam model *near-field*.

Dampak dari beragam buangan langsung diperkirakan dengan menghitung kontribusi buangan tersebut terhadap konsentrasi kolom air. Untuk buangan air limbah dan air *hydrotest*, konsentrasi ini dihitung dengan menggunakan pengenceran (*dilution*) yang dihitung melalui model. Faktor pengenceran (*dilution factor*) ini diterapkan terhadap beragam konsentrasi buangan untuk memperkirakan kontribusi tambahan terhadap konsentrasi ambien. Dengan banyaknya baku mutu yang berlaku hanya dapat diterapkan untuk kondisi ambien (baku mutu ambien), kontribusi tambahan tersebut ditambahkan ke konsentrasi rona awal untuk memperkirakan total konsentrasi ambien. Persamaan yang digunakan untuk menghitung konsentrasi ambien adalah sebagai berikut:

$$C = C_{baseline} + \frac{(C_{discharge} - C_{baseline})}{Dilution\ Factor}$$

Seperti dapat dilihat dari persamaan ini, faktor pengenceran minimum (*minimum dilution factor*) akan menghasilkan konsentrasi ambien maksimum. Konsentrasi maksimum buangan yang diukur dan tidak adanya laju proses pembusukan (*zero decay rates*) digunakan untuk memberikan konservatisme tingkat tinggi. Banyak konstituen yang dimodelkan di sini ditemukan membusuk dengan laju yang cepat.

Dampak dari kegiatan pengerukan dan pengeboran dikaji dengan memperkirakan Total Padatan Tersuspensi (TSS) dan *footprint* dasar sedimen (yaitu luas dan ketebalan) dari material yang mengendap.

Metodologi pemodelan dan rangkaian data diperlukan untuk setiap upaya pemodelan sebagaimana dijelaskan dalam bagian berikut. Tabulasi dari semua skenario model diberikan dalam **Tabel 4-1**. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bidang aliran (*flow fields*) untuk masing-masing model dan skenario dihitung dengan menggunakan model hidrodinamika keseluruhan, GEMSS-HDM.

Tabel 4-1 Inventarisasi Skenario-skenario Pemodelan

Komponen Pemodelan	Model	Lokasi	Musim	Pasang Surut
Far-field				
Buangan Campuran (<i>Comingled Release</i>)	GEMSS-UDC	Dermaga 1	Kemarau	NA
		Dermaga 1	Hujan	NA
		Dermaga 2	Kemarau	NA
		Dermaga 2	Hujan	NA
Buangan Campuran dan <i>Hydrotest</i> (<i>Comingled Release+Hydrotest</i>)		Dermaga 1	Kemarau	NA
		Dermaga 2	Kemarau	NA
		Dermaga 1	Hujan	NA
		Dermaga 2	Hujan	NA
<i>Hydrotest</i>		ROA	Kemarau	NA
		VRF	Kemarau	NA
		WDA	Kemarau	NA
		UBA	Kemarau	NA
		ROA	Hujan	NA
		VRF	Hujan	NA
		WDA	Hujan	NA
		UBA	Hujan	NA
Buangan Campuran dan Sensitivitas (<i>Comingled Release+Sensitivity</i>)		Terburuk	Terburuk	NA
Pengerukan dan Pembuangan Material Keruk (<i>Dredging+Disposal</i>)	GEMSS-GIFT	BOF	Kemarau	NA
		BOF	Hujan	NA
		<i>East Disposal</i>	Kemarau	NA
		<i>East Disposal</i>	Hujan	NA

Komponen Pemodelan	Model	Lokasi	Musim	Pasang Surut		
Pengeboran (<i>Drilling</i>)		ROA	Kemarau	NA		
		ROA	Hujan	NA		
		UBA	Kemarau	NA		
		UBA	Hujan	NA		
		TTB	Kemarau	NA		
		TTB	Hujan	NA		
		WDA	Kemarau	NA		
		WDA	Hujan	NA		
<i>Near-field</i>						
Buangan Campuran (<i>Comingled Release</i>)	CORMIX	Dermaga1	NA	Tinggi		
		Dermaga1	NA	Rendah		
		Dermaga2	NA	Tinggi		
		Dermaga2	NA	Rendah		
<i>Hydrotest</i>		WDA	NA	Tinggi		
		WDA	NA	Rendah		
		ROA	NA	Tinggi		
		ROA	NA	Rendah		
		VRF	NA	Tinggi		
		VRF	NA	Rendah		
		OFA	NA	Tinggi		
		OFA	NA	Rendah		
		Buangan Campuran dan Sensitivitas (<i>Comingled Release+Sensitivity</i>)		Terburuk	NA	Terburuk
Pengeboran dan Pembuangan Material Keruk (<i>Dredging+Disposal</i>)	DREDGE	BOF	NA	Tinggi		
		BOF	NA	<i>High Slack</i>		
		BOF	NA	Rendah		
		BOF	NA	<i>Low Slack</i>		
	STFATE	<i>EastDisposal</i>	NA	Tinggi		
		<i>EastDisposal</i>	NA	<i>High Slack</i>		
		<i>EastDisposal</i>	NA	Rendah		
		<i>EastDisposal</i>	NA	<i>Low Slack</i>		

4.1.1 *Pemodelan Hidrodinamika*

Input model yang dimiliki beragam pekerjaan pemodelan dampak, dikumpulkan dan disusun untuk penggunaan dalam GEMSS®. Input ini termasuk batimetri, peta pesisir, pasang surut, pembuangan air tawar atau dari kegiatan industri yang telah ada, kondisi iklim dan meteorologi, serta catatan pengukur arus (*current-meter records*). Model hidrodinamika dikembangkan menggunakan GEMSS dan kumpulan data disusun mewakili kondisi di seluruh dua periode terpilih untuk simulasi.

Catatan terbatas dari *current-meter* dan elevasi air permukaan di Teluk Berau/Teluk Bintuni dari tahun 2011 tersedia untuk konfirmasi model, dilengkapi dengan melakukan perbandingan terhadap hasil pemodelan.

4.1.2 ***Pemodelan Air Limbah Campuran dan PEmbuangan Air Limbah Hydrotest***

Aplikasi Model Near-field

Kondisi hidrodinamika untuk dua kondisi pasang surut diekstrak dari simulasi siklus 28 hari dalam menerapkan model *near-field*. Model pengenceran *near-field*, CORMIX, digunakan untuk memperkirakan pengenceran di sekitar lokasi pembuangan.

Aplikasi Far-field

Sebaran dampak (*fate and transport*) dari buangan air limbah campuran dan air limbah *hydrotest* diperkirakan menggunakan modul *user-defined constituent* (UDC) GEMSS. Modul memungkinkan zat-zat spesifik untuk dimodelkan menggunakan variable-variabel konsentrasi umum yang telah dikodekan ke dalam model. Pengenceran *far-field* (*far-field dilution*) diperkirakan untuk beragam air buangan selama periode dua musim. Buangan air limbah campuran dianggap terus menerus dan disimulasikan selama seluruh 28 hari siklus pasang surut. Buangan air *hydrotest* dibatasi durasinya dan disimulasikan selama 3 hari siklus penuh. Periode 3 hari ini dipilih agar dapat sesuai dengan periode kecepatan rendah dalam rangka menghasilkan perkiraan konservatif *yield*. Konstituen yang dibuang serta memiliki baku mutu air ambien dikaji sehubungan dengan konsentrasi yang berada di atas tingkat konsentrasi pada kondisi awal (*background levels*).

4.1.3 ***Sebaran Dampak Kumulatif Lumpur dan Serbuk Bor***

Tujuan dari pemodelan serbuk bor adalah untuk menentukan konsentrasi TSS kolom air dan akumulasi lapisan dasar serbuk bor (*the "footprint"*) untuk mengkaji dampak potensial terhadap organisme akuatik dan bentik. Model serbuk bor menggunakan modul sebaran dampak (*fate and transport*) sedimen, GIFT, yang mensimulasikan sebaran dampak material partikulat dilepaskan selama pengeboran sumur. Model berbasis partikel tiga dimensi ini menggunakan algoritma *Lagrangian* dalam hubungannya dengan arus yang dihasilkan oleh GEMSS® (atau, dalam kasus lain, dari arus yang diukur atau dimodelkan secara global) untuk memperkirakan sebaran dampak (*fate and transport*) serbuk dan lumpur bor. Model ini tidak memprediksi konsentrasi minyak dalam lumpur berbasis sintetik (*synthetic based mud*).

Kecepatan dengan variasi waktu yang telah dipetakan ke dalam *model grid* dan dihitung dengan model Hidrodinamika digunakan untuk menyebarkan serbuk dan lumpur bor, dimodelkan sebagai partikel. Pergerakan dalam arah vertikal termasuk pengendapan, *deposition*, dan erosi. Aksi campuran erosi dan *deposition* menyebabkan terjadinya akumulasi akhir (*net accumulation*) dari serbuk bor di dasar laut.

4.1.4 *Pembuangan Material Keruk*

Aplikasi Model Near-field

Kondisi hidrodinamika untuk dua kondisi pasang surut diekstrak dari simulasi siklus 28 hari dalam menerapkan model *near-field*. Model *near-field* dari model ADDAMS (DREDGE dan STFATE) digunakan untuk memperkirakan resuspensi (*resuspension*) sedimen di dekat lokasi pengerukan dan lokasi pembuangan material keruk.

Aplikasi Model Far-field

Potensi dampak lingkungan dikaji untuk pengerukan dan pembuangan material keruk selama sedimen dilepaskan ke dalam kolom air. Untuk pengerukan, sedimen dilepaskan selama adanya gangguan dasar laut dan kebocoran (*leakage*) dari peralatan pengerukan; untuk pembuangan material keruk, sedimen berada di permukaan dan partikel yang lebih kecil akan menyebar sedangkan partikel yang lebih berat yang jatuh ke dasar laut. Kajian meliputi perkiraan laju sedimentasi, TSS, dan ketebalan sedimen yang ditambahkan ke dasar laut. Pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan arus yang ditetapkan dalam rangkaian kerja pemodelan Hidrodinamika dan modul GIFT untuk dua periode musim terpilih.

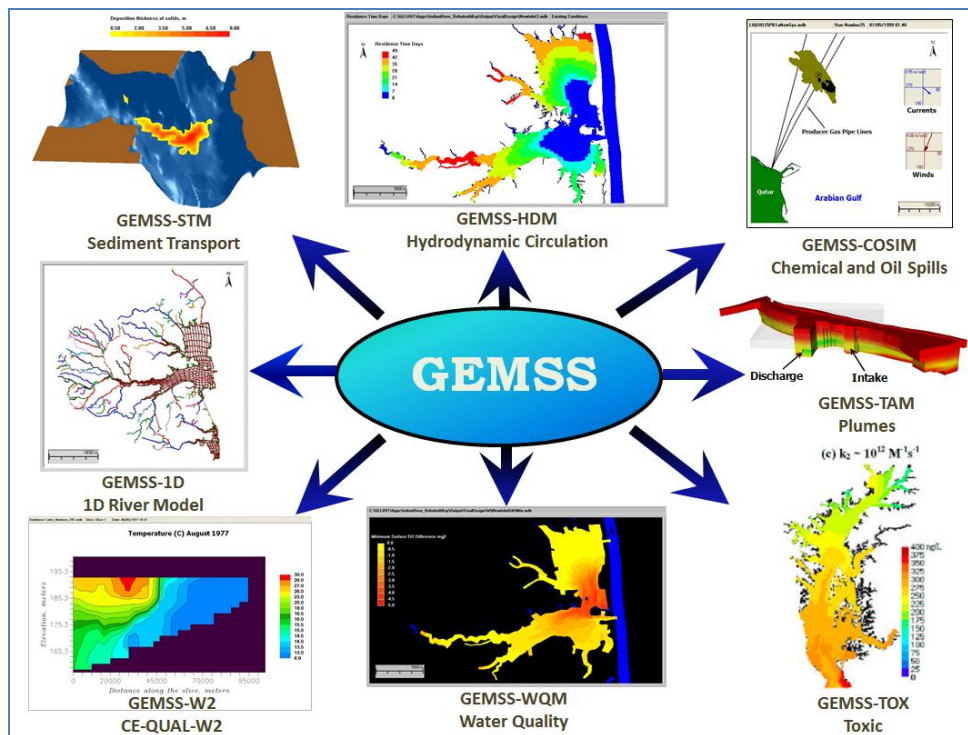
4.2 *DESKRIPSI GEMSS SUITE*

GEMSS® adalah suatu sistem terpadu Hidrodinamika 3-D dan model sebaran dampak (*transport*) yang dipasangkan dalam Sistem Informasi Geografis atau *Geographic Information System (GIS)*. GEMSS mencakup sistem data lingkungan, *grid generator* dan *editor, control file generator*, pengamat paska proses 2-D dan 3-D serta alat tambahan seperti generator data meteorologi dan data variasi waktu untuk membantu proses pemodelan. Penyesuaian model Hidrodinamika, sebaran dampak (*transport*) dan kualitas air untuk merefleksikan kebutuhan dari masing-masing aplikasi mudah dilakukan karena desain modular GEMSS. Daftar modul yang tersedia dalam GEMSS ditunjukkan dalam Gambar 4-1 dan **Gambar 4-2**, serta dicantumkan sebagaimana berikut.

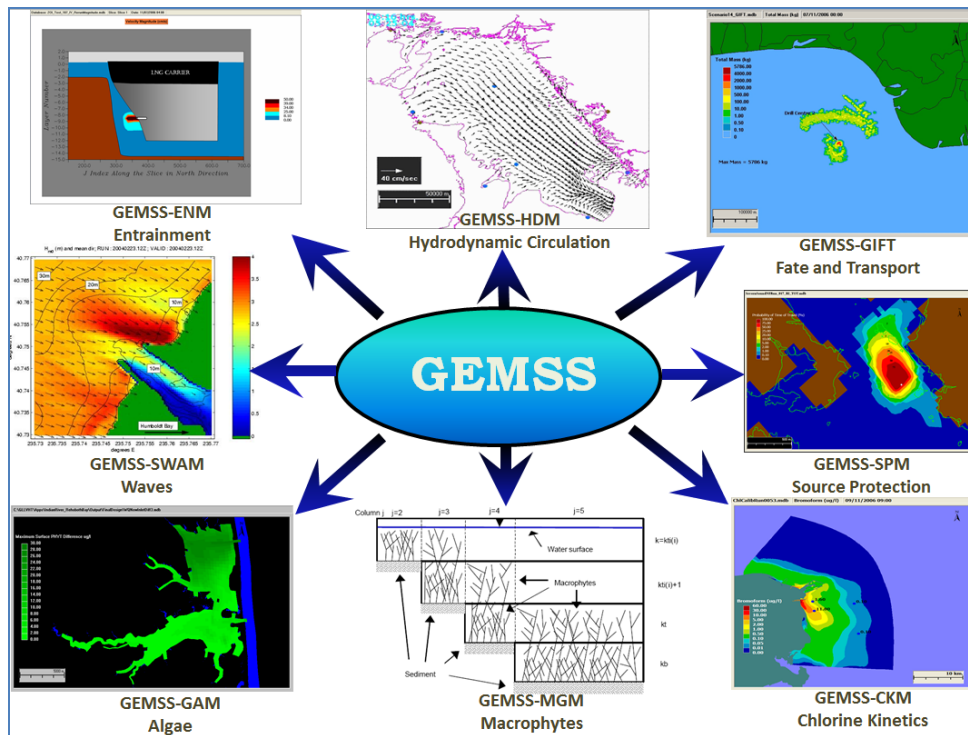
- *Hydrodynamic and Transport Module - HDM*
- *Source water Protection zone Module - SPM*
- *Water Quality Module - WQM*
 - WQDPM -EPA's EUTRO5 dimodifikasi untuk zat organik terlarut dan partikulat
 - WQCBM - Kinetika berbasis karbon (*carbon based kinetics*) dengan diagenesis sedimen
 - WQICM - USACE's CE-QUAL-ICM kinetika dengan diagenesis sedimen
 - WQW2M - USACE's CE-QUAL-W2 kinetika kualitas air
- *Chlorine Kinetics Module - CKM*
- *Atmospheric Diffusion Module - ADM*
- *Gas Transfer Module - GTM*

- *Sediment Transport Module - STM*
- *Toxic Module - TOX*
- *Particle Tracking Module - PTM*
- *Thermal Analysis Module - TAM*
- *Generalized Bacterial Module - GBM*
- *Generalized Algal Module - GAM*
- *User Definable Constituents Module - UDM*
- *Entrainment Module - ENM*
- *Macrophytes Module - MPM*
- *Empirical Transport Module - ENETM*
- *Equivalent Adult Module - ENEAM*
- *Generalized Integrated Fate and Transport - GIFT*
- *Chemical and Oil Spill Impact Module - COSIM*

Modul GEMSS yang digunakan dalam studi saat ini adalah GEMSS-HDM, GEMSS-GIFT dan GEMSS-UDC.



Gambar 4-1 Modul GEMSS: Set Pertama



Gambar 4-2 Modul GEMSS: Set Kedua

4.2.1 GEMSS-HDM

GEMSS®-HDM adalah model numerik tiga dimensi paling canggih yang menghitung kecepatan pada waktu yang bervariasi, elevasi muka air, salinitas dan temperatur di sungai, danau, waduk, muara, dan badan air pesisir pantai. Sebelum tahun 2000, GEMSS-HDM disebut sebagai GLLVHT (*Generalized Longitudinal-Lateral-Vertical Hydrodynamics and Transport*)

Dasar teori inti (*kernel*) Hidrodinamika dari GEMSS adalah model *three-dimensional Generalized, Longitudinal-Lateral-Vertical Hydrodynamic and Transport* (GLLVHT) yang mana pertama kali diperkenalkan oleh Edinger dan Buchak (1980) dan selanjutnya oleh Edinger dan Buchak (1985). Perhitungan GLLVHT telah diulas bersama dan dipublikasikan (Edinger dan Buchak, 1995; Edinger, dkk, 1994 dan 1997; Edinger dan Kolluru, 1999). Intinya merupakan perpanjangan dari model sebaran (*transport*) membujur-vertikal yang terkenal yang ditulis oleh Buchak dan Edinger (1984) yang membentuk Hidrodinamika dan dasar model sebaran (*transport*) kualitas air CE-QUAL-W2 dari the Corps of Engineers' (*U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station*, 1986). Perbaikan terhadap skema sebaran (*transport*), konstruksi modul konstituen, penggabungan alat piranti lunak pendukung, pengoperasian antar GIS, alat visualisasi, *graphical user interface* (GUI), dan paska pemrosesan telah dikembangkan oleh Kolluru dkk (1998; 1999; 2003a, 2003b) dan oleh Prakash dan Kolluru (2006).

Kemampuan GEMSS telah banyak diakui oleh organisasi profesional, misalnya, HGL dan Aqua Terra, 1999 dan *Water Environment Federation* (2001).

Pengembangan GEMSS terus berlanjut setelah aplikasi tambahan diselesaikan. Inti Hidrodinamika kedua, POM, telah ditambahkan untuk melengkapi GLLVHT. Selain itu, modul konstituen baru telah dikembangkan dan diuji, termasuk perlindungan air pada sumbernya (Kolluru dan Prakash, 2012), alokasi muatan nutrient pada daerah aliran sungai (Kolluru dkk., 2009), klorin dan klorin yang dihasilkan selama proses sebaran dampak (*fate and transport*) (Kolluru dkk. 2012); analisis danau bukaan tambang (Vandenberg, dkk., 2011; Prakash, dkk., 2012), kotoran dari puing-puing (*debris fouling*) pada bangunan pengambil air untuk air pendingin atau *Cooling Water Intakes* (Prakash dkk., 2012), sebaran dampak (*fate and transport*) coliform (Tryland dkk, 2012) dan perhitungan *thermal avoidance* (Buchak, et. al., 2012), kajian dampak (Fichera, dkk., 2013)

Aplikasi GEMSS untuk muara dan badan air pesisir pantai telah divalidasi dengan perbandingan terhadap kumpulan data yang banyak dan dikumpulkan dari lapangan. Hal ini termasuk arus, temperatur dan klorin serta klorin yang dihasilkan selama proses kegiatan lepas pantai Qatar (Kolluru dkk., 2005; Adenekan dkk., 2009; Febbo dkk., 2012; Kolluru dkk., 2003; Kolluru dkk., 2012); arus, temperatur dan kualitas air nutrient dalam *Puget Sound* (Alberson dkk., 2009) di pesisir Delaware (Kolluru dan Fichera, 2003), dan Sungai Vistula di Polandia (Kruk dkk., 2011); arus dan temperatur di area Pelabuhan New York (Edinger dkk., 1997); populasi larva di pesisir Alaska (Edinger dkk., 1994); dan, kolam *tailing* pertambangan (Prakash dkk., 2011).

Perhitungan dilakukan pada *grid* horizontal dan vertikal yang menunjukkan badan air pada permukaan, garis pantai, dan dasar laut. Elevasi muka air diperhitungkan secara simultan dengan komponen kecepatan. Komponen kecepatan dan elevasi air selanjutnya mempengaruhi pengembangan daftar instruksi untuk perhitungan sebaran zat terlarut (*solute transport routines*) untuk menghitung konsentrasi konstituen kualitas air. Termasuk dalam perhitungan adalah formulasi kondisi batas untuk gesekan atau friksi (*friction*), gaya geser angin (*wind shear*), turbulensi, aliran masuk (*inflow*), aliran keluar (*outflow*), pertukaran panas pada permukaan (*surface heat exchange*), dan kinetika kualitas air (*water quality kinetics*). Model ini dapat digunakan untuk menganalisis dinamika sistem dan untuk memprediksi dampak dari kondisi yang ada atau desain yang mungkin atau alternatif pengelolaan.

4.2.2 GEMSS-UDC

The User Defined Constituent (UDC) mensimulasikan sebaran dampak (*fate and transport*) konstituen generik. Konstituen generik ini dimodelkan dengan mengasumsikan bahwa sebaran dampak (*fate and transport*) dapat ditunjukkan secara memadai dalam hal peluruhan/perkembangan sederhana (urutan nol atau urutan pertama) dan pengendapan, yang dapat diatur menjadi nol. Modul memungkinkan pengguna untuk mengatur jumlah konstituen generik yang tidak berinteraksi. Modul bekerja dengan menggunakan modul Hidrodinamika *far-field*, GEMSS-HDM dan dapat memakai algoritma transport yang tersedia di GEMSS termasuk *Upwind*, QUICKEST dan QUICKEST dengan ULTIMATE.

4.2.3 GEMSS-GIFT

GIFT mensimulasikan sebaran dampak dari material terlarut dan partikulat yang dibuang dari tongkang pengerukan (*dredging barges*), *tailing* pertambangan, serbuk dan lumpur bor, serta air terproduksi. Model dengan dasar partikel tiga dimensi ini menggunakan algoritma *Lagrangian* berkaitan dengan arus, laju beban massa (*specified mass load rates*), berapa kali pembuangan dan lokasi, ukuran partikel, laju pengendapan, dan nilai tegangan geser (jumlah *Shield*).

Metodologi pemodelan berdasarkan pada suatu mode deterministik dari simulasi. Dalam simulasi kejadian tunggal deterministik, tanggal mulai dan kecepatan arus serta arah pada setiap langkah/step waktu dipilih dari database pada periode yang dipilih.

Serbuk dan lumpur bor dimodelkan sebagai partikel. Pergerakan dalam arah vertikal menghasilkan pengendapan dan deposisi (*deposition*) serbuk bor pada dasar laut. Aksi campuran dari erosi dan deposisi (*deposition*), berdasarkan distribusi ukuran partikel serta intensitas pembuangan, menghasilkan akumulasi akhir (*net accumulation*) dari serbuk bor di dasar laut.

4.3 DESKRIPSI CORMIX

Dalam studi ini digunakan model *Cornell Mixing Zone Expert System* (CORMIX) Versi 7.0 GT dari *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) untuk memperkirakan faktor dispersi (*dilution factor*), konfigurasi, dan dimensi *plume* effluen dari konfigurasi buangan dan debit aliran yang berbeda. CORMIX adalah suatu perangkat untuk desain titik pembuangan (*outfall*) yang juga digunakan oleh badan pengatur untuk memperkirakan ukuran dan konfigurasi dari zona pencampuran yang diusulkan dan yang ada saat ini yang dihasilkan dari buangan air limbah. CORMIX diterapkan di daerah yang berdekatan dengan struktur pembuangan yang mana *plume* effluen limbahnya diketahui terpisah dari air ambien. Lintasannya didominasi oleh kecepatan pembuangan, berat jenis effluen, dan geometri struktur pembuangan.

Perhitungan CORMIX adalah berdasarkan penentuan berbagai zona hidrolika dimana *Plume* effluen melintas ketika mengenai badan air penerima. Model tersebut menghitung lintasan *plume* dan kecepatan sebaran (*dilution rate*) di setiap zona dengan menggunakan perhitungan berdasarkan kaitan analitis maupun empiris. Keterkaitan ini telah divalidasi oleh para *developer* dan peneliti-peneliti lain terhadap studi laboratorium dan lapangan. CORMIX telah diterapkan pada berbagai studi sebaran buangan limbah (<http://www.cormix.info/>) dan diakui oleh US EPA serta badan peraturan nasional lainnya sebagai model yang tepat untuk menghitung lintasan (*trajectories*), laju sebaran (*dilution rate*), dan dimensi zona pencampuran yang diakibatkannya.

CORMIX memiliki beberapa keterbatasan. CORMIX mengasumsikan kondisi yang stabil (*steady-state conditions*) dan pada berbagai arah (*unidirectional*), serta debit aliran yang seragam di badan air penerima. Kedua, CORMIX memiliki kemampuan geometris yang disederhanakan dan mengasumsikan badan air yang ideal dengan sisi yang lurus (*straight sides*) dan dasar yang seragam (*a uniform bottom*).

4.4 DESKRIPSI ADDAMS

The Automated Dredging and Disposal Alternatives Modelling System (ADDAMS) disebarikan oleh U.S Army Corps of Engineers melalui *the Environmental Laboratory, USAE Research and Development Center Waterways Experiment Station*. ADDAMS terdiri atas kira-kira 20 modul yang membantu dalam desain dan evaluasi berbagai aspek pengerukan dan operasi pembuangan material pengerukan. Dua di antara modul-modul ini, DREDGE dan STFATE digunakan dalam studi ini.

4.4.1 DREDGE

Untuk menilai potensi sebaran (*dilution*) dan deposisi (*deposition*) sedimen perairan laut yang dikeruk; digunakan model DREDGE dari *United States Army Corps of Engineers (USACE)* (Hayes and Je, 2008). Model ini adalah perhitungan pada kondisi stabil (*steady-state calculation*), yang dikembangkan untuk menghitung dampak dari operasi pengerukan yang direncanakan. DEDGE menghitung kecepatan di mana sedimen mulai tersuspensi sebagai akibat dari operasi pengerukan hidrolis dan mekanis, kemudian menghitung dimensi *plume* sedimen yang tersuspensi dan konfigurasi dengan menggunakan informasi spesifik dari lokasi. Uraian detail mengenai simulasi DREDGE disajikan dalam laporan ini.

4.4.2 STFATE

STFATE (*Short-Term FATE*) adalah modul dari *Automated Dredging and Disposal Alternatives Management System (ADDAMS)* (Schroeder and Palermo, 1990). STFATE (Johnson dkk., 1994) yang telah dikembangkan dari model DIFID (*Disposal from an Instantaneous Discharge*) yang dilakukan oleh Koh dan Chang (1973). DIFID digunakan untuk buangan limbah diskrit (*discrete discharges*) dari kapal tongkang dan *hoppers*. Model perhitungannya menggunakan asumsi bahwa perilaku material yang dibuang dapat dipisahkan menjadi tiga tahap: Turun secara konvektif (*convective descent*), ketika kumpulan/gumpalan buangan (*disposal clouds*) turun karena pengaruh gravitasi dan momentum awalnya disebabkan oleh gravitasi; penurunan dinamis (*dynamic collapse*), yang terjadi ketika kumpulan/gumpalan buangan menurun yang menimbulkan dampak baik terhadap dasar laut maupun sampai pada daya mengapung netral ketika penurunan melambat dan penyebaran horizontal mendominasi; dan sebaran dampak pasif (*passive transport-dispersion*) mulai ketika pengangkutan dan penyebaran material lebih ditentukan oleh arus dan turbulensi ambien dibandingkan dengan dinamika operasi pembuangan. Model ini menirukan distribusi material pengerukan dalam kolom air dan pada dasar laut yang berasal dari beban buangan diskrit (*discrete disposal loads*). Akan tetapi, STFATE tidak memperhitungkan arus kepadatan (dan pembawaan partikel tanah liat/lanau). Dengan demikian STFATE dapat dianggap konservatif dalam hal dampak terhadap kolom air. Model ini mempertimbangkan berbagai macam parameter input termasuk jenis kapal pembuangan, sifat fisik badan air, dan sifat material.

5.1 DATA SPASIAL

Data spasial yang diperlukan untuk pemodelan terdiri atas:

- Delineasi garis pantai Teluk Berau/Teluk Bintuni dan struktur fasilitas terminal khusus Tangguh LNG;
- Lokasi sumur, area pengerukan, dan area pembuangan material keruk;
- Elevasi dasar Teluk Berau/Teluk Bintuni (*bathymetry*).

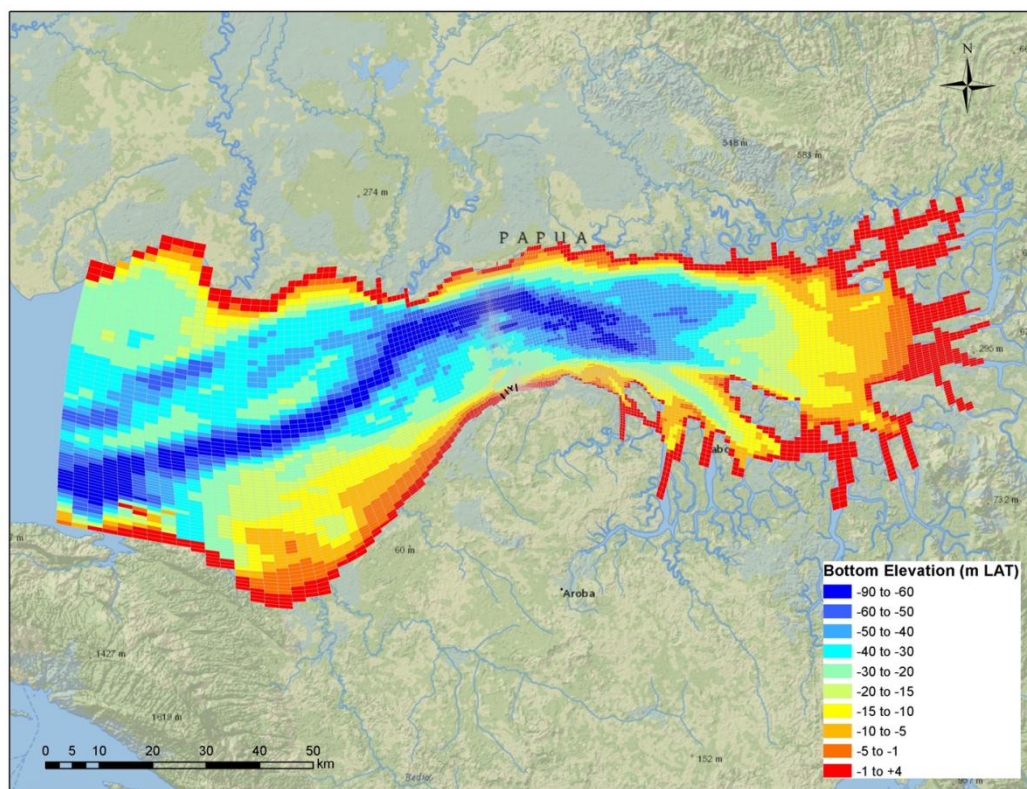
Garis pantai Teluk Berau/Teluk Bintuni didelineasi dengan menggunakan bagan nautical (*nautical charts*) dan citra satelit (*satellite imagery*). Luas supratidal yang terdapat pada bagan nautik yang diberikan oleh Tangguh LNG berguna sebagai dasar untuk garis pantai. Peta ini telah dilakukan proses georeferensi menggunakan perangkat lunak ESRI ArcGIS dan diverifikasi menggunakan citra satelit dari ESRI sebagai bagian dari layanan data *online* mereka. Sedikit penyesuaian pada garis pantai dibuat di sekitar area fasilitas Tangguh LNG agar citranya lebih mirip.

Struktur fasilitas terminal khusus yang memerlukan representasi dalam pemodelan Hidrodinamika adalah Dermaga 1 (saat ini), Dermaga 2 (rencana), *Combo Dock*, dan BOF. Deliniasi struktur-struktur ini diambil dari gambar-gambar CAD yang telah dilakukan proses georeferensi diberikan oleh Tangguh LNG (BP, 2013a) dan ditunjukkan pada **Gambar 3-2**. Dermaga-dermaga dan BOF disimulasikan sebagai pembatas (*barriers*) dalam model Hidrodinamika. *Combo Dock* hanya berfungsi sebagai pembatas pada lapisan teratas dari model tersebut. Perlu diperhatikan bahwa meskipun Dermaga 3 terdapat pada **Gambar 3-2**, Dermaga 3 tidak disertakan dalam pemodelan karena dermaga tersebut tidak direncanakan untuk perluasan fasilitas terminal khusus yang akan datang.

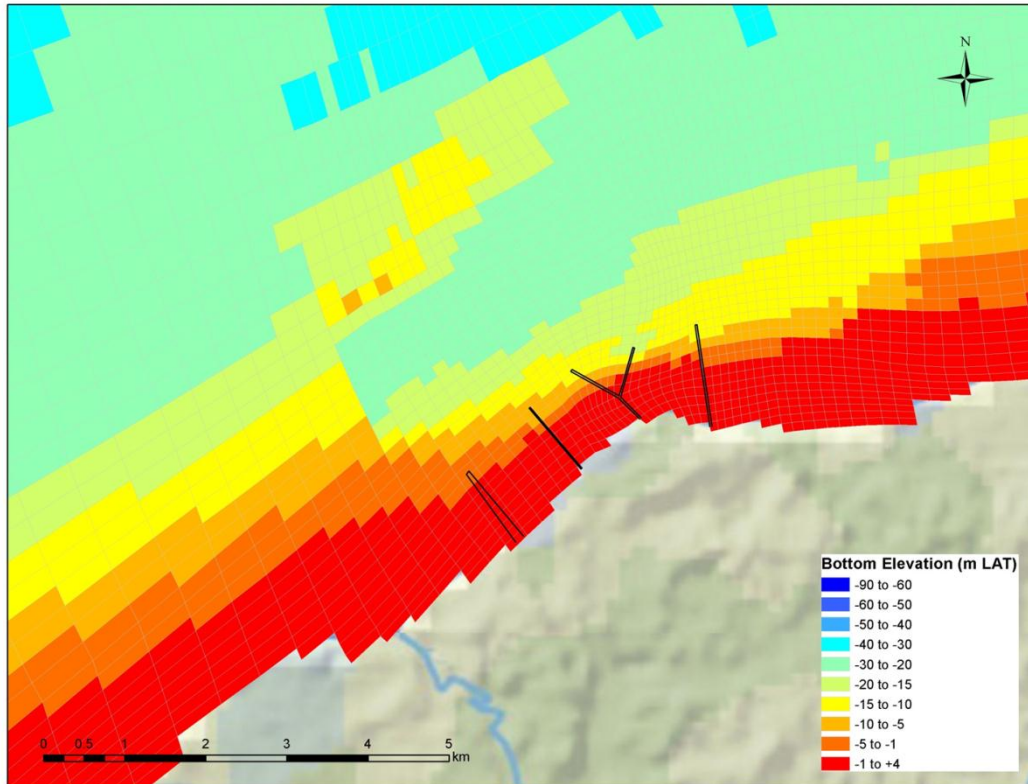
Lokasi sumur yang akan dimodelkan untuk pembuangan limbah *hydrotest* dan/atau serbuk dan lumpur bor adalah ROA, WDA, UBA, VRF, dan TTB (**Gambar 3-1**). Lokasi sumur-sumur ini diperkirakan dengan peta-peta dengan proses georeferensi yang diberikan oleh Tangguh LNG (BP, 2013a). Lokasi pengerukan dan lokasi pembuangan material pengerukan diberitahukan melalui komunikasi *e-mail* dengan Tangguh LNG (BP, 2013b).

Grid model dibuat agar menyamai garis pantai Teluk Berau/Teluk Bintuni serta struktur fasilitas terminal khusus. Tepi barat model memanjang hampir mendekati Laut Seram dekat Ogar. *Grid* model terdiri atas lebih dari 11.000 sel *grid* horizontal dan hingga 34 lapis secara vertikal. *Grid* model tersebut ditunjukkan pada **Gambar 5-1**. *Grid* tersebut memiliki resolusi yang dapat bervariasi agar mendapatkan resolusi yang lebih baik di dekat fasilitas terminal khusus Tangguh LNG (**Gambar 5-2**) mendekati area lepas pantai. Rata-rata dimensi sel *grid* adalah 1,0 per 1,5 km dengan 85 per 110 m resolusi di area fasilitas dekat pantai.

Bathimetri Teluk berdasarkan pada data yang dikumpulkan oleh URS dan diberikan oleh Tangguh LNG. Data ini terdiri dari keseluruhan Teluk Berau/Teluk Bintuni dan merupakan gabungan dari berbagai sumber data, termasuk survei pengerukan tahun 2009, survei oleh Janhidros tahun 2007, dan survei *Combo Dock* dan tambatan (*berth*) Dermaga 1 pada tahun 2004. Cakupan area *Dataset* ini dipetakan pada *grid* model dengan merata-ratakannya (dan interpolasi bilamana diperlukan). Pada area di sekitar fasilitas terminal khusus Tangguh LNG, dibuat sedikit penyesuaian pada *grid* agar secara umum sama dengan bagan nautik. Hasil bathimetri yang digunakan pada model terdapat pada **Gambar 5-1** dengan diperbesar pada area fasilitas terminal khusus di **Gambar 5-2**.



Gambar 5-1 *Grid Model Hidrodinamika dengan Elevasi Dasar untuk Teluk Berau/Teluk Bintuni*



Gambar 5-2 *Grid Model Hidrodinamika dengan Elevasi Dasar pada Area Sekitar Fasilitas Terminal Khusus Tangguh LNG*

5.2 BATASAN DATA

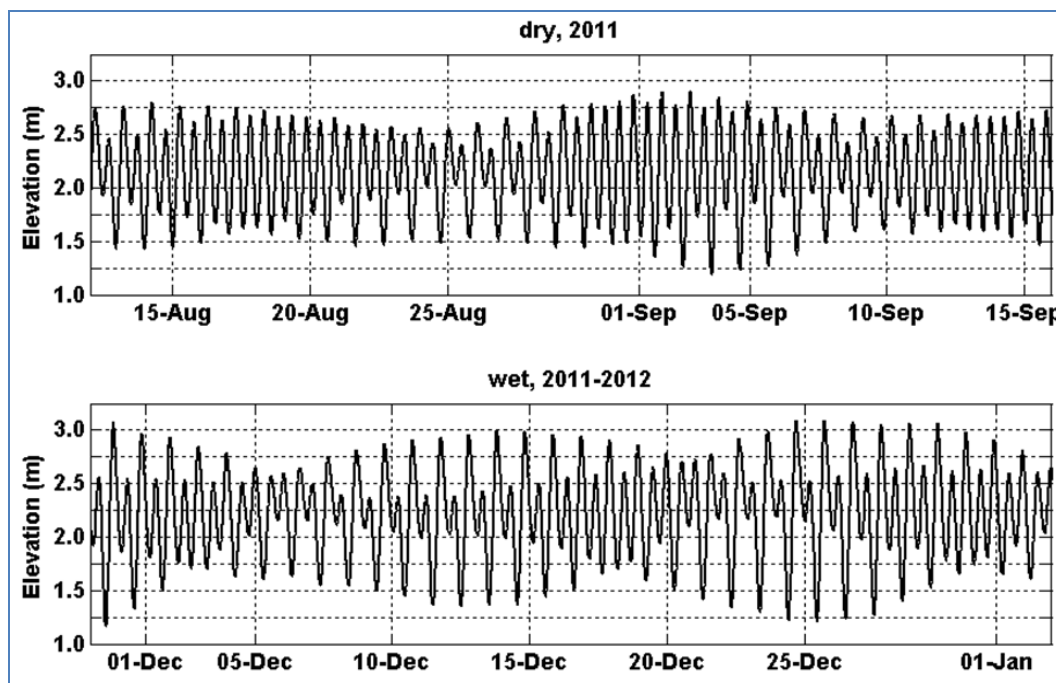
Input Model

Data yang digunakan untuk input model Hidrodinamika adalah: elevasi pasang surut di perbatasan barat (di mana Teluk Berau terbuka terhadap Laut Seram), temperatur dan salinitas di perbatasan barat dan seluruh teluk, serta data meteorologi. Data perbatasan diperlukan untuk simulasi model seluruh periode musim kemarau (2011-08-12 sampai 2011-09-15) dan musim hujan (1-12-2011 to 31-12-2011). Kontribusi air tawar ditambahkan secara konstan selama musim hujan. Sub bagian berikut menjelaskan data input ini secara tersendiri.

Elevasi Pasang Surut

Untuk menjalankan model ini, diperlukan data elevasi pasang surut pada batas sebelah barat dari model dengan Laut Seram. Pengukuran elevasi terkini hanya tersedia di tambatan (*berth*) Tangguh LNG (2,4260° LS, 133,1330° BT). Pengukuran ini diperoleh oleh URS dari 29-07-2011 sampai 05-02-2012. Selain itu, digunakan perkiraan elevasi pasang surut yang diperoleh dari perangkat lunak prediksi pasang surut milik Oregon State University OTPS (*OSU Tidal Prediction Software: <http://volkov.oce.orst.edu/tides/otps.html>*). Perangkat lunak OTPS memiliki kelebihan dalam memberikan perkiraan elevasi pasang surut pada lokasi yang ditentukan pengguna software (*user-defined*) di manapun. Akan tetapi, prediksi OTPS untuk tambatan (*berth*) Tangguh LNG secara kualitatif sangat berbeda dengan

pengamatan yang sesungguhnya, mungkin karena deburan air yang disebabkan oleh angin diurnal atau gelombang Kelvin yang memasuki Laut Seram. Oleh sebab itu, pengukuran pasang surut tambatan (*berth*) digunakan untuk menentukan elevasi di perbatasan barat. Sinyal pasang surut ini disesuaikan amplitudo dan fasenya menggunakan *shift* pada amplitudo dan fase yang diperkirakan OTPS antara tambatan (*berth*) dan perbatasan barat. Data berurutan elevasi yang diterapkan di perbatasan barat ditunjukkan pada **Gambar 5-3**. Elevasi pada laporan ini adalah terkait dengan LAT, yang berada 2,15 meter di bawah rata-rata tinggi muka air laut pada area Tangguh LNG.

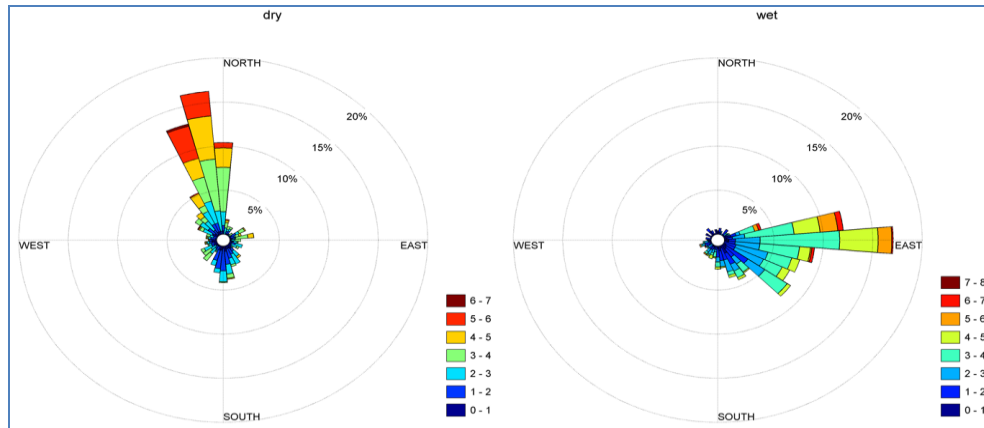


Gambar 5-3 Elevasi yang Dipengaruhi Pasang Surut Diterapkan pada Model di Perbatasan Barat Selama Periode Musim Kemarau dan Musim Hujan

Properti Meteorologi

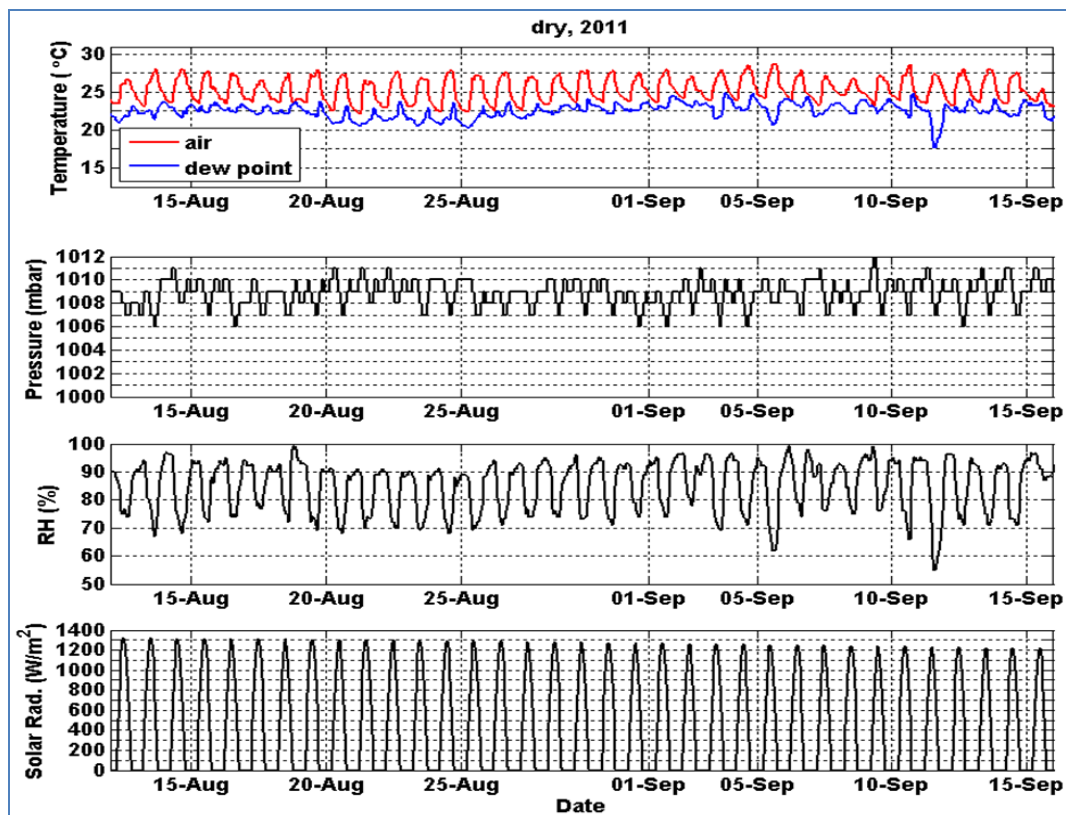
Pengamatan meteorologi dicatat dari bukit di bagian selatan Tanah Merah dan fasilitas Tangguh LNG di 2,4397° LS, 133,1366° BT (Program Pengumpulan Data Meteorologi, 2000). Posisi pada bukit ini adalah 44 meter di atas muka air laut rata-rata. Pengamatan dilakukan dari *anemometer mast*, dengan 30 meter lebih tinggi di atas barisan pepohonan. Pengamatan kecepatan dan arah angin, temperatur udara kering (*dry-bulb air*) dan temperatur saat terjadi kondensasi (*dew point temperatur*), tekanan udara, kondisi awan (*sky cover*), dan kelembaban relatif tersedia dari periode 01-01-2002 sampai 31-12-2011. Selama periode model musim kemarau angin datang dari utara (paling mungkin dari arah 350°) dan selama periode model musim hujan dari timur (paling mungkin dari arah 90°) seperti terlihat pada **Gambar 5-4**. Karakter meteorologi lainnya berdasarkan waktu yang berurutan (*time series*) diperlihatkan di **Gambar 5-5** untuk periode model musim kemarau dan **Gambar 5-6** untuk periode model musim hujan. Data meteorologi yang digunakan

pada model untuk menghitung tekanan angin permukaan dan perubahan panas dengan atmosfer.

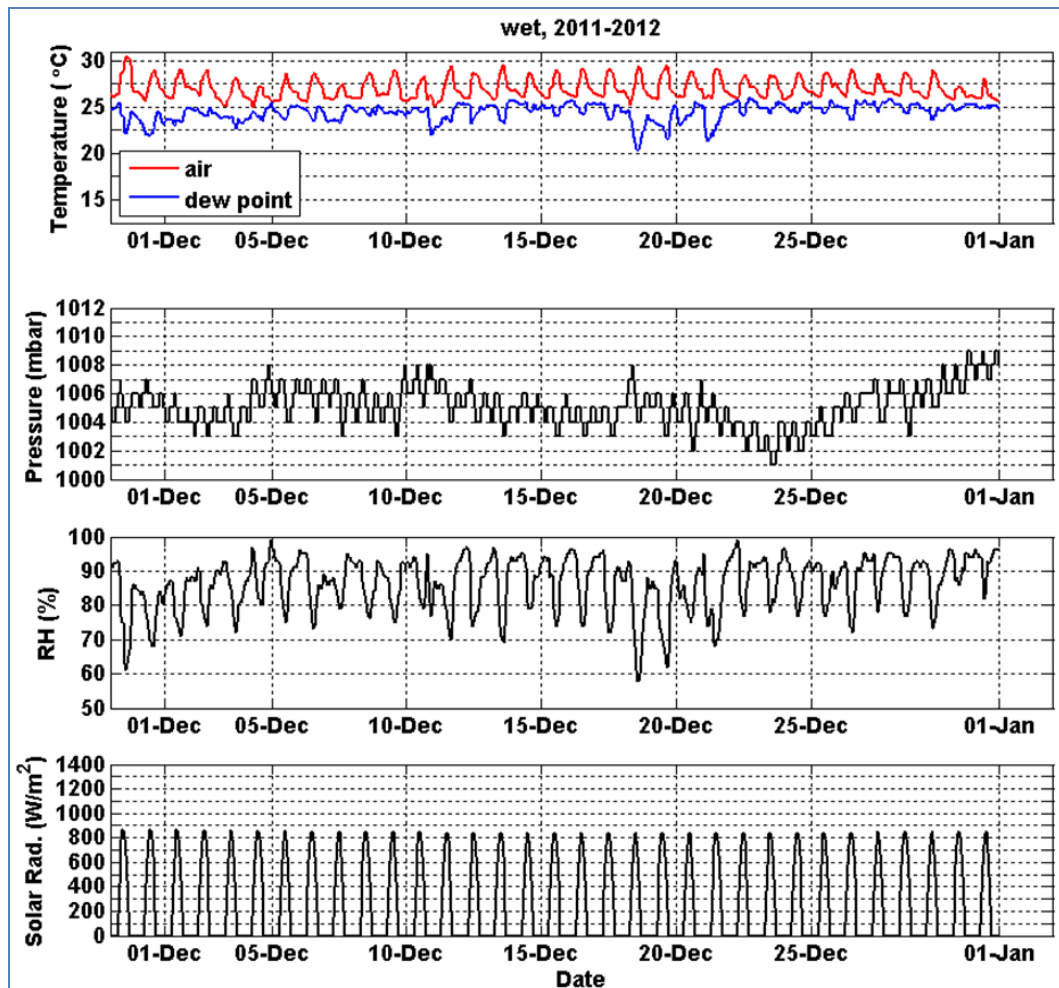


Warna mengindikasikan jangkauan kecepatan angin dalam satuan meter/detik dan angin berhembus dari arah yang ditunjukkan.

Gambar 5-4 Wind Roses Ditentukan Berdasarkan Pengukuran di Tanah Merah pada tahun 2011 Selama Periode Model Musim Kemarau (kiri) dan Hujan (kanan)



Gambar 5-5 Temperatur Udara Kering (Dry Bulb Air), Temperatur saat Kondensasi (Dew Point), Tekanan Udara, Kelembaban Relatif, dan Radiasi Matahari di Tanah Merah Selama Periode Model Musim Kemarau



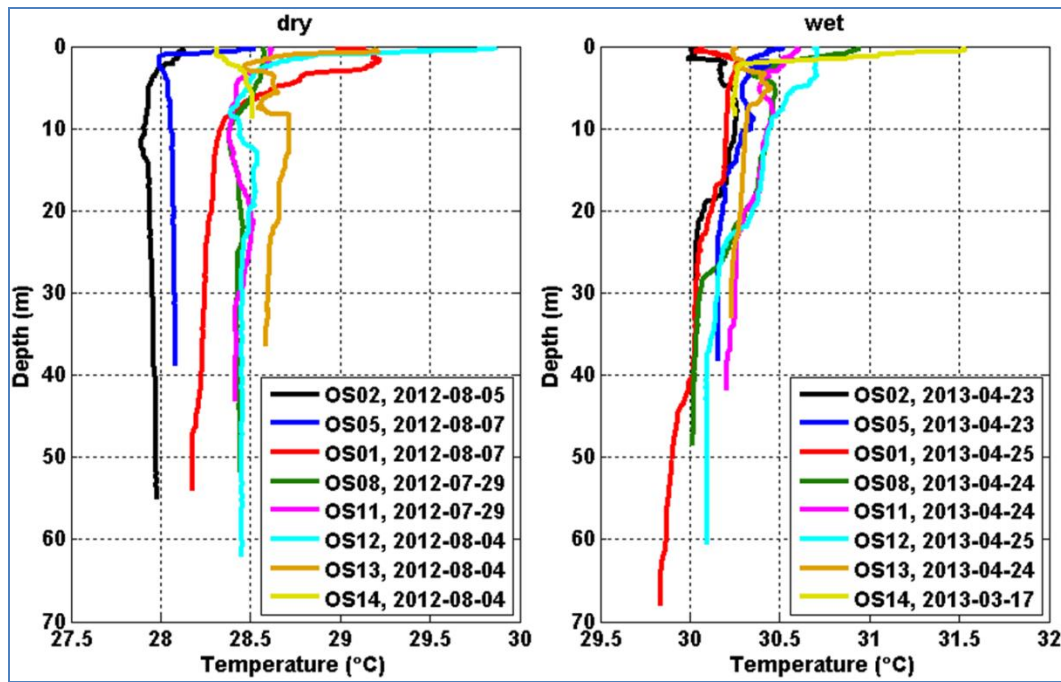
Gambar 5-6 Temperatur Udara Kering, Temperatur saat Kondensasi, Tekanan Udara, Kelembaban Relatif, dan Radiasi Matahari di Tanah Merah Selama Periode Model Musim Hujan

Temperatur dan salinitas

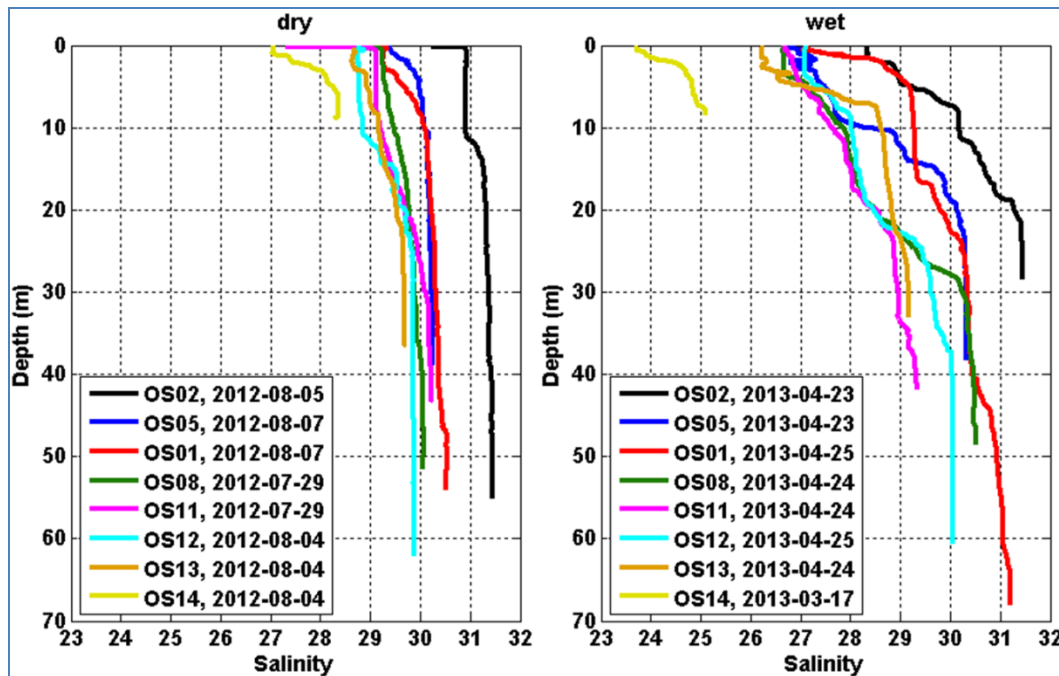
Profil vertikal temperatur dan salinitas dikumpulkan dari 23 stasiun dari 29-07-2012 sampai 27-10-2012 selama musim kemarau dan dari 30 stasiun dari 15-02-2013 sampai 26-04-2013 selama musim hujan. Lokasi stasiun ditunjukkan pada Gambar 5-7. Profil dari stasiun OS02 (2,4121° LS, 132,5451° BT) digunakan untuk menjelaskan seluruh perbatasan barat selama periode simulasi musim kemarau dan hujan (kurva hitam pada Gambar 5-8 dan Gambar 5-9). Pada simulasi musim kemarau, temperatur awal dan salinitas di manapun diatur masing-masing pada 28° C dan 30 ppt. Pada simulasi musim hujan, temperatur awal dimanapun ditetapkan 30° C. Salinitas awal musim hujan diatur menurut posisi barat-timut dalam domain model dengan menggunakan profil salinitas lepas pantai dari stasiun OS02, OS05, OS01, OS08, OS11, OS12, OS13, dan OS14 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5-9.



Gambar 5-7 Lokasi-lokasi Stasiun Profil Vertikal



Gambar 5-8 Profil Temperatur Udara dari Musim Kemarau dan Musim Hujan untuk Delapan Stasiun yang Digunakan untuk Input Model



Gambar 5-9 Profil Salinitas dari Musim Kemarau dan Hujan untuk Delapan Stasiun yang Digunakan untuk Input Model

Air Tawar

Seperti yang terlihat pada **Gambar 5-9**, karakteristik stratifikasi salinitas muara sangat jelas pada musim hujan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya aliran masuk air tawar yang berasal dari limpasan sungai dan curah hujan pada musim tersebut. Untuk membuat kembali stratifikasi ini dalam model, aliran air tawar konstan ditambahkan secara seragam pada kedalaman yang paling dangkal 5 m dari model di semua area timur fasilitas Tangguh LNG. Total besarnya debit aliran ini adalah sekitar 2.300 m³/detik dan ditentukan oleh perbandingan kualitatif dari profil salinitas yang dimodelkan dan diamati (lihat Bagian 5.4). Untuk perbandingan, total rata-rata aliran tahunan (termasuk musim hujan dan kemarau) dari enam sungai utama yang dijelaskan sebelumnya di Bagian 2 (Deskripsi Area Studi) adalah 1.295 m³/detik. Aliran air tawar yang dimodelkan hanya diterapkan pada simulasi musim hujan.

5.3 RANCANGAN SKENARIO

Ada dua jenis musim klimatologis yang berbeda di Teluk Berau/Teluk Bintuni yang dilihat dari data iklim umum dan dari observasi kelautan. Iklim di wilayah ini dapat diklasifikasikan menjadi musim hujan dan musim kemarau sebagaimana diperlihatkan dalam catatan hujan secara historis dan profil salinitas dalam Bagian 5.2. Karakteristik Hidrodinamika dalam musim hujan dan kemarau bisa berbeda-beda karena debit aliran air tawar dan profil salinitasnya berbeda. Perbedaan ini menghasilkan stratifikasi musiman dan dapat mengakibatkan pola sirkulasi yang berbeda baik di kedalaman bagian atas dan bagian bawah. Perbedaan dalam sirkulasi dan stratifikasi akan mendesak sebaran (*transport*) berbagai macam konstituen atau polutan dalam lingkungan maritim (kelautan). Untuk mendapatkan