

Borehole Name: Well 23

Laboratory Sample I.D :											EV120116-38	EV120759-27	EV130143-20	EV130628-32	EV131143-28
Date Sampled :					2009		2010			2011	2012		2013		
No.	Test Description	Unit	Methods	Regulatory Limit	Aug	Dec	May	Sep	Dec	Aug	Feb	Sep	Feb	Jun	Nov
<b>Water Level Information</b>															
1	Well depth	Meter	-	-										7.60	14.4
2	Initial (Before Purging)	Meter	-	-								8.06	8.10	8.06	8.28
3	Initial (After Purging)												15.0		
4	Initial (Before Sampling)	Meter	-	-								8.07	8.16	8.20	8.31
<b>Physical Tests</b>															
1	pH <sup>1)</sup>	-	APHA 4500HB	6.0 - 9.0	8.8	7.8	7.5	7.5	7.4	7.1	7.35	8.01	7.06	7.54	7.26
2	Total Dissolved Solids, TDS	mg/L	APHA 2540C	1000							340	314	338	318	308
<b>Anions</b>															
1	Chloride, Cl <sup>-</sup>	mg/L	APHA 4110B	-	ND	1.1	1	0.6	<0.5	1.6	0.9	1.7	1.6	0.9	1.0
2	Sulphate, SO <sub>4</sub>	mg/L	APHA 4110B	-	5	7	7.4	9	7	8	3	6	6	4	5
3	Sulphide, as H <sub>2</sub> S	mg/L	APHA 4500S-G	0.002	ND	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.514	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.001
<b>Nutrients</b>															
1	Nitrate, NO <sub>3</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	20	ND	0.144	<0.005	0.04	0.049	0.028	<0.005	0.254	0.046	0.094	0.147
2	Nitrite, NO <sub>2</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	0.06	ND	0.010	<0.001	<0.001	<0.001	0.016	<0.001	0.003	0.009	<0.001	<0.001
<b>Dissolved Metals</b>															
1	Arsenic, As	mg/L	APHA 3114C	1	0.005	<0.01	<0.001	0.004	0.003	0.003	<0.0005	0.0014	0.0023	0.0026	0.0021
2	Cadmium, Cd	mg/L	APHA 3111B	0.01	0.0002	<0.0001	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0005	<0.0001	<0.0005	<0.0005	<0.0005
3	Copper, Cu	mg/L	APHA 3111B	0.02	ND	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01
4	Lead, Pb	mg/L	APHA 3113B	0.03	0.016	0.017	<0.001	0.006	0.010	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003
5	Mercury, Hg	mg/L	USEPA 245.7	0.002	0.00006	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005
6	Sodium, Na	mg/L	APHA 3111B	-	22.50	14.10	11.4	11.3	12.4	11.1	10.5	11.9	11.4	10.9	7.17
7	Zinc, Zn	mg/L	APHA 3111B	0.05	0.99	0.04	<0.01	0.03	<0.01	<0.05	<0.005	<0.005	0.007	0.006	<0.005

Borehole Name: Well 24

Laboratory Sample I.D :												EV120116-39	EV120759-28	EV130143-21	EV130628-36	EV131143-29
Date Sampled :					2009			2010			2011	2012		2013		
No.	Test Description	Unit	Methods	Regulatory Limit	Aug	Dec	Dec*	May	Sep	Dec	Aug	Feb	Sep	Feb	Jun	Nov
<b>Water Level Information</b>																
1	Well depth	Meter	-	-											15.2	14.2
2	Initial (Before Purging)	Meter	-	-								5.93		5.76	5.70	6.00
3	Initial (After Purging)													14.6		
4	Initial (Before Sampling)	Meter	-	-								5.95	5.79	5.72	6.00	
<b>Physical Tests</b>																
1	pH <sup>1)</sup>	-	APHA 4500HB	6.0 - 9.0	7.2	7.8	-	7.3	7.2	7.3	7.0	7.23	7.97	7.21	7.70	7.29
2	Total Dissolved Solids, TDS	mg/L	APHA 2540C	1000								307	285	310	252	314
<b>Anions</b>																
1	Chloride, Cl <sup>-</sup>	mg/L	APHA 4110B	-	11.8	1.7	1.7	2.7	1.5	<0.5	3.3	2.7	2.2	2.8	1.9	1.2
2	Sulphate, SO <sub>4</sub>	mg/L	APHA 4110B	-	12	7	7	11.9	7	9	9	7	8	10	8	13
3	Sulphide, as H <sub>2</sub> S	mg/L	APHA 4500S-G	0.002	ND	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.001
<b>Nutrients</b>																
1	Nitrate, NO <sub>3</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	20	0.075	0.014	0.014	<0.005	0.01	0.045	0.192	0.027	0.045	0.067	0.020	0.057
2	Nitrite, NO <sub>2</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	0.06	ND	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
<b>Dissolved Metals</b>																
1	Arsenic, As	mg/L	APHA 3114C	1	0.008	<0.01	<0.01	<0.001	<0.001	0.003	0.001	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
2	Cadmium, Cd	mg/L	APHA 3111B	0.01	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0005	<0.0001	<0.0005	<0.0005	<0.0005
3	Copper, Cu	mg/L	APHA 3111B	0.02	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01
4	Lead, Pb	mg/L	APHA 3113B	0.03	0.076	0.019	0.019	<0.001	<0.001	0.018	0.008	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	0.002
5	Mercury, Hg	mg/L	USEPA 245.7	0.002	ND	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	0.00006	<0.00005
6	Sodium, Na	mg/L	APHA 3111B	-	6.37	6.82	6.77	6.25	6.04	7.02	6.18	6.00	6.59	5.93	5.71	4.12
7	Zinc, Zn	mg/L	APHA 3111B	0.05	0.12	0.03	0.03	<0.01	0.02	<0.01	0.03	0.010	<0.005	0.006	0.008	<0.005

Borehole Name: Well 25

Laboratory Sample I.D :												EV120116-40	EV120759-29	EV130143-22	EV130628-37	EV131143-30
Date Sampled :					2009		2010				2011	2012		2013		
No.	Test Description	Unit	Methods	Regulatory Limit	Aug	Dec	May	Sep	Sep*	Dec	Aug	Feb	Sep	Feb	Jun	Nov
<b>Water Level Information</b>																
1	Well depth	Meter	-	-											15	14.9
2	Initial (Before Purging)	Meter	-	-									11.54	11.6	11.5	11.7
3	Initial (After Purging)													13.7		
4	Initial (Before Sampling)	Meter	-	-									11.62	11.6	11.5	11.7
<b>Physical Tests</b>																
1	pH <sup>(1)</sup>	-	APHA 4500HB	6.0 - 9.0	7.3	7.7	7.3	7.2	7.2	7.3	6.9	7.24	7.74	6.98	7.41	7.03
2	Total Dissolved Solids, TDS	mg/L	APHA 2540C	1000								364	366	409	372	402
<b>Anions</b>																
1	Chloride, Cl <sup>-</sup>	mg/L	APHA 4110B	-	1.5	2.5	2.6	2.1	2.2	1.9	3.4	3.0	2.2	4.5	2.5	2.9
2	Sulphate, SO <sub>4</sub>	mg/L	APHA 4110B	-	36	67	40.7	53	53	22	21	31	25	31	27	15
3	Sulphide, as H <sub>2</sub> S	mg/L	APHA 4500S-G	0.002	ND	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.001
<b>Nutrients</b>																
1	Nitrate, NO <sub>3</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	20	0.095	0.038	<0.005	0.118	0.118	0.042	0.033	0.021	0.026	0.079	0.013	0.028
2	Nitrite, NO <sub>2</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	0.06	ND	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
<b>Dissolved Metals</b>																
1	Arsenic, As	mg/L	APHA 3114C	1	ND	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
2	Cadmium, Cd	mg/L	APHA 3111B	0.01	0.0002	<0.0001	0.0006	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.005	<0.0001	<0.005	<0.005	<0.005
3	Copper, Cu	mg/L	APHA 3111B	0.02	ND	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01
4	Lead, Pb	mg/L	APHA 3113B	0.03	0.024	0.008	<0.001	0.003	0.003	0.016	0.006	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.004
5	Mercury, Hg	mg/L	USEPA 245.7	0.002	0.00010	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005
6	Sodium, Na	mg/L	APHA 3111B	-	7.79	11.20	8.19	7.36	7.32	9.79	8.81	8.27	8.37	10.3	7.61	5.86
7	Zinc, Zn	mg/L	APHA 3111B	0.05	0.01	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.005	0.007	<0.005	<0.005

**Borehole Name: New BH-3**

Laboratory Sample I.D :					EV130883-18	EV131006-02
Customer Sample I.D :					BH 3	BH 3
Date Sampled :					29-Aug-13	02-Oct-13
Sample Matrix :					Ground Water	Ground Water
No.	Test Description	Unit	Methods	Regulatory Limit	Results	
<b>Water Level Information</b>						
1	Well depth	Meter	-	-	N.A	13.2
2	Initial (Before Purging)	Meter	-	-	N.A	2.90
3	Initial (Before Sampling)	Meter	-	-	N.A	2.94
<b>Physical Tests</b>						
1	pH <sup>1)</sup>	-	APHA 4500HB	6.0 - 9.0	6.85	6.45
2	Total Dissolved Solids, TDS	mg/L	APHA 2540C	1000	448	496
<b>Anions</b>						
1	Chloride, Cl <sup>-</sup>	mg/L	APHA 4110B	-	4.6	4.8
2	Sulphate, SO <sub>4</sub>	mg/L	APHA 4110B	-	53	44
3	Sulphide, as H <sub>2</sub> S	mg/L	APHA 4500S-G	0.002	<0.001	<0.001
<b>Nutrients</b>						
1	Nitrate, NO <sub>3</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	20	<0.005	<0.005
2	Nitrite, NO <sub>2</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	0.06	<0.001	<0.001
<b>Dissolved Metals</b>						
1	Arsenic, As	mg/L	APHA 3114C	1	0.0019	0.0074
2	Cadmium, Cd	mg/L	APHA 3111B	0.01	<0.005	<0.005
3	Copper, Cu	mg/L	APHA 3111B	0.02	<0.01	<0.01
4	Lead, Pb	mg/L	APHA 3113B	0.03	<0.05	0.003
5	Mercury, Hg	mg/L	USEPA 245.7	0.002	<0.00005	<0.00005
6	Sodium, Na	mg/L	APHA 3111B	-	14.4	14.1
7	Zinc, Zn	mg/L	APHA 3111B	0.05	0.024	0.012

**Borehole Name: New BH-5**

Laboratory Sample I.D :					EV130883-19	EV131006-06
Customer Sample I.D :					BH 5	BH 5R
Date Sampled :					29-Aug-13	02-Oct-13
Sample Matrix :					Ground Water	Ground Water
No.	Test Description	Unit	Methods	Regulatory Limit	Results	Results
<b>Water Level Information</b>						
1	Well depth	Meter	-	-	N.A	15.6
2	Initial (Before Purging)	Meter	-	-	N.A	9.56
3	Initial (Before Sampling)	Meter	-	-	N.A	9.50
<b>Physical Tests</b>						
1	pH <sup>1)</sup>	-	APHA 4500HB	6.0 - 9.0	6.52	6.29
2	Total Dissolved Solids, TDS	mg/L	APHA 2540C	1000	680	578
<b>Anions</b>						
1	Chloride, Cl <sup>-</sup>	mg/L	APHA 4110B	-	14.1	11.5
2	Sulphate, SO <sub>4</sub>	mg/L	APHA 4110B	-	9	12
3	Sulphide, as H <sub>2</sub> S	mg/L	APHA 4500S-G	0.002	<0.001	<0.001
<b>Nutrients</b>						
1	Nitrate, NO <sub>3</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	20	<0.005	<0.005
2	Nitrite, NO <sub>2</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	0.06	<0.001	<0.001
<b>Dissolved Metals</b>						
1	Arsenic, As	mg/L	APHA 3114C	1	0.0050	0.0027
2	Cadmium, Cd	mg/L	APHA 3111B	0.01	<0.005	<0.005
3	Copper, Cu	mg/L	APHA 3111B	0.02	0.01	<0.01
4	Lead, Pb	mg/L	APHA 3113B	0.03	<0.05	0.004
5	Mercury, Hg	mg/L	USEPA 245.7	0.002	<0.00005	<0.00005
6	Sodium, Na	mg/L	APHA 3111B	-	9.61	9.05
7	Zinc, Zn	mg/L	APHA 3111B	0.05	0.119	0.022

**Borehole Name: New BH-N2**

Laboratory Sample I.D :					EV130883-20	EV131006-01
Customer Sample I.D :					BHN 2	BH N2
Date Sampled :					29-Aug-13	02-Oct-13
Sample Matrix :					Ground Water	Ground Water
No.	Test Description	Unit	Methods	Regulatory Limit	Results	Results
<b>Water Level Information</b>						
1	Well depth	Meter	-	-	N.A	15.2
2	Initial (Before Purging)	Meter	-	-	N.A	2.30
3	Initial (Before Sampling)	Meter	-	-	N.A	2.22
<b>Physical Tests</b>						
1	pH <sup>1)</sup>	-	APHA 4500HB	6.0 - 9.0	6.54	6.10
2	Total Dissolved Solids, TDS	mg/L	APHA 2540C	1000	354	368
<b>Anions</b>						
1	Chloride, Cl <sup>-</sup>	mg/L	APHA 4110B	-	2.0	3.5
2	Sulphate, SO <sub>4</sub>	mg/L	APHA 4110B	-	9	17
3	Sulphide, as H <sub>2</sub> S	mg/L	APHA 4500S-G	0.002	<0.001	<0.001
<b>Nutrients</b>						
1	Nitrate, NO <sub>3</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	20	<0.005	<0.005
2	Nitrite, NO <sub>2</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	0.06	<0.001	<0.001
<b>Dissolved Metals</b>						
1	Arsenic, As	mg/L	APHA 3114C	1	0.0017	0.0022
2	Cadmium, Cd	mg/L	APHA 3111B	0.01	<0.005	<0.005
3	Copper, Cu	mg/L	APHA 3111B	0.02	<0.01	<0.01
4	Lead, Pb	mg/L	APHA 3113B	0.03	<0.05	0.007
5	Mercury, Hg	mg/L	USEPA 245.7	0.002	<0.00005	<0.00005
6	Sodium, Na	mg/L	APHA 3111B	-	47.3	50.5
7	Zinc, Zn	mg/L	APHA 3111B	0.05	0.233	0.023

**Borehole Name: New BH-N8R**

Laboratory Sample I.D :					EV130883-21	EV131006-05
Customer Sample I.D :					BHNN 8 R	BH N8R
Date Sampled :					29-Aug-13	02-Oct-13
Sample Matrix :					Ground Water	Ground Water
No.	Test Description	Unit	Methods	Regulatory Limit	Results	Results
<b>Water Level Information</b>						
1	Well depth	Meter	-	-	N.A	16.8
2	Initial (Before Purging)	Meter	-	-	N.A	4.86
3	Initial (Before Sampling)	Meter	-	-	N.A	4.86
<b>Physical Tests</b>						
1	pH <sup>1)</sup>	-	APHA 4500HB	6.0 - 9.0	7.25	6.91
2	Total Dissolved Solids, TDS	mg/L	APHA 2540C	1000	308	324
<b>Anions</b>						
1	Chloride, Cl <sup>-</sup>	mg/L	APHA 4110B	-	2.3	2.3
2	Sulphate, SO <sub>4</sub>	mg/L	APHA 4110B	-	23	18
3	Sulphide, as H <sub>2</sub> S	mg/L	APHA 4500S-G	0.002	<0.001	<0.001
<b>Nutrients</b>						
1	Nitrate, NO <sub>3</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	20	<0.005	<0.005
2	Nitrite, NO <sub>2</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	0.06	<0.001	0.029
<b>Dissolved Metals</b>						
1	Arsenic, As	mg/L	APHA 3114C	1	0.0008	0.0007
2	Cadmium, Cd	mg/L	APHA 3111B	0.01	<0.005	<0.005
3	Copper, Cu	mg/L	APHA 3111B	0.02	<0.01	<0.01
4	Lead, Pb	mg/L	APHA 3113B	0.03	<0.05	0.003
5	Mercury, Hg	mg/L	USEPA 245.7	0.002	<0.00005	<0.00005
6	Sodium, Na	mg/L	APHA 3111B	-	33.9	34.9
7	Zinc, Zn	mg/L	APHA 3111B	0.05	0.009	0.008

**Borehole Name: New BH-1**

Laboratory Sample I.D :					EV131006-03
Customer Sample I.D :					BH 1
Date Sampled :					02-Oct-13
Sample Matrix :					Ground Water
No.	Test Description	Unit	Methods	Regulatory Limit	Results
<b>Water Level Information</b>					
1	Well depth	Meter	-	-	12.3
2	Initial (Before Purging)	Meter	-	-	10.8
3	Initial (Before Sampling)	Meter	-	-	10.8
<b>Physical Tests</b>					
1	pH <sup>1)</sup>	-	APHA 4500HB	6.0 - 9.0	6.73
2	Total Dissolved Solids, TDS	mg/L	APHA 2540C	1000	592
<b>Anions</b>					
1	Chloride, Cl <sup>-</sup>	mg/L	APHA 4110B	-	3.9
2	Sulphate, SO <sub>4</sub>	mg/L	APHA 4110B	-	194
3	Sulphide, as H <sub>2</sub> S	mg/L	APHA 4500S-G	0.002	<0.001
<b>Nutrients</b>					
1	Nitrate, NO <sub>3</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	20	<0.005
2	Nitrite, NO <sub>2</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	0.06	<0.001
<b>Dissolved Metals</b>					
1	Arsenic, As	mg/L	APHA 3114C	1	<0.0005
2	Cadmium, Cd	mg/L	APHA 3111B	0.01	<0.005
3	Copper, Cu	mg/L	APHA 3111B	0.02	<0.01
4	Lead, Pb	mg/L	APHA 3113B	0.03	0.003
5	Mercury, Hg	mg/L	USEPA 245.7	0.002	<0.00005
6	Sodium, Na	mg/L	APHA 3111B	-	8.75
7	Zinc, Zn	mg/L	APHA 3111B	0.05	0.011

**Borehole Name: New BH-N6R**

Laboratory Sample I.D :					EV131006-04
Customer Sample I.D :					BH N6R
Date Sampled :					02-Oct-13
Sample Matrix :					Ground Water
No.	Test Description	Unit	Methods	Regulatory Limit	Results
<b>Water Level Information</b>					
1	Well depth	Meter	-	-	13.8
2	Initial (Before Purging)	Meter	-	-	11.6
3	Initial (Before Sampling)	Meter	-	-	11.5
<b>Physical Tests</b>					
1	pH <sup>1)</sup>	-	APHA 4500HB	6.0 - 9.0	6.89
2	Total Dissolved Solids, TDS	mg/L	APHA 2540C	1000	730
<b>Anions</b>					
1	Chloride, Cl <sup>-</sup>	mg/L	APHA 4110B	-	6.8
2	Sulphate, SO <sub>4</sub>	mg/L	APHA 4110B	-	126
3	Sulphide, as H <sub>2</sub> S	mg/L	APHA 4500S-G	0.002	<0.001
<b>Nutrients</b>					
1	Nitrate, NO <sub>3</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	20	<0.005
2	Nitrite, NO <sub>2</sub> -N	mg/L	APHA 4110B	0.06	<0.001
<b>Dissolved Metals</b>					
1	Arsenic, As	mg/L	APHA 3114C	1	<0.0005
2	Cadmium, Cd	mg/L	APHA 3111B	0.01	<0.005
3	Copper, Cu	mg/L	APHA 3111B	0.02	<0.01
4	Lead, Pb	mg/L	APHA 3113B	0.03	0.009
5	Mercury, Hg	mg/L	USEPA 245.7	0.002	<0.00005
6	Sodium, Na	mg/L	APHA 3111B	-	8.20
7	Zinc, Zn	mg/L	APHA 3111B	0.05	0.015

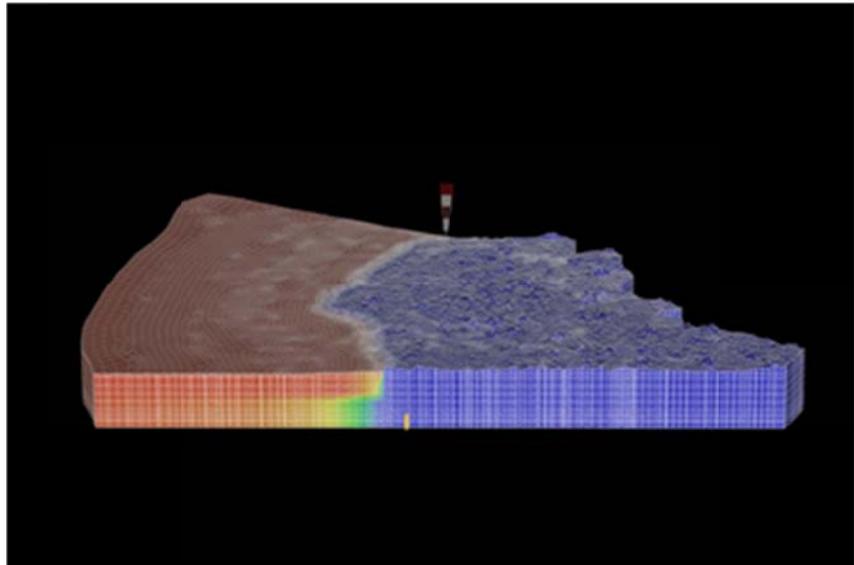
16 April 2014

**PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH  
STUDI AIR TANAH**

**Contract No. 4420000665**

**PEMODELAN AIR TANAH**

**Submitted to:**  
BP Berau Ltd



**LAPORAN**

**No Laporan:** 138716004-015-R-Rev4

## Ringkasan Eksekutif

Dokumen ini menguraikan hasil pemodelan air tanah yang merupakan salah satu komponen dalam lingkup studi AMDAL untuk rencana pengembangan Proyek Tangguh LNG di Kabupaten Teluk Bintuni Provinsi Papua Barat. Golder Associates melakukan pemodelan numerik dari sistem air tanah di daerah Tangguh LNG untuk mengkaji potensi opsi pemanfaatan air tanah untuk memenuhi kebutuhan air Tangguh LNG, dan potensi dampak dari rencana pemanfaatan air tanah tersebut terhadap air tanah pada akuifer yang digunakan oleh masyarakat setempat untuk memenuhi kebutuhan air di kampung mereka, serta potensi dampak salinitas air tanah sebagai konsekuensi dari kemungkinan intrusi air laut dari perairan Teluk Bintuni pada daerah yang berdekatan dengan batas utara properti Tangguh LNG. Hasil pemodelan air tanah juga digunakan sebagai dasar untuk perhitungan potensi amblesan pada wilayah Tangguh LNG yang akan disajikan pada laporan yang terpisah.

Lingkup pekerjaan untuk pemodelan air tanah ini meliputi kajian terhadap data-data yang relevan, memperbaharui pemodelan hidrogeologi konseptual yang telah dilakukan sebelumnya dan pembuatan pemodelan air tanah numerik untuk wilayah Tangguh LNG.

Kebutuhan air selama 4 tahun tahap konstruksi fasilitas yang termasuk dalam lingkup pengembangan tahap awal Tangguh LNG, termasuk pembangunan Kilang LNG 3 dan 4 beserta fasilitas pendukungnya diperkirakan akan mencapai puncaknya sebanyak 95 L/detik selama sekitar 100 hari. Kebutuhan air dalam jumlah besar ini adalah untuk memenuhi kebutuhan air untuk hidrotest. Perkiraan kebutuhan air untuk tahap konstruksi rata-rata adalah 32 L/detik, sementara untuk tahap operasi (25 tahun) adalah kurang lebih 50 L/detik untuk operasi 4 kilang LNG. Dengan demikian, pemodelan kebutuhan air fasilitas LNG dilakukan dimulai dari tahap konstruksi sampai akhir tahap operasi (29 tahun).

## Executive Summary

*This document presents the groundwater modelling report for the Groundwater Study component conducted as part of the AMDAL study for the proposed expansion of the Tangguh LNG facility in Bintuni Bay Regency, West Papua. Golder Associates has undertaken numerical modelling of the groundwater system in the area in order to assess the potential for groundwater supply development, and the potential for adverse effects, both on groundwater levels in an overlying aquifer used locally for village water supply and on salinity of the groundwater as a consequence of potential saline intrusion from the nearby Bintuni Bay adjoining the northern boundary of the Tangguh LNG property. The groundwater model was also used to provide input to the assessment of potential subsidence due to drawdown in the aquifers at the LNG facility (which is the subject of a separate report)*

*The scope of work comprised the review of relevant data, updating the previous conceptual hydrogeological model and the development of a numerical groundwater model for the Tangguh area.*

*Water demand during the four year construction period for the initial development phase including the development of the new LNG Trains 3 and 4, and supporting facilities is expected to peak at 95 L/s for about 100 days (during construction) for the purpose of hydrotesting. Average demand during construction is 32 L/s, whilst a sustained water demand of 50 L/s is required for the operating life of the facility (25 years) with for four LNG trains. Modelling of the LNG facility water demand was therefore carried out for a total period of 29 years.*

---

## TANGGUH EXPANSION PROJECT GROUNDWATER STUDY GROUNDWATER SUPPLY MODELLING

---

Studi sebelumnya menunjukkan adanya suatu sistem sedimen berlapis-lapis yang luas di Formasi *Steenkool* di Cekungan Bintuni. Formasi *Steenkool* memiliki ketebalan sampai dengan 2000 m pada wilayah Tangguh LNG, dengan akuifer yang didominasi pasir dibatasi oleh akuitar yang di dominasi oleh lempung. Terdapat bukti langsung adanya air tanah yang diperoleh dari akuifer bagian atas, yang telah dimanfaatkan oleh masyarakat untuk memenuhi kebutuhan air mereka di Kampung Tanah Merah Baru dan Saengga.

Pemodelan Hidrogeologi Konseptual mengindikasikan sedimen Formasi *Steenkool* terlipat lemah dengan singkapan batu pasir terdapat disebelah selatan dan barat daya lokasi Tangguh LNG. Korelasi telah dibuat untuk akuifer-akuifer di Formasi *Steenkool* bagian atas sampai dengan kedalaman 150 m yang meluas ke arah timur, mulai dari sumur masyarakat di Saengga dan Tanah Merah Baru hingga ke sumur uji SHD-1 di lokasi Tangguh LNG. Indikasi kemiringan lapisan, secara rata-rata, adalah kurang dari  $1^\circ$  yang mana cocok dengan hasil interpolasi dari penampang seismik.

Potensi dampak terbesar terhadap penurunan muka air tanah di sumur masyarakat dan terhadap amblesan diluar lokasi Tangguh LNG terjadi jika akuifer-akuifer ini terhubung dan tidak terdapat patahan yang bertindak sebagai penghalang terhadap aliran air tanah. Oleh karenanya pemodelan numerik menggunakan asumsi bahwa akuifer-akuifer Formasi *Steenkool* tidak bergeser karena patahan.

Kontur penurunan muka air tanah dan amblesan dihasilkan dari pemodelan numerik, oleh karena itu secara konservatif hasilnya tinggi dalam hal dampak potensial terhadap sumur masyarakat. Jika penghalang patahan teridentifikasi di masa yang mendatang dari pengambilan secara menerus dan dari pemantauan air tanah, diperkirakan penurunan muka air tanah di lokasi Tangguh LNG lebih tinggi dari yang perkiraan saat ini dan penurunan di sumur masyarakat lebih kecil. Jika teridentifikasi, patahan ini akan dimasukkan kedalam pemodelan numerik yang akan diperbaharui setelah selesainya periode konstruksi empat tahun nanti ketika data-data yang lebih komprehensif tentang pemantauan penurunan muka air tanah, amblesan dan salinitas sudah tersedia.

*Previous studies indicate an extensive, layered sedimentary system in the Steenkool Formation of the Bintuni Basin. The formation extends to depths of up to 2000 m beneath the Tangguh LNG facility, with sand dominated aquifers confined by clay dominated aquitards. There is direct evidence of fresh groundwater in the upper parts of the aquifer, which have been sourced locally for small water supplies by the indigenous people of the Tanah Merah Baru and Saengga villages.*

*The Conceptual Hydrogeological Model indicates gently folded Steenkool sediments with outcrop areas of sandstone to the south and southwest of the LNG site. A correlation of aquifer and aquitard units has been established for the Upper Steenkool aquifers down to 150 m depth extending eastwards from the community wells at Saengga and Tanah Merah Baru across to the SHD-1 exploratory well at the LNG site. The dip of the sediments is indicated to be, on average, less than  $1^\circ$  which matches the dips extrapolated from the seismic profiles.*

*The greatest potential impact to drawdown in the community wells and to ground subsidence outside the LNG site occurs if these aquifers are hydrogeological connected and there are no faults acting as barriers to groundwater flow. The numerical model has therefore assumed that the Steenkool Formation aquifers are not displaced by faulting to the extent that groundwater flow is impeded.*

*Drawdown and subsidence contours generated by the numerical model are therefore conservatively high in terms of potential impacts to community wells. Should fault barriers be identified in the future based on sustained groundwater abstraction and monitoring it is likely that drawdowns on the Tangguh LNG site will increase more than currently predicted and those at the community wells will be less. If identified, these faults will be incorporated into an updated numerical model at completion of the four-year construction period when a comprehensive set of drawdown, subsidence and salinity monitoring data is available.*

---

## TANGGUH EXPANSION PROJECT GROUNDWATER STUDY GROUNDWATER SUPPLY MODELLING

---

Pemodelan 3-Dimensi aliran air tanah telah dilakukan dan dikalibrasi dengan mengamati elevasi air tanah pada sumur-sumur masyarakat dan pada Formasi *Steenkool* bagian atas. Daerah lingkup pemodelan diperluas secara vertikal hingga kedalaman 600 m, melebihi kedalaman akuifer yang ditargetkan (kurang dari 400 m). Daerah lingkup pemodelan secara horizontal adalah kira-kira 55 km ke arah timur-barat dan 29 km ke arah utara-selatan di sekitar Tangguh, yang merupakan bagian dari Cekungan Bintuni yang merupakan formasi sedimen yang pada dasarnya datar.

Pemodelan yang telah dikalibrasi mencakup kemampuan untuk mensimulasi pergerakan cairan dari batas air laut dan air tawar yang berada sekitar 2 km di utara dari garis pantai dan batas utara fasilitas Tangguh LNG.

Hasil pemodelan air tanah secara umum menunjukkan bahwa kebutuhan air Tangguh LNG dapat dipenuhi dari akuifer yang terdapat pada Formasi *Steenkool* bagian bawah yang terdapat di daerah di bawah properti Tangguh LNG (kedalaman antara sekitar 150 m sampai 400 m), berdasarkan parameter-parameter yang diasumsikan dari akuifer yang sama dan dianggap mewakili sistem akuifer yang berlapis-lapis di lokasi Tangguh LNG.

Penurunan muka air tanah pada akuifer Formasi *Steenkool* bagian bawah menunjukkan bahwa dengan laju pemompaan dan jangka waktu yang direncanakan untuk opsi pemanfaatan air tanah untuk memenuhi kebutuhan air Tangguh LNG dapat menyebabkan penurunan muka air tanah sekitar 15 m pada daerah yang berdekatan langsung dengan lokasi rencana sumur produksi air tanah PW-1 dan PW-2, dan antara sekitar 13 m sampai 14 m pada lokasi rencana untuk sumur produksi air tanah PW-3 dan PW-4.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa 90% dari penurunan muka air tanah terjadi pada empat tahun tahap konstruksi (14 m pada PW-2). Pada PW-2, penurunan muka air tanah sebesar 1,2 m terjadi pada akhir 25 tahun tahap operasi (15,2 m). Pemodelan juga menunjukkan peak penurunan muka air tanah jangka pendek pada PW-2 pada tahap konstruksi yang terjadi jika air tanah digunakan sebagai sumber air untuk hidrotest.

*A three-dimensional groundwater flow model has been developed and calibrated with observed groundwater levels in the locally developed shallow alluvial aquifers and the upper part of the Steenkool Formation. The model domain extended to a depth of 600 m, beyond the target aquifers at less than 400 m. Laterally, the model extends some 55 km east-west by 29 km north-south around Tangguh, within a part of the Bintuni Basin with essentially flat-dipping sediments.*

*The calibrated model included the ability to simulate solute transport from a fresh water-salt water interface that was nominally located 2 km to the north of the coastline and northern boundary of the Tangguh LNG facility.*

*The results of the groundwater modelling indicate that Tangguh LNG's nominal water requirement would be available from the targeted aquifers in the Lower Steenkool Formation underlying the Tangguh LNG property based on parameters assumed from similar aquifers and judged appropriate for the layered system of aquifers at Tangguh.*

*Drawdowns within the Lower Steenkool Formation aquifers indicate that the proposed pumping rates and durations will cause drawdown of about 15 m immediately near the planned locations of production wells PW-1 and PW-2, and between about 13 m and 14 m at the planned locations for PW-3 and PW-4.*

*The modelling indicates that 90% of drawdown occurs during the four year construction period (14 m at PW-2). At PW-2 a further 1.2 m of drawdown is indicated by the end of the 25 year operations (to 15.2 m). The modelling also indicates a short term peak drawdown to 22 m at PW-2 during construction should groundwater be used as the water source for hydrotesting.*

---

## TANGGUH EXPANSION PROJECT GROUNDWATER STUDY GROUNDWATER SUPPLY MODELLING

---

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa total penurunan muka air pada Formasi *Steenkool* bagian atas di dalam daerah properti Tangguh LNG dekat lokasi rencana sumur pemantauan yang berada pada jarak 150 m dari sumur PW-3 adalah 0,165 m, dimana sekitar 0,050 m dari nilai tersebut kemungkinan disebabkan oleh rencana pengambilan air tanah di Tangguh LNG dari akuifer Formasi *Steenkool* bagian bawah.

Penurunan muka tanah terbesar yang terjadi pada pagar batas properti Tangguh LNG sebelah utara PW-3 dekat Tanah Merah Baru sangat terkait dengan pengambilan air tanah oleh masyarakat. Perkiraan penurunan muka air tanah adalah 0,29 m di mana 0,050 m berasal dari pengambilan air tanah oleh Tangguh LNG.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa kemungkinan penurunan muka air tanah total sekitar 0,57 m (di kampung Tanah Merah Baru) sampai dengan 0,6 m (di Kampung Saengga) kemungkinan terjadi pada sumur air tanah masyarakat yang berasal dari akuifer Formasi *Steenkool* bagian atas. Sekitar 0,52 m dari total penurunan muka air tanah total tersebut disebabkan oleh pemanfaatan air oleh masyarakat di Kampung Tanah Merah Baru dan selebihnya sekitar 0,050 m diperkirakan terkait dengan rencana pengambilan air untuk memenuhi kebutuhan air Tangguh LNG.

Pada lokasi sumur masyarakat di Tanah Merah Baru dan titik pengamatan di perbatasan pagar dekat sumur PW-3, penurunan muka air tanah dalam Formasi *Steenkool* bagian atas yang disebabkan oleh rencana pemanfaatan air tanah Tangguh LNG diperkirakan dengan membandingkan antara:

1. perkiraan penurunan muka air tanah total yang diakibatkan pemanfaatan air oleh masyarakat setempat saja, dengan
2. perkiraan penurunan muka air tanah yang diakibatkan oleh gabungan pemanfaatan air oleh masyarakat setempat dan oleh Tangguh LNG dari akuifer Formasi *Steenkool* bagian bawah.

Penurunan muka air tanah di sumur di Tanah Merah Baru sudah mempertimbangkan penurunan muka air tanah karena pemanfaatan air di Saengga.

*Modelled drawdown in the Upper Steenkool Formation at the Tangguh LNG property boundary near the planned location for the 150 m deep monitoring well adjacent to PW-3 is 0.165 m, of which about 0.050m may be attributable to Tangguh LNG's planned abstraction from the Lower Steenkool Formation aquifers. The drawdown estimates from the model are assumed accurate to 0.005 m.*

*Greatest drawdown at the property boundary is indicated north of PW-3 near Tanah Merah Baru and is related mainly to community well abstraction. The estimated drawdown is 0.29 m of which about 0.05 m is related to Tangguh LNG abstraction.*

*Total drawdown between about 0.57 m (at Tanah Merah Baru) and 0.6 m (at Saengga) may also be expected in the community groundwater wells screened in the Upper Steenkool Formation aquifers. Approximately 0.52 m drawdown is from local pumping from the community supply well at Tanah Merah Baru, and about 0.050 m related to planned abstraction from the within the Tangguh LNG property.*

*At both locations (i.e. at the community supply well at Tanah Merah Baru and the monitoring point on the property boundary near PW-3) the enhanced drawdown in the Upper Steenkool Formation brought about by Tangguh LNG's planned pumping was estimated by comparing:*

1. *total predicted drawdown in these aquifers due to community abstraction only, with*
2. *drawdown caused by both local groundwater abstractions coupled with Tangguh LNG's planned pumping from the Lower Steenkool Formation aquifers.*

*As such the drawdown in the community well at Tanah Merah Baru includes drawdown caused by pumping at Saengga.*

---

## TANGGUH EXPANSION PROJECT GROUNDWATER STUDY GROUNDWATER SUPPLY MODELLING

---

Berdasarkan perkiraan mengenai posisi batas air laut dan air tawar dalam akuifer tertekan, parameter-parameter akuifer dan karakteristik akuitar, hasil pemodelan menunjukkan prediksi bahwa pertemuan air laut di bawah Teluk Bintuni akan bergerak sekitar 150 m menuju wilayah Tangguh LNG pada akuifer-akuifer tertekan di kedalaman antara 150 dan 400 m setelah 29 tahun pemanfaatan air tanah, dan hampir tidak ada rembesan air laut dari Teluk Bintuni menuju akuifer-akuifer tertekan di bawahnya. Hasil pemodelan ini menunjukkan bahwa dampak salinitas adalah kecil sekali terhadap air tanah pada rencana sumur-sumur produksi air tanah Tangguh LNG.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa perubahan salinitas pada Formasi *Steenkool* bagian bawah di PW-2 (rencana lokasi sumur produksi air tanah yang paling dekat dengan Teluk Bintuni) akibat rencana pengambilan air tanah untuk memenuhi kebutuhan air Tangguh LNG adalah kurang dari 10 mg/L. Dengan demikian PW-2 adalah satu-satunya sumur (aktual dan pemodelan) di mana hasil pemodelan menunjukkan ada indikasi terjadi kenaikan salinitas setelah pengambilan air tanah selama 29 tahun.

*Based on estimates of the position of the fresh water / salt water interface in the confined aquifers, the aquifer parameters and the properties of the aquitards, the model predicts that the seawater interface beneath Bintuni Bay will migrate about 150 m towards the LNG site within the confined target aquifers between 150 and 400 m depth after 29 years of planned pumping, and with virtually no downward leakage of sea water from Bintuni Bay towards the underlying confined aquifers. These outcomes therefore suggest only marginal impact on salinities in the proposed production wells.*

*The predicted change in salinity in the Lower Steenkool Formation at PW-2 (i.e. the closest modelled provisional and modelled well to Bintuni Bay) due to Tangguh LNG's planned pumping is less than 10 mg/L; this is the only well (actual or modelled) where an increase in salinity was observed after 29 years of pumping.*

## Daftar Isi

<b>1.0</b>	<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>2.0</b>	<b>LATAR BELAKANG</b> .....	<b>1</b>
<b>3.0</b>	<b>TUJUAN PEMODELAN AIR TANAH</b> .....	<b>1</b>
<b>4.0</b>	<b>SUMBER DAN KEKOSONGAN DATA</b> .....	<b>2</b>
<b>5.0</b>	<b>KAJIAN DAN PELENGKAPAN MODEL KONSEPTUAL HIDROGEOLOGI</b> .....	<b>2</b>
5.1	Referensi Kedalaman .....	2
5.2	Topografi dan Drainase .....	2
5.3	Iklim.....	3
5.4	Geologi dan Pemakaian Air tanah.....	3
5.5	Tata Hidrogeologi Regional .....	5
5.6	Tata Hidrogeologi lokal .....	5
5.6.1	Hidrostratigrafi .....	5
5.6.2	Sifat Hidrolik .....	6
5.6.3	Imbuan Air tanah.....	7
5.6.4	Luahan Air tanah.....	7
5.6.5	Tinggi Muka Air tanah dan Dinamika Aliran .....	8
5.6.6	Kualitas Air tanah .....	8
<b>6.0</b>	<b>PENGEMBANGAN MODEL NUMERIK</b> .....	<b>9</b>
6.1	Model Numerik Sebelumnya dan Seleksi Kode Numerik .....	9
6.2	Desain Model Numerik .....	9
6.2.1	Model Domain dan Batas Eksternal .....	9
6.2.2	Tata Ruang dan Vertikal diskritisasi .....	10
6.2.3	Kondisi Batas .....	11
6.2.4	Arus Masuk dan Keluar.....	11
6.2.4.1	Debit Imbuan Curah Hujan.....	11
6.2.4.2	Luahan Alami Air tanah .....	11
6.2.4.3	Debit Luahan Sumur.....	11
6.2.5	Batasan Model .....	13
6.2.5.1	Sifat Hidrolik.....	13
6.3	Kalibrasi Model .....	13

---

## TANGGUH EXPANSION PROJECT GROUNDWATER STUDY GROUNDWATER SUPPLY MODELLING

---

6.3.1	Kalibrasi Steady-State Awal .....	13
6.3.2	Kalibrasi Transient State .....	13
6.3.2.1	Pengaturan Model Transient and Metodologi Kalibrasi .....	13
<b>7.0</b>	<b>SIMULASI HASIL PREDIKSI .....</b>	<b>14</b>
7.1	Prediksi Penurunan Muka Air .....	14
7.2	Prediksi Intrusi Air laut .....	16

### TABEL

Tabel 1: Curah hujan dan evapotranspirasi rata-rata bulanan dan tahunan

Tabel 2: Diskretisasi Lapisan Vertikal dan Sifat-Sifat Hidrolik

Tabel 3: Imbuhan dari Curah Hujan

Tabel 4: Detail Sumur Pemompaan

### FIGURES

Figure 1: Lokasi Fasilitas Tangguh LNG

Figure 2: Penataan Hidrogeologi Regional dan Domain Model

Figure 3: Geologi Regional Skala 1:250.000

Figure 4: Domain Model Air Tanah

Figure 5: Diskretisasi *Mesh* Model Numerik Air Tanah

Figure 6: Diskretisasi Vertikal dari Akuifer alluvial dan Formasi *Steenkool* menunjukkan nilai konduktivitas hidrolika yang dimodelkan

Figure 7: Kondisi Batasan - Model Numerik Air tanah

Figure 8: Pemodelan Kebutuhan Air dan Laju Pemompaan

Figure 9: Pemodelan Muka Air Tanah untuk 29 Tahun pada Akuifer Formasi *Steenkool* Bagian Bawah Berdasarkan Laju Pemompaan yang Direncanakan

Figure 10: Perubahan Muka Air yang Diperkirakan di Bagian Atas Formasi *Steenkool* di PW-2 diakibatkan Pengambilan Air Tanah yang Direncanakan oleh Tangguh LNG dari Bagian Bawah Akuifer Formasi *Steenkool*

Figure 11: Pemodelan Muka Air Tanah untuk 29 Tahun pada Akuifer Formasi *Steenkool* Bagian Atas Berdasarkan Laju pada Akuifer Formasi *Steenkool* Bagian Bawah serta Pemompaan Sumur Masyarakat di Tanah Merah Baru dan Saengga

Figure 12: Perubahan Muka Air yang Diperkirakan di Bagian Atas Formasi *Steenkool* pada Sumur Masyarakat di Tanah Merah Baru

Figure 13: Perubahan Muka Air yang Diperkirakan di Bagian Atas Formasi *Steenkool* di Batas Properti Tangguh LNG dekat PW-3

Figure 14: Pemodelan Muka Air Tanah untuk 29 Tahun pada Akuifer Formasi *Steenkool* Bagian Atas berdasarkan Pemompaan Sumur Masyarakat di Tanah Merah Baru dan Saengga

Figure 15: Garis Konsentrasi yang Menggambarkan Perkiraan Konsentrasi Salinitas pada Akuifer Formasi *Steenkool* Bagian Atas setelah Pemompaan selama 29 Tahun di Sumur Masyarakat dan Rencana Sumur Air Tanah Tangguh LNG

Figure 16: Garis Konsentrasi yang Menggambarkan Perkiraan Konsentrasi Salinitas pada Akuifer Formasi *Steenkool* Bagian Bawah setelah Pemompaan selama 29 Tahun di Sumur Masyarakat dan Rencana Sumur Air Tanah Tangguh LNG

Figure 17: Potongan Melintang Salinitas di Fasilitas Tangguh LNG dan Teluk Bintuni setelah 29 Tahun Pemompaan

Figure 18: Perubahan Salinitas yang Diperkirakan (mg/L) pada Bagian Bawah Formasi *Steenkool* Formation di PW-2 diakibatkan Pemompaan yang Direncanakan dari Akuifer ini oleh Tangguh LNG

---

# PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

---

## 1.0 PENDAHULUAN

Dokumen ini menyajikan laporan pemodelan air tanah untuk komponen Studi Air Tanah pengembangan fasilitas Tangguh LNG (Daerah Penelitian) BP Berau Ltd, yang terletak di Papua Barat, Indonesia.

Tangguh terletak di wilayah Kepala Burung Papua Barat, di Teluk Bintuni dan Teluk Berau, dengan infrastruktur lokal dan dukungan logistik yang minim. Pengembangan yang diusulkan akan mencakup pembangunan dua Kilang LNG baru (yang akan menjadi Kilang LNG 3 dan 4 di fasilitas Tangguh LNG), fasilitas penerimaan di darat (*Onshore Receiving Facility* – ORF), sebuah dermaga pemuatan LNG 2 dan sebuah dermaga kargo (*Bulk Offloading Facility* – BOF) dan pengembangan anjungan lepas pantai ROA dan WDA, ditambah dengan pipa transmisi untuk mengirimkan gas ke Kilang LNG di darat. Perluasan yang diusulkan dari fasilitas LNG akan terdiri dari tahap konstruksi selama 4 tahun dan tahap operasional selama 25 tahun. Lokasinya ditampilkan pada **Gambar 1**.

## 2.0 LATAR BELAKANG

Sebagai bagian dari pengembangan, Tangguh LNG mengusulkan untuk menggunakan air tanah untuk mengganti atau melengkapi sistem desalinasi yang ada dan telah memulai penyelidikan atas potensi sumber yang berkelanjutan dari akuifer dalam pada kedalaman 150 m di bawah daerah penelitian. Kebutuhan air hingga puncak operasional Kilang LNG untuk semua yang ada dan yang diusulkan saat ini di fasilitas Tangguh LNG selama operasi diperkirakan sekitar 4.100 m<sup>3</sup>/hari (50 L/s), dengan puncak kebutuhan selama konstruksi adalah 8.500 m<sup>3</sup>/hari (95 L / s) untuk sekitar 100 hari.

Penggunaan air tanah tidak diizinkan dalam Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) sebelumnya yang disetujui pada tahun 2002. Namun rencana penggunaan air tanah telah dimasukkan dalam AMDAL yang diajukan untuk Proyek Pengembangan Tangguh LNG.

Tujuan dari laporan ini adalah untuk membantu dalam menilai apakah air tanah cukup tersedia di Tangguh LNG dari akuifer di Formasi *Steenkool* bagian bawah untuk memenuhi (atau setidaknya untuk menambah pasokan air lainnya) kebutuhan air selama dan pasca-pembangunan Kilang LNG 3 dan 4. Air tanah Formasi *Steenkool* bagian atas di bawah fasilitas Tangguh LNG diperuntukkan untuk persediaan air minum untuk desa-desa sekitar.

## 3.0 TUJUAN PEMODELAN AIR TANAH

Tujuan teknis dari pemodelan air tanah adalah untuk:

- membuat penilaian ketersediaan pasokan air tanah untuk Fasilitas Tangguh LNG;
- memprediksi dampak potensial yang terkait dengan risiko intrusi air laut dan penurunan muka air di sumur air bersih masyarakat setempat karena penggunaan air tanah yang direncanakan di bawah Fasilitas Tangguh LNG; dan
- memberikan masukan kepada penilaian potensi amblasen di fasilitas (yang merupakan subyek dari laporan terpisah).

Penilaian dampak potensial yang terkait dengan rencana pengambilan air tanah dari akuifer yang dipilih di bawah properti Tangguh LNG mempertimbangkan tentang tata hidrogeologi, potensi pasokan air terbarukan (yaitu kemungkinan debit imbuhan) dari akuifer yang ditargetkan, dan mekanisme aliran air tanah di Fasilitas Tangguh LNG di bawah kendala pengelolaan lingkungan dan akuifer yang ada.

Ruang lingkup pekerjaan terdiri dari lima tahap, sebagai berikut:

1. Tahap 1 - Pengumpulan dan analisis informasi geologi dan hidrogeologi yang relevan;
2. Tahap 2 - Pengembangan/revisi model konseptual air tanah;
3. Tahap 3 - Pemilihan kode pemodelan numerik air tanah;
4. Tahap 4 - Pengembangan model numerik air tanah; dan
5. Tahap 5 - pemodelan prediktif, termasuk simulasi densitas aliran untuk intrusi air laut.

---

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

---

### 4.0 SUMBER DAN KEKOSONGAN DATA

Golder dilengkapi dengan berbagai laporan yang relevan untuk Fasilitas Tangguh LNG, termasuk laporan hidrogeologi dan geoteknik, laporan pengeboran dan instalasi sumur, dan kontur topografi. Laporan yang tersedia untuk pengembangan model air tanah ini tercantum dalam Daftar Pustaka dari laporan ini.

Data geologi dan hidrogeologi telah tersedia dari berbagai program pengeboran, terutama untuk eksplorasi air tanah dan hidrokarbon, yang terjadi di properti Tangguh LNG dan sekitarnya serta menyeluruh pada Cekungan Bintuni (**Gambar 2**). Data yang tersedia untuk pemodelan sangat terbatas berikut dengan pengecualian dari log geologi dan geofisika untuk *Slim hole* yang dibor di bagian barat laut dari properti, tetapi tidak mencapai ke Formasi *Steenkool* bagian bawah yang menjadi akuifer target untuk pasokan air. Program pengeboran air tanah yang diusulkan, yaitu pengambilan sampel kualitas air tanah dan pengujian akuifer target tidak dapat dilakukan sebelum pengembangan model air tanah yang dibutuhkan untuk mendukung persiapan AMDAL. Dengan demikian, pada saat pemodelan, tidak ada informasi spesifik atau data yang tersedia mengenai sifat hidrolis, tinggi permukaan hidrolis atau kualitas air tanah dari satuan hidrostratigrafi di Formasi *Steenkool* bagian bawah (yaitu akuifer yang ditargetkan untuk digunakan oleh Tangguh LNG).

Data tinggi muka air tanah dan kualitas air tanah pada daerah penelitian terkumpul dari laporan yang tersedia meskipun informasi ini sangat terbatas. Tinggi muka air tanah yang tersedia adalah untuk akuifer bagian atas dari yang akan ditargetkan disekitar fasilitas Tangguh LNG namun tidak ada data tinggi air tanah regional yang tersedia.

Tinggi air lokal dan regional (yaitu laut, sungai, anak sungai, lahan basah dll) diidentifikasi dan digambarkan dari foto udara dan peta topografi skala 1:250.000.

### 5.0 KAJIAN DAN PELENGKAPAN MODEL KONSEPTUAL HIDROGEOLOGI

Pada awalnya Golder mengkaji informasi yang tersedia dan melakukan interpretasi dari kondisi air tanah di Tangguh LNG. Kajian tersebut termasuk aspek iklim, topografi, geologi dan hidrogeologi dari Fasilitas Tangguh LNG dan sekitarnya, termasuk rincian mengenai abstraksi air tanah di sekitar Fasilitas Tangguh LNG saat ini. Dari kajian ini, model konseptual air tanah dibuat, yang mengarah ke model numerik dari daerah yang lebih besar pada sistem air tanah di sekitar Tangguh LNG.

#### 5.1 Referensi Kedalaman

Seluruh kedalaman yang digunakan dalam Memorandum Teknis ini mereferensi kepada muka tanah (yaitu: m bawah muka tanah – m bmt). Dapat dipahami bahwa, dahulu, akuifer-akuifer pada Formasi *Steenkool* bagian Atas di bawah Fasilitas LNG dan di bawah Desa Saengga atau Tanah Merah Baru memakai bawah muka tanah sebagai dasar pengukuran kedalaman, maka dari itu dokumen ini pun memakai sistem yang sama untuk konsistensi.

#### 5.2 Topografi dan Drainase

Tangguh terletak pada satuan fisiografi dataran rendah Bomberai. Satuan ini terdiri dari daerah perbukitan rendah (di mana *Steenkool* Formasi singkapan) dan daerah alluvial rendah di sepanjang jalur drainase, keduanya terhubung dengan Teluk Bintuni ke arah utara.

Fisiografi dari Tangguh dan sekitarnya ditandai dengan bukit-bukit rendah dengan ketinggian biasanya antara 20 dan 40 meter di atas permukaan laut (m dpl). Bukit-bukit yang dibatasi di utara, timur dan barat dengan dataran alluvial dan beberapa dipisahkan oleh lembah aluvial yang terhubung dengan sungai utama dan saluran air. Sungai yang utama adalah Sungai Manggosa sepanjang batas timur Fasilitas LNG dan sejumlah lembah aluvial dan perairan pasang surut sepanjang batas barat properti. Jalan air sepanjang batas barat properti membentuk anak sungai dan sub-tangkapan untuk Sungai Saengga dan biasanya tidak lebih dari beberapa meter di atas permukaan laut.

Drainase di Tangguh memiliki pola seperti teralis. Hal ini ditandai dengan aliran utama paralel yang biasanya memiliki anak sungai siku-siku, yang pada gilirannya masuk ke sungai sekunder yang memanjang sejajar dengan sungai utama. Pola drainase ini mencerminkan perubahan satuan geologi keras dan lembut dari Formasi *Steenkool* yang tersingkap sebagai per lapisan paralel.

---

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

---

Beberapa sungai, kali, anak sungai mengalirkan air dari banyak daerah tangkapan di sebelah barat, selatan dan timur Tangguh pada cakupan model air tanah. Yang paling menonjol dari sungai-sungai ini adalah Sungai Tegenarategen dan Sungai Aroba di sebelah timur dan tenggara dari fasilitas dan yang mengalir ke arah timur dan timurlaut menuju Teluk Bintuni, dan Sungai Ofaweri yang mengalir dari timur ke barat dan menuju ke Teluk Berau.

### 5.3 Iklim

Iklim di Indonesia hampir seluruhnya tropis. Tangguh termasuk beriklim tropis dengan sedikit variasi musim pada suhu dan frekuensi hujan.

Data hujan dan evaporasi dari Papua dan fasilitas Tangguh LNG disajikan pada **Tabel 1** (ENV, 2012).

**Table 1 Curah hujan dan evapotranspirasi rata-rata bulanan dan tahunan**

Bulan	Curah Hujan (mm)	Potensi Evapotranspirasi* (mm)
Januari	233	116
Februari	500	107
Maret	270	116
April	403	110
Mei	307	107
Juni	250	94
Juli	164	98
Agustus	110	104
September	80	110
Oktober	225	119
November	339	111
Desember	349	112
<i>Tahunan total</i>	<i>3231</i>	<i>1304</i>

Catatan: \* Sumber Bab 2 ANDAL untuk Proyek Pengembangan Tangguh

Curah hujan rata-rata bulanan sangat melebihi penguapan di semua bulan kecuali September, memberikan surplus untuk imbuhan air tanah

### 5.4 Geologi dan Pemakaian Air tanah

Tangguh dan cakupan pemodelan air tanah terdapat dalam Cekungan Bintuni, yang terdapat dalam basement depresi usia Tersier yang dalam, di wilayah 'Kepala Burung' Papua Barat. Geologi Cekungan Bintuni telah dijelaskan dalam penjelasan peta geologi yang menyertai lembar Fak Fak skala 1:250.000 (Gambar 3). Pada tebal 4000 m nya, urutan geologi didominasi oleh akumulasi sedimen Formasi *Steenkool* yang umumnya berlapis datar, kemiringan tipis, terlipat lembut, relatif muda dan dengan pemilahan bervariasi, terbagi menjadi satuan pasir dan lempung pada kedalaman yang dituju, tapi bertahap menjadi batupasir dan batulempung di kedalaman yang lebih jauh.

Batu gamping tua hadir di bawah Formasi *Steenkool*. Atau sebagian besar cekungan belum dikembangkan dan sedikit penelitian.

Endapan dangkal pasir, lanau, dan lumpur menutupi Formasi *Steenkool* di daerah dataran rendah. Di bawah fasilitas Tangguh LNG, Formasi *Steenkool* terdiri dari perlapisan batulempung dan batupasir dengan tebal sekitar 2000 m. Profil seismik di daerah penelitian dan Teluk Bintuni menunjukkan bahwa urutan sedimen umumnya berlapis datar (dengan kemiringan umumnya 0,5 ° atau kurang) hingga kedalaman sekitar 500 m. Kemiringan meningkat menjadi 2° atau 3° ke arah tenggara sebagaimana sedimen menebal.

---

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

---

Sebuah korelasi antara satuan akuifer dan akuitard telah terbentuk untuk akuifer *Steenkool* bagian Atas hingga kedalaman 150 m membentang ke arah timur dari sumur masyarakat di Saengga dan Tanah Merah Baru menuju ke sumur eksplorasi SHD-1 di lokasi LNG. Kemiringan sedimen diindikasikan, rata-rata, kurang dari 1° yang mana cocok dengan kemiringan yang ditunjukkan penampang seismik.

Berdasarkan lokasi dari dua struktur antiklin regional yang signifikan di timurlaut dan baratdaya dari fasilitas Tangguh LNG, ITB menyimpulkan bahwa sumbu sinklin regional yang signifikan mungkin terletak kira-kira di tengah-tengah antara dua anticlines, dalam hal ini di bawah Teluk Bintuni. ITB menunjukkan bahwa Formasi *Steenkool* di sekitar fasilitas Tangguh LNG terlipat dengan lembut dan bahwa fasilitas Tangguh LNG mungkin terletak di sayap sinklin yang miring lembut ke arah timurlaut; singkapan lapisan dominasi pasir Formasi *Steenkool* dianggap menggambarkan sumbu sinklin tersebut.

Gambar 3 dari Laporan Baynes Geologic (2006) menunjukkan bahwa beberapa sesar telah dipetakan atau diduga di fasilitas Tangguh LNG. Sebagian besar berada di bagian baratlaut dari properti dan berorientasi baratlaut-tenggara atau timurlaut-baratdaya, dan apakah sesar normal atau naik tidak diketahui, kebanyakan diduga oleh Baynes Geologic (2006) sebagai sesar mendatar.

Referensi dari lintasan seismik 104, 105 dan 108 yang melintasi wilayah darat dekat dengan lokasi sumur tes produksi yang diusulkan (PW-1) memberikan beberapa sesar di Formasi *Steenkool* yang dapat diamati pada kedalaman lebih dari 500 m. Namun, mengingat keterbatasan dari data seismik sekitar kedalaman 500 m, adalah tidak mungkin untuk memastikan apakah sesar yang ada di dasar Formasi *Steenkool* (pada kedalaman lebih dari 500 m) menerus ke permukaan di sekitar langsung dari Tangguh LNG fasilitas. Tim Eksplorasi Bawah Permukaan Tangguh LNG menunjukkan bahwa tidak ada sesar yang berada langsung di sekitar fasilitas LNG.

Lembar peta Geologi Fakfak skala 1:250.000 menunjukkan bahwa dua sesar terletak di sebelah selatan fasilitas Tangguh LNG. Yaitu:

- Sesar sepanjang 10 km berarah timur-barat sekitar 1 km sebelah selatan dari fasilitas, dan
- Sesar sepanjang 8 km berarah baratlaut-tenggara terletak sekitar 10 km sebelah selatan dari fasilitas.

Baynes Geologi (2006) menyatakan bahwa kedua sesar ini hanyalah pergeseran kecil, pergerakan sesar mendatar sinistral, Oleh karena itu, sesar tersebut tidak akan menjadi hambatan yang signifikan untuk aliran air tanah.

Setiap sesar yang melalui batulempung Formasi *Steenkool* cenderung bertindak sebagai hambatan untuk aliran air tanah daripada saluran. Jika ada sesar yang berperan sebagai saluran maka ini akan memungkinkan air tanah asin dari bagian bawah *Steenkool* untuk bermigrasi ke *Steenkool* bagian atas. Tidak ada bukti yang menunjukkan adanya migrasi air laut vertikal ke atas hingga kedalaman 300 m pada *Slim hole* atau lintasan geolistrik yang dilakukan oleh LAPI-ITB.

Lima subdivisi utama dari Formasi *Steenkool* pada kedalaman 300 m ke atas telah diamati pada sumur eksplorasi air tanah yang dibor di Properti Tangguh (yaitu TW-1, TW-2 dan *Slim hole*) dan yang dibor di desa Saengga dan Tanah Merah Baru. Yaitu:

- 1) Lapisan dominasi lempung yang berisi beberapa lapisan pasir yang tipis, meskipun menerus, dan diperkirakan memiliki ketebalan antara 10 sampai 60 m. Sumur-sumur dangkal masyarakat di Saengga dan Tanah Merah Baru memakai lapisan ini, yang umumnya tidak lebih dari beberapa meter, sumber air adalah pasir di lapisan ini;
- 2) Lapisan dominasi pasir bagian atas kira-kira setebal 60 sampai 90 m yang berisi beberapa lapisan lempung dan lanau tipis, dan secara menerus, lapisan ini membentuk sumber air tanah bagian atas dari sumur masyarakat di Desa Saengga dan Tanah Merah Baru dan bekas konstruksi dan barak survey Tangguh LNG di dekat dan di Tanah Merah;
- 3) Lapisan dominasi lempung (lagi-lagi mengandung beberapa lapisan pasir tipis dan menerus) yaitu dengan ketebalan berkisar antara 130 dan 250 m; Satuan ini tampaknya menipis ke timur;

---

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

---

- 4) Lapisan dominasi pasir bagian bawah (yang berisi beberapa lapisan tipis lempung dan lanau – yang tampaknya menerus), dengan tebal antara 30 dan 70 m. Lapisan ini tampaknya menipis ke timur dan merupakan serangkaian akuifer ditargetkan untuk abstraksi air tanah di fasilitas Tangguh LNG; dan
- 5) Lapisan dominasi lempung dengan ketebalan yang tidak diketahui.

Runutan aluvium, yang melapisi lantai lembah di seluruh daerah dan dengan litologi dan ketebalan yang beragam (hingga kedalaman maksimum 30 m) juga terletak di sekitar batas utara, timur, barat laut dan di sebagian selatan daerah penelitian.

### 5.5 Tata Hidrogeologi Regional

Formasi *Steenkool* yang mendasari Tangguh termasuk sistem akuifer berlapis dalam cekungan air tanah Kanoka-Babo, yang terletak di dalam Cekungan (geologi) Bintuni, ditampilkan pada **Gambar 2**. Formasi *Steenkool* didominasi oleh perlapisan batulempung dan batupasir yang membentuk runutan berlapis akuitard dan akuifer yang, berdasarkan investigasi sebelumnya, diharapkan menjadi sumber air tanah bersalinitas rendah hingga kedalaman setidaknya 300 m.

Cekungan air tanah Kanoka-Babo didefinisikan oleh serangkaian akuifer di bagian selatan Cekungan Bintuni. Ini dibatasi oleh Laut Banda di sebelah utara (Teluk Bintuni) dan selatan dengan tersingkapnya batuan dasar batugamping di sebelah timur dan barat. Cekungan air tanah mencakup area seluas sekitar 16.780 km<sup>2</sup> dan properti Tangguh menempati area seluas 3.200 ha (yaitu 32 km<sup>2</sup>) di ujung utara cekungan.

Di sedemikian banyak daerah yang ditampilkan pada **Gambar 2**, cekungan sedimen sebagian besar tak terlipat. Sekitar batas dari area yang dituju, sedimen dilipat dan perpatahkan dengan lemah, menyediakan batas topografi untuk area tujuan dan juga daerah di mana akuifer dalam tersingkap yang dapat menyebabkan imbuhan. Dengan demikian daerah yang dinilai akan dipengaruhi oleh pengambilan air tanah yang diusulkan ternyata dibatasi oleh zona struktural pengganggu di dalam Cekungan Bintuni yang jauh lebih besar, batas yang sebenarnya tidak begitu relevan untuk diteliti.

Sistem air tanah diisi oleh kelebihan curah hujan yang konsisten dari penguapan, dengan pergerakan air tanah yang meluas untuk meluahkan di pantai atau melampauinya.

Menurut peta cekungan air tanah pulau Papua lembar 11, rata-rata imbuhan tahunan dari akuifer bebas di cekungan air tanah Kanoka-Babo terestimasi sekitar 11.300 juta m<sup>3</sup>. Rata-rata imbuhan tahunan dari akuifer tertekan pada cekungan tersebut terestimasi sekitar 558 juta m<sup>3</sup>.

### 5.6 Tata Hidrogeologi lokal

#### 5.6.1 Hidrostratigrafi

Tiga akuifer (atau lebih tepatnya zona akuifer) telah diidentifikasi sampai kedalaman 300 m baik di bawah atau pun di daerah sekitar Fasilitas LNG. Zona akuifer ini memiliki ketebalan yang bervariasi dan, meskipun kemenerusan lateralnya tidak terbukti secara regional, diharapkan menerus di bawah fasilitas, seluruh cakupan model dan seterusnya. Akuifer dipisahkan oleh akuitard lempung dengan kemenerusan lateral yang sama dan dapat digambarkan sebagai:

- sejumlah akuifer bebas dan endapan diskontinu yang berhubungan dengan endapan pantai dan sungai Kuarter pada ketinggian biasanya kurang dari 10 m di seluruh wilayah
- sejumlah akuifer tertekan umumnya antara kedalaman 30 dan 150 m bmt yang disebut sebagai akuifer Formasi *Steenkool* bagian atas, dan
- sejumlah akuifer tertekan antara kedalaman 200 dan 300 m bgs yang disebut dalam Laporan ini sebagai akuifer Formasi *Steenkool* bagian bawah.

Pekerjaan Hidrostratigrafi dilakukan oleh ERM (2007) menunjukkan bahwa akuifer di 150 m bagian atas dari Formasi *Steenkool* mungkin menerus ke bawah sebagian besar bagian barat fasilitas Tangguh LNG dan desa Tanah Merah Baru dan Saengga. Penafsiran ini, yang didasarkan pada geologi dan penampang geofisika sumur serta informasi kualitas air

---

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

---

tanah dari sumur masyarakat di Tanah Merah Baru dan Saengga serta lubang bor eksplorasi air tanah TW1, TW2 dan *Slim hole* di fasilitas Tangguh LNG, dan juga menunjukkan:

- kemiringan sedimen di Formasi *Steenkool* bagian atas rata-rata kurang dari  $1^\circ$
- akuifer bagian atas dan bawah Formasi *Steenkool* dipisahkan oleh akuitard regional yang signifikan, dan
- lapisan dominasi pasir pada Formasi *Steenkool* bagian bawah menjadi lebih tebal dan lebih umum di bawah kedalaman sekitar 250 m.

Ada akuifer tertekan lebih di bawah 600 m di Formasi *Steenkool* tetapi ini adalah di luar lingkup studi ini dan dipisahkan dari target akuifer oleh akuitard lanjut. Akuifer yang lebih dalam ini tidak menjadi perhatian praktis untuk analisis numerik dan tidak perlu dipertimbangkan lebih lanjut dalam penelitian ini.

Zona akuifer dan akuifer individu dipisahkan oleh akuitard lempung yang signifikan secara regional dan memiliki tebal berkisar sekitar 10 sampai 200 m. Akuitard di bawah kedalaman 400 m, yaitu di bawah interval akuifer ditargetkan dalam program pengeboran yang akan datang, bisa memiliki ketebalan yang lebih besar.

Akuifer individual dalam zona akuifer yang lebih besar diharapkan umumnya heterogen dan anisotropik. Dalam kedua akuifer dan zona akuifer, permeabilitas horisontal diharapkan menjadi homogen atau mendekati (yaitu  $K_x \approx K_y$ ). Meskipun, permeabilitas vertikal ( $K_z$ ) diharapkan secara signifikan lebih kecil, mungkin setidaknya dengan satu tingkatan besarnya.

Tidak semua dari ketebalan yang jenuh air dari 'zona akuifer' adalah akuifer. Akuifer, dengan skala daerah penelitian dan pemodelan, dapat terdapat interval pasir terpapar luas yang terbentuk zona tipis dari bahan yang lebih permeabel biasanya antara 5 dan 20 m tebal. Akuifer lokal ini terdapat dalam apa yang dapat dianggap sebagai akuitard signifikan pada skala regional yang lebih besar.

Konduktivitas hidrolik akuitard tersebut belum teruji. Sejauh mana akuitard ini memungkinkan kebocoran vertikal (baik atas dan bawah) tidak diketahui akan tetapi itu akan menjadi pengendali penting dalam hal efek penurunan muka air akibat dari pengambilan air tanah yang diusulkan di Tangguh.

### 5.6.2 Sifat Hidrolik Akuifer

Pengujian hidrolik dilakukan pada lapisan berpasir dalam akuifer aluvial dan menggantung pada Formasi *Steenkool* kebanyakan adalah uji slug yang dilakukan oleh PT Hydrocore dan PT Taka Hydrocore selama pemantauan dan pembangunan berbagai fasilitas pembuangan sampah di daerah penelitian. Konduktivitas hidrolik maksimum yang dilaporkan adalah 3,3 m / hari sementara nilai minimum adalah  $4,2 \times 10^{-5}$  m / hari; dengan rata-rata adalah sekitar 0,8 m / hari. Tidak ada data yang sesuai untuk perhitungan *specific yield*.

Nilai tipikal dari buku untuk litologi endapan sedimen ini menunjukkan *specific yield* antara sekitar 0,02 (misalnya untuk lempung) dan 0,2 (pasir bersih berbutir sedang).

Perkiraan konduktivitas hidrolik dalam akuifer Formasi *Steenkool* bagian Atas (yaitu akuifer antara sekitar 30 dan 150 m bmt) dari uji pemompaan dalam unit ini menunjukkan lapisan akuifer lebih menjanjikan dengan memiliki permeabilitas horisontal antara sekitar 1 sampai 15 m/hari dan biasanya sekitar 4 m/hari. Nilai-nilai transmisivitas yang dikisarkan oleh PT ERM Indonesia (ERM) dari uji pemompaan bervariasi antara sekitar 15 dan 50  $m^2$ /hari. Perkiraan ERM *specific capacity* untuk sumur produksi bervariasi antara sekitar 7 dan 40  $m^3$ /hari per m penurunan muka air.

Meskipun perkiraan storativitas tidak memungkinkan dari uji pemompaan, ERM menyarankan bahwa storativitas Formasi akuifer Atas *Steenkool* dapat diperkirakan dengan mengalikan ketebalan akuifer dengan estimasi *specific storage* yang diturunkan dari kalibrasi model, yaitu  $3 \times 10^{-6}$ . Berdasarkan ini maka hubungan antar akuifer dalam satuan ini akan memiliki perkiraan storativitas antara sekitar  $5 \times 10^{-4}$  dan  $5 \times 10^{-3}$ .

---

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

---

Sifat hidrolik dari akuifer dari Formasi *Steenkool* bagian Bawah tidak diketahui. Untuk model ini, sifat hidrolik dari akuifer ini telah diasumsikan sama dengan akuifer Formasi *Steenkool* bagian Atas seperti yang diajukan oleh Penasihat Teknis Tangguh LNG.

### Akuitard

Perkiraan konduktivitas hidrolik dari empat sampel batulempung tak terganggu berasal dari Formasi *Steenkool* selama penyelidikan geoteknik untuk pembuangansampah diam dan organik baru menunjukkan bahwa akuitard mungkin memiliki permeabilitas antara  $2 \times 10^{-5}$  dan  $4 \times 10^{-4}$  m / hari.

Tidak ada informasi yang diketahui mengenai permeabilitas akuitard bawah kedalaman 15 m.

Perkiraan konduktivitas hidrolik horizontal (yaitu  $K_x$  dan  $K_y$ ) yang digunakan sebelumnya oleh ERM dalam pemodelan numerik sekitar 0,015 m / hari dengan perkiraan konduktivitas hidrolik vertikal ( $K_z$ ) sekitar 0,0015 m / hari. Perkiraan ERM untuk storativitas sekitar 0.005.

### 5.6.3 Imbuhan Air tanah

Umumnya imbuhan ke dalam akuifer endapan terjadi dengan infiltrasi curah hujan langsung pada keberadaan endapan ini. Secara lokal imbuhan juga terjadi dari aliran sungai menuju akuifer.

Akuifer Formasi *Steenkool* bagian Atas dan Bawah diisi oleh imbuhan dari infiltrasi curah hujan di mana akuifer ini tersingkap (pada daerah di mana struktur geologi mengangkatnya ke permukaan), terutama di daerah selatan dan baratdaya dari fasilitas di luar cakupan model. Imbuhan ke akuifer dangkal juga kemungkinan dari kebocoran air tanah ke arah atas dari akuifer yang lebih dalam sebagai akibat dari penyesuaian gradien akuifer Formasi *Steenkool* di bawahnya.

Daerah di mana terjadi imbuhan curah hujan untuk akuifer tertekan di cekungan air tanah Kanoka-Babo (yaitu dengan debit 560 M m<sup>3</sup> dari peta cekungan air tanah Kanoka-Babo) tidak diketahui. Maka satuan debit imbuhan tidak dapat dihitung dari informasi yang ada.

Imbuhan air tanah adalah penting untuk memahami secara konseptual bagaimana pengembangan sumber air tanah baru di fasilitas Tangguh LNG dapat mempengaruhi sistem air tanah yang ada dan bagaimana cara terbaik untuk mengembangkan pemodelan. Seperti disebutkan dalam **Bagian 5.3**, debit imbuhan cenderung sangat melebihi debit abstraksi air tanah yang diusulkan untuk Tangguh.

### 5.6.4 Luahan Air tanah

Akuifer aluvial bebas mungkin meluahkan ke Teluk Bintuni. Mungkin juga ada kebocoran kecil ke akuitard di bawahnya dan transpirasi dari tumbuhan pada musim kering. Abstraksi lokal terjadi dari tiga sumur dangkal di Saengga dan di Tanah Merah Baru. Abstraksi dari sumur-sumur ini tidak seberapa jika dikaitkan dengan debit imbuhan cekungan dan tidak berpengaruh pada ketersediaan sumberdaya air tanah secara keseluruhan.

Akuifer Formasi *Steenkool* bagian atas diduga meluahkan ke laut (Teluk Bintuni dan jauh ke barat di Laut Banda) oleh kebocoran vertikal di daerah yang luas. Kita tidak mengetahui jika ada luahan lokal, misalnya melalui zona sesar seperti yang ada di darat. Namun, mengingat umumnya karakter daerah cenderung datar pada cakupan model atau sekitarnya, maka tidak ada zona debit khusus telah dimasukkan dalam model konseptual atau numerik.

Sejumlah sumur air tanah masyarakat telah dibuat di akuifer ini sebagai bagian dari program CSR Tangguh LNG. Sumur-sumur dibuat di desa Saengga (2 sumur) dan Tanah Merah Baru (1 sumur) di mana debit yang dipakai sekitar 3 L/s hingga 8 jam (pemompaan kontinyu) per hari. Juga sejumlah sumur untuk barak karyawan Tangguh LNG dan subkontraktor pernah dipasang pada akuifer ini tetapi tidak digunakan lagi.

Sumber daya air tanah di Formasi *Steenkool* bagian Atas (yaitu pada kedalaman sekitar 150 m bmt) di bawah properti Tangguh LNG telah diembargo (yaitu tidak diijinkan ada abstraksi lebih lanjut) karena sumber daya air tanah ini diperuntukkan untuk kebutuhan pasokan air minum masyarakat.

---

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

---

Akuifer *Steenkool* Formasi bagian Bawah lah yang tersedia untuk dijadikan sumber air tanah.

### 5.6.5 Tinggi Muka Air tanah dan Dinamika Aliran

#### Tinggi Muka Air tanah

Dalam akuifer aluvial air tanah telah ditemukan pada kedalaman antara 1 sampai 10 m, umumnya air tanah dangkal terdapat di ketinggian rendah. Adanya akuifer air tanah menggantung lokal juga telah diketahui oleh Baynes Geologic dan PT Hydrocore di sejumlah lubang bor investigasi geoteknik dan lingkungan yang dibor di bagian barat laut dari properti, terutama di daerah di mana tidak ada alluvium dan Formasi *Steenkool* tersingkap ke permukaan. Tinggi muka air tanah pada akuifer aluvial diduga mengikuti topografi dengan arah aliran umum menuju Teluk Bintuni di utara.

Ketinggian air tanah yang diukur pada akuifer Formasi *Steenkool* bagian Atas berkisar antara sekitar 0,2 dan 4,5 m dpl. Gradien hidrolik pada akuifer ini dapat mendorong pergerakan air tanah dari arah selatan dan barat daya menuju ke utara dan barat laut di bawah fasilitas dan seterusnya.

Tidak ada pengukuran tinggi muka air tanah pada akuifer Formasi *Steenkool* bagian Bawah atau di akuitard. Namun, tinggi muka air yang serupa (atau mungkin lebih tinggi) dibanding akuifer Formasi *Steenkool* bagian Atas sangat mungkin terjadi mengingat elevasi daerah imbuhan dan luahan. Gradien hidrolik dan arah gerakan air tanah juga mungkin sama dengan akuifer Formasi *Steenkool* bagian Atas.

#### Fluktuasi Tinggi Muka Air tanah

Tidak ada informasi mengenai fluktuasi tinggi muka air tanah di akuifer aluvial. Tinggi air tanah diperkirakan berfluktuasi dengan perubahan musim sebagaimana imbuhan curah hujan, dan secara lokal, berfluktuasi sesuai respon abstraksi air tanah.

Untuk fluktuasi akuifer pada Formasi *Steenkool* Atas telah diamati dalam tekanan akuifer di sumur pemantauan air tanah TW-2. Fluktuasi sepertinya meniru rezim pasang surut di Teluk Bintuni dan disimpulkan oleh Penasehat Teknis Tangguh LNG sebagai pencerminan dari perubahan tekanan hidrostatik yang berkaitan dengan fluktuasi pasang surut di atas akuifer (tertekan) ini sebagai kebalikan dari perubahan muka air yang berhubungan dengan hidrolik parsial atau keseluruhan Teluk Bintuni.

Tidak ada informasi mengenai fluktuasi tinggi muka air tanah di akuifer Formasi *Steenkool* bagian Bawah.

### 5.6.6 Kualitas Air tanah

Parameter kualitas air tanah dalam akuifer aluvial tidak diketahui tetapi kemungkinan bervariasi. Air tanah segar yang terdapat dalam pasir dan kerikil dekat pantai memiliki salinitas yang lebih tinggi. pH air tanah rendah (biasanya pH sekitar 2 sampai 3) diamati oleh Baynes Geologic keluar dari akuifer dangkal di Formasi *Steenkool* di Barak Konstruksi Sementara No 2. Oleh Baynes Geologic Air tanah ini dianggap telah menjadi asam karena pengaliran parsial dan oksidasi lanjutan dari mineral sulfida dalam akuifer ini akibat dari penggalian untuk sejumlah tanggul di daerah ini.

Sampel air tanah yang diambil dari sumur air tanah masyarakat yang berada di akuifer Formasi *Steenkool* bagian Atas menunjukkan bahwa air di akuifer ini bersalinitas rendah. Kimia ion utama dari air tanah sumur pantau TW-2 menunjukkan bahwa air tanah di akuifer ini dominan natrium dan bikarbonat.

Log *resistivity* satu titik dari *Slim hole* (kedalaman maksimum 300 m) yang diduga oleh ERM menunjukkan bahwa air tanah di akuifer Formasi *Steenkool* bagian Bawah bersalinitas rendah dan memiliki konsentrasi PTT kurang dari 500 mg/L.

Menurut interpretasi log geofisika oleh Tangguh LNG dari beberapa lubang bor regional eksplorasi minyak dan gas yang menembus seluruh ketebalan Formasi *Steenkool* menunjukkan bahwa salinitas air tanah meningkat sesuai kedalaman, dengan salinitas antara 18.000 dan 22.000 ppm pada 300 m terbawah Formasi *Steenkool* (sekitar 1700-2000 m bmt) di bawah fasilitas.

---

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

---

Akuifer Formasi *Steenkool* bagian Bawah yang ditargetkan menurut pendugaan oleh tim pengeboran dalam Tangguh LNG adalah lebih dangkal dari air tanah asin tersebut dan menurut Penasihat Teknis Tangguh LNG akan memiliki air tanah segar. Pengeboran dan pengujian selanjutnya akan memberikan informasi langsung.

Tidak ada informasi mengenai lokasi dari pertemuan air laut / air segar dalam akuifer apapun. Akuifer aluvial mungkin memiliki pertemuan air laut / segar yang konvensional yaitu di dekat pantai.

Pada Formasi *Steenkool* bagian Atas, dimana ada pertemuan air laut, itu mungkin terletak di utara atau barat laut dari TW-2 dan *Slim hole*, dan (sebagaimana dibahas dalam **Bagian 6.3.2.1**) kemungkinan besar di bawah Teluk Bintuni.

## 6.0 PENGEMBANGAN MODEL NUMERIK

### 6.1 Model Numerik Sebelumnya dan Seleksi Kode Numerik

Aplikasi kode pemodelan yang paling umum diterapkan dunia adalah FEFLOW dan MODFLOW. Kedua aplikasi ini memecahkan persamaan aliran air tanah yang sama, dengan metode numerik yang berbeda. Pemodelan dalam laporan ini menggunakan kode FEFLOW berbasis Finite Element yang dikembangkan oleh DHI-wasy, walaupun dapat dibuat dengan baik memakai MODFLOW atau FEFLOW. FEFLOW dipilih lebih MODFLOW karena dua alasan utama:

- FEFLOW memiliki fleksibilitas pada grid pemodelan, yang memungkinkan ketelitian node tinggi pada cakupan wilayah kecil, seperti lapangan sumur-sumur dan bidang geometri akuifer yang kompleks, dan mesh kasar yang lebih besar di tempat lain.
- FEFLOW dapat mensimulasikan transportasi zat terlarut, dan densitas aliran dalam kode model yang sama. MODFLOW dapat mengerjakan ini, tetapi membutuhkan paket tambahan (MT3D dan SeaWAT).

Perbedaan antara FEFLOW dan MODFLOW terletak pada metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan aliran air tanah. FEFLOW menggunakan metode Finite Element (FE) sementara MODFLOW menggunakan Perbedaan Finite (FD). Kedua metode telah banyak diterapkan untuk masalah aliran air tanah sejak tahun 1970-an, dengan diskusi tentang manfaat dari dua metode untuk skala waktu yang sama (Mercer dan Faust, 1980). Teori dasar untuk metode FE dan FD telah ditetapkan dalam tanah buku teks seperti Wang dan Anderson (1982).

FEFLOW telah dikembangkan sejak akhir 1980-an. FEFLOW sekarang didirikan sebagai paket perangkat lunak komersial terkemuka untuk pemodelan air tanah dalam media berpori dan rekahan (Bundschuh dan Arriarga 2010). Teori lengkap dan pengujian FEFLOW diatur dalam sejumlah Kertas Putih bersama dengan dokumentasi FEFLOW di website FEFLOW.

Pemodelan konseptual yang informasi model numerik nya berdasarkan sejumlah inisiatif eksplorasi air tanah di properti, sebagian besar dilakukan setelah selesainya pemodelan yang dibuat oleh ITB. Investigasi terbaru sudah termasuk logging geologi dan geofisika dari lubang bor 'Slimhole' yang dibor hingga 300m, lisan resistivitas dan studi geoteknik yang telah dilaksanakan di properti Tangguh. Hasil dari investigasi ini menunjukkan bahwa distribusi akuifer ternyata lebih terbatas daripada yang ditunjukkan sebelumnya dan juga menyediakan parameter hidrolik terbaru untuk akuifer dan akuitard di bawah properti sebelah barat laut.

Pemodelan FEFLOW ini juga telah dikembangkan hingga kedalaman 600 m untuk menjelaskan potensi keberadaan akuifer yang digunakan hingga kedalaman tersebut dengan salinitas kurang dari 1.000 mg / L.

### 6.2 Desain Model Numerik

#### 6.2.1 Model Domain dan Batas Eksternal

Cakupan model adalah sekitar 55 km kali 29 km (**Gambar 4**) dengan ketebalan 600 m. Daerah cakupan ini meliputi beberapa zona imbuhan dan menanpung yang lain pada jarak yang lebih besar dengan cara memilih kondisi batas perimeter. Lokasi perimeter dari cakupan dipilih dengan penilaian kemungkinan berada di luar wilayah pengaruh dari sumur abstraksi yang diusulkan.

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

### 6.2.2 Tata Ruang dan Vertikal diskritisasi

**Gambar 5** menunjukkan diskritisasi spasial dari cakupan model melalui mesh Finite Element yang dibuat dalam FEFLOW. Cakupan tersebut di diskritisasi spasial menjadi 882.911 elemen dan 467.760 node. Pemodelan ini memiliki 19 lapisan vertikal dan 20 potongan yang ditunjukkan pada **Gambar 6**. Sebuah mesh dengan resolusi yang lebih tajam dipilih sekitar sumur pompa dan sumur masyarakat, sedangkan grid diskritisasi secara bertahap diturunkan ke arah batas cakupan model.

Perlu dicatat bahwa grid diskritisasi dirancang sedemikian rupa sehingga meminimalisir pemutaran model dan efisiensi keseluruhan dari model ditingkatkan. Kompleksitas dan grid diskritisasi yang berlebihan dapat menghambat keberhasilan pengembangan dan menyebabkan ketidakstabilan numerik.

Untuk lapisan vertikal, ada 19 lapisan dan satuan hidrostratigrafi konseptual yang didefinisikan oleh model. Akuifer (yaitu satuan dominan pasir Formasi *Steenkool*) telah digambarkan sebagai lapisan tunggal dalam model, sementara akuitard biasanya dibagi menjadi dua atau tiga lapisan agar penilaian pengaruh kebocoran vertikal lebih baik (dari lapisan yang biasanya tebal ini) dengan interaksi antar akuifer. Lapisan yang digunakan dalam model diringkaskan dalam **Tabel 2**.

**Table 2: Lapisan diskritisasi vertikal dan sifat hidrolik**

Satuan Hidrostratigrafi	Lapisan Model	Sifat Hidrolik				Ketebalan (m)
		$K_x$ & $K_y$ (m/hari)	$K_z$ (m/hari)	$S_y$	$S_s$ ( $m^{-1}$ )	
Endapan aluvial	1	5,0	5,0	0,5	-	10
Formasi <i>Steenkool</i> bagian atas – dominasi lempung	2	0,0086	0,00086	-	$3,35 \times 10^{-5}$	30
Formasi <i>Steenkool</i> bagian atas – dominasi pasir	3	4,0	0,4	-	$5,05 \times 10^{-6}$	60
Formasi <i>Steenkool</i> bagian atas – dominasi lempung	4	0,0004	0,00004	-	$3,35 \times 10^{-5}$	55
	5	0,0004	0,00004	-	$3,35 \times 10^{-5}$	55
	6	0,0004	0,00004	-	$3,35 \times 10^{-5}$	55
Formasi <i>Steenkool</i> bagian bawah – dominasi pasir	7	4,0	0,4	-	$5,05 \times 10^{-6}$	30
Formasi <i>Steenkool</i> bagian bawah – dominasi lempung	8	0,0004	0,00004	-	$3,35 \times 10^{-5}$	20
	9	0,0004	0,00004	-	$3,35 \times 10^{-5}$	25
Formasi <i>Steenkool</i> bagian bawah – dominasi pasir	10*	4,0	0,4	-	$5,05 \times 10^{-6}$	10
Formasi <i>Steenkool</i> bagian bawah – dominasi lempung	11	0,0004	0,00004	-	$3,35 \times 10^{-5}$	30
	12	0,0004	0,00004	-	$3,35 \times 10^{-5}$	30
	13	0,0004	0,00004	-	$3,35 \times 10^{-5}$	30
Formasi <i>Steenkool</i> bagian bawah – dominasi pasir	14*	4,0	0,4	-	$5,05 \times 10^{-6}$	10
Formasi <i>Steenkool</i> bagian bawah – dominasi lempung	15	0,0004	0,00004	-	$3,35 \times 10^{-5}$	30
	16	0,0004	0,00004	-	$3,35 \times 10^{-5}$	30
	17	0,0004	0,00004	-	$3,35 \times 10^{-5}$	30
Formasi <i>Steenkool</i> bagian bawah – dominasi pasir	18*	4,0	0,4	-	$5,05 \times 10^{-6}$	10
Formasi <i>Steenkool</i> bagian bawah – dominasi lempung	19	0,0004	0,00004	-	$3,35 \times 10^{-5}$	50

**Catatan:** \* Akuifer yang belum terbukti telah dimasukkan atas permintaan Penasehat Teknis Tangguh LNG

---

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

---

### 6.2.3 Kondisi Batas

Kondisi batas yang dipilih dari model diuraikan di bawah dan ditunjukkan pada **Gambar 7**. Dalam memilih lokasi batas cakupan model telah menggunakan penilaian berdasarkan pengalaman untuk memungkinkan terpenuhinya tujuan pemodelan. Tidak perlu untuk mensimulasikan seluruh kondisi yang mengikat sistem akuifer Formasi *Steenkool* secara keseluruhan.

Kondisi batas muka air konstan (jenis pertama : Dirichelt ) dipasang padai di tepi utara, barat dan selatan model ; ini adalah perwakilan dari permukaan air laut serta sistem akuifer regional.

Sepanjang batas timur model , sebuah batas variabel muka air konstan dipasang untuk mewakili Sungai Tegenarategen, dengan variabel elevasi menurun menuju laut.

Karena tidak ada sumur observasi di batas selatan , maka muka air konstan setinggi 24 m dpl dipasang sepanjang singkapan batupasir Formasi *Steenkool* pada lapisan 7 , 10 , 14 dan 18 . Muka air ini bertujuan untuk mewakili daerah imbuhan dari daerah selatan cakupan model. Sungai-sungai disimulasikan dengan kondisi batas bertipe Cauchy ke-3 agar memungkinkan untuk perpindahan fluida dan memasang nilai konduktansi.

### 6.2.4 Arus Masuk dan Keluar

#### 6.2.4.1 Debit Imbuhan Curah Hujan

Nilai rata-rata jangka panjang imbuhan curah hujan yang dipakai dalam model numerik dirangkum dalam **Tabel 3**.

**Table 3: Imbuhan Curah Hujan**

Skenario	Tipe Singkapan	Imbuhan (mm/thn)	Imbuhan (% curah hujan tahunan)	Imbuhan (m/hari)
Kasus awal	Aluvial, Formasi <i>Steenkool</i> dominasi lempung	150	4,6	$4,1 \times 10^{-4}$
	Formasi <i>Steenkool</i> dominasi pasir	94	2,9	$2,6 \times 10^{-4}$

#### 6.2.4.2 Luahan Alami Air tanah

Pemodelan memungkinkan luahan lateral dari akuifer dangkal ke Teluk Bintuni dan kebocoran ke atas secara vertikal ke laut dari akuifer Formasi *Steenkool* yang terjadi di bawah Teluk Bintuni.

#### 6.2.4.3 Debit Luahan Sumur

Abstraksi yang diperlihatkan oleh model meliputi:

- abstraksi dari empat sumur produksi air tanah yang diusulkan untuk proyek pengembangan Tangguh yang akan diambil dari akuifer Formasi *Steenkool* bagian Bawah, dan
- abstraksi sumur masyarakat setempat dari dua sumur masyarakat di Saengga ( WWS - 1 , WWS - 2 ) dan satu sumur masyarakat di Tanah Merah Baru ( WWTMB - 1 ).

Kebutuhan air dan debit pemompaan selama pembangunan kilang 3 dan 4 di fasilitas Tangguh LNG akan berbeda dalam setiap tahapnya. Pembangunan kilang baru dan infrastruktur yang terkait direncanakan lebih dari 4 tahun, dengan jadwal 3 bulan *pre-commissioning* untuk kuartal ke-3 tahun terakhir diikuti oleh tiga bulan *commissioning* selama kuartal terakhir.

Skenario abstraksi air tanah yang dijelaskan dalam laporan ini memasukkan jumlah tenaga kerja yang akan meningkat dari sekitar 1.000 orang pada awal konstruksi sampai sekitar 8000 orang pada akhir tahun kedua ( yang merupakan

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

estimasi kerja permintaan tenaga puncak), sebelum kemudian menurun menjadi sekitar 1.000 orang pada tahun terakhir (seperti yang diungkapkan oleh Tangguh LNG) .

Rata-rata kebutuhan air tenaga kerja telah diperkirakan oleh Tangguh LNG sebanyak 300 liter per orang per hari dengan puncak kebutuhan air tenaga kerja diperkirakan oleh Tangguh LNG sekitar sekitar 2.400 m<sup>3</sup> / hari.

Air yang diperlukan untuk *hydrotesting* pada pipa lepas pantai dan tangki di darat dan kapal-kapal mungkin diperlukan secara bertahap atau secara paralel atas kebutuhan air yang mendukung tenaga kerja. Meskipun kebutuhan ini belum disediakan oleh Tangguh LNG, tetapi telah diasumsikan oleh Penasihat Teknis Tangguh LNG bahwa akan diperlukan pasokan air sebanyak 95 L/detik untuk tahap *pre-commissioning* selama kuartal ke-3 tahun terakhir. Hal ini memberikan pertimbangan bahwa air akan dipompa ke kolam penyimpanan dan alirkan ke *hydrotest* dengan 190 L/detik selama 50 hari.

Dengan demikian, puncak kebutuhan air kemungkinan besar akan berada di kuartal ke-3 tahun terakhir dan dengan total 8.500 m<sup>3</sup>/hari terdiri dari kebutuhan tenaga kerja, pengaliran air tanah untuk kolam penyimpanan dan untuk *hydrotesting* infrastruktur.

Pekerjaan awal menempati 9 bulan sebelum dimulainya skenario ini; kebutuhan air selama fase ini belum dimasukkan dalam pemodelan kebutuhan air atau kerangka waktu.

Perlu dicatat bahwa perkiraan untuk tahap konstruksi bersifat sementara saja dan cenderung bervariasi sesuai dengan rencana yang dikembangkan oleh kontraktor Engineering-Procurement-Construction. Perkiraan ini namun dianggap wajar dan logis.

Selain itu, debit pemompaan 50 L/detik juga diperlukan selama keberlangsungan fasilitas (25 tahun).

Pemompaan air tanah dari dua sumur masyarakat di Saengga dan satu sumur di Tanah Merah Baru telah dimodelkan sebagai 8 jam pemompaan terus menerus per hari dalam skenario model.

Ada dan yang diusulkan lokasi sumur, kedalaman layar dan jadwal pemompaan dirangkum dalam **Tabel 4** sementara kebutuhan air kemungkinan dan tingkat pemompaan air tanah individu dan kumulatif ditampilkan pada **Gambar 8**

**Table 4: Rincian Pemompaan Sumur**

ID Sumur	Lintang (mE)	Bujur (mN)	Kedalaman Saringan (m bgs)	Lama Pemompaan	Debit Pemompaan Tiap Sumur (L/s)	Akumulasi Debit Pemompaan Sumur [yaitu Kebutuhan Air Fasilitas LNG] (L/s)
Lokasi sumur produksi sementara	626.020	9.729.360	265 to 295 340 to 350	2 tahun	Berawal 1,3 dan naik ke 7,5	Berawal 5 dan naik ke 30
	627.140	9.728.975		18 bulan	7,5	30
	625.530	9.726.750		100 hari	23,75	95
	628.915	9.726.540		100 hari	Berawal 23,75 dan turun ke 12,5	Berawal dan turun ke 50
				25 tahun	12,5	50
WWS-1	289.451	9.726.729	98 - 110 117 - 120	Berlangsung 8 jam per hari	3	3
WWS-2	289.502	9.726.729	101 - 122	Berlangsung 8 jam per hari	3	3
WWTMB-1	290.491	9.728.077	98 - 110 122 - 125	Berlangsung 8 jam per hari	3	3

## **6.2.5 Batasan Model**

### **6.2.5.1 Sifat Hidrolik**

Parameter hidrolik yang digunakan untuk setiap lapisan model disajikan pada **Tabel 1** di **Bagian 6.2.2**.

Nilai konduktivitas hidrolik untuk akuifer di Formasi *Steenkool* bagian Atas (yaitu lapisan 3 dari model) diperkirakan dari uji pemompaan sebelumnya yang dilakukan di daerah penelitian dan sumur air tanah masyarakat di sebelah barat dan baratdaya dari fasilitas. Uji pemompaan menunjukkan bahwa lapisan akuifer lebih menjanjikan dalam satuan ini memiliki konduktivitas hidrolik horizontal antara sekitar 1 dan 15 m/hari dan umumnya sekitar 4 m/hari.

Untuk nilai *specific storage* dari akuifer Formasi *Steenkool* bagian Atas telah didasarkan pada nilai dari buku teks untuk satuan hidrostratigrafi yang sesuai.

Sifat hidrolik untuk akuifer yang diketahui dan diduga pada Formasi *Steenkool* bagian Bawah (yaitu lapisan 7, 10, 14 dan 18 dari model) telah didasarkan pada konduktivitas hidrolik dan *specific storage* untuk akuifer di Formasi *Steenkool* bagian Atas, seperti yang disarankan oleh Penasehat Teknis dari Tangguh LNG.

Sifat hidrolik untuk akuitard pada model (yaitu lapisan 2, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 17 dan 19) telah didasarkan pada nilai-nilai konduktivitas hidrolik yang diperkirakan dari empat sampel batulempung tak terganggu yang berasal dari Formasi *Steenkool* bagian atas selama penyelidikan geoteknik untuk pembuangan sampah diam dan organik yang baru.

Rentang diambil untuk sifat hidrolik digunakan sebagai titik awal untuk variasi parameter selama kalibrasi model dan analisis sensitivitas dilakukan untuk memilih parameter kalibrasi final yang digunakan untuk simulasi prediksi.

## **6.3 Kalibrasi Model**

### **6.3.1 Kalibrasi Steady-State Awal**

Tidak ada data sumur pantau regional atau deret waktu tinggi muka air tanah yang tersedia untuk membantu dalam kalibrasi model. Tinggi muka air tanah yang tersedia diperoleh dari berbagai laporan pengeboran dan penyelidikan geoteknik yang hanya terbatas pada daerah sekitar infrastruktur di fasilitas Tangguh LNG, yang semuanya adalah pengambilan pengukuran muka air tanah tunggal pada waktu yang berbeda. Tinggi muka air tanah ini digunakan untuk mengkalibrasi model kondisi steady state yang sebaiknya dapat di prediksi di daerah sekitarnya properti Tangguh LNG. Model ini dikalibrasi untuk kondisi *steady state* dengan menggunakan metode *trial and error*, dengan berdasarkan pada pengalaman penilaian terhadap sistem air tanah. Target muka air hidrolik antara 2 dan 5 m dpl dapat dicapai pada sumur masyarakat, dan antara 0 dan 6 m dpl di sekitar lubang bor investigasi geoteknik di bagian barat laut fasilitas Tangguh LNG.

### **6.3.2 Kalibrasi Transient State**

#### **6.3.2.1 Pengaturan Model Transient and Metodologi Kalibrasi**

Persiapan desain *grid* dan kondisi batas Model transien kurang lebih sama seperti persiapan model *steady state*. Kompleksitas tambahan dimasukkan sebagai kondisi batas konsentrasi massa serta penunjukan kondisi batas air laut.

Sistem air tanah di Tangguh meliputi akuifer tertekan di mana air bergerak menuju laut dari daerah imbuhan di darat. Dalam akuifer tersebut, air tanah diperkirakan akan bergerak melampaui pantai untuk meluahkan melalui difusi dari kebocoran lapisan akuitard berpermeabilitas rendah atau melalui struktur sesar lokal, yang tidak diketahui keberadaannya dekat fasilitas. Bahkan jika memang ada sesar melewati akuitard, aliran air tanah lokal sepanjang sesar tersebut tidak akan selalu terjadi.

Situasi ini mungkin mengakibatkan air tanah segar memperpanjang jarak di bawah Teluk Bintuni dalam akuifer tertekan. Jarak ini tidak dapat diketahui tetapi 1 sampai 5 km tidak dapat dibayangkan tidak mungkin. Jarak 2 km dari lepas pantai

---

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

---

untuk lokasi transisi dari air tanah segar ke air tanah asin dinilai wajar untuk analisis potensial migrasi air laut menuju lapangan sumur masa depan di Tangguh LNG; berdasarkan log geofisika untuk *Slim hole* di bagian utara dari daerah penelitian, pendugaan oleh ERM untuk air tanah segar hadir di Hulu dan Hilir akuifer Formasi *Steenkool* hingga kedalaman sekitar 300 m bmt .

Model transien awalnya dikembangkan untuk membangun kondisi *steady state* dari batas air laut di Formasi *Steenkool* . Sebuah batas massa konsentrasi yang mewakili kondisi air laut (yaitu 35.000 mg/L) telah ditempatkan di daerah laut dari cakupan model pada lapisan paling atas untuk memungkinkan migrasi lateral dan vertikal melalui satuan Formasi *Steenkool* bagian Atas. Untuk mewakili pertemuan air tawar/air laut, kondisi batas konsentrasi massa dipasang di sekitar 2 km lepas pantai pada lapisan di bawah satuan dominasi lempung Formasi *Steenkool* bagian Atas (yaitu dari lapisan 7 ke bawah).

Pemodelan ini kemudian dijalankan selama  $10^8$  hari (sekitar 275.000 tahun) agar memungkinkan waktu yang cukup untuk pertemuan air tawar/air laut untuk mencapai kondisi *steady state*. Untuk membantu simulasi ini, batas muka air konstan dengan tinggi muka air +24 m dpl diberikan untuk semua lapisan dalam pemodelan sepanjang batas selatan terluar cakupan model.

### 7.0 PREDIKSI HASIL SIMULASI

Tujuan dari skenario pemodelan prediktif adalah estimasi penurunan dalam akuifer di Formasi *Steenkool* bagian atas dan bawah karena pemompaan yang direncanakan oleh Tangguh LNG. Penurunan akan mengontrol ketersediaan sumberdaya air, gangguan dari akuifer yang lebih rendah pada sumur di akuifer bagian atas dan tingkat setiap intrusi air laut yang merugikan .

Debit pemompaan gabungan untuk empat sumur yang diusulkan di properti Tangguh LNG diringkas dalam **Tabel 4** (dalam **Bagian 6.2.4.3**).

Model yang dikalibrasi telah digunakan untuk menghitung perubahan tinggi muka air tanah dan intrusi air laut, dengan menggunakan perkiraan konservatif dari *specific storage* dan konduktivitas hidrolis vertikal sebagai berikut:

- Vertikal konduktivitas hidrolis dari akuitard  $4,0 \times 10^{-5}$  m/hari;
- *specific storage* dari akuitard  $3,35 \times 10^{-5}$ ; dan
- *specific storage* dari akuifer  $5,05 \times 10^{-6}$ .

Parameter hidrolis dan karakteristik lainnya konsisten pada nilai-nilai yang sebelumnya dinyatakan.

Hasil pemodelan air tanah secara umum menunjukkan bahwa kebutuhan air nominal Tangguh LNG akan tersedia dari akuifer yang ditargetkan di Formasi *Steenkool* bagian Bawah di bawah properti Tangguh LNG berdasarkan parameter yang diasumsikan dari akuifer yang sama dan dinilai sesuai untuk akuifer sistem berlapis di Tangguh LNG.

### 7.1 Prediksi Penurunan Muka Air

Seperti yang terlihat pada Gambar 9, penurunan pada akuifer Formasi *Steenkool* bagian Bawah diperkirakan sekitar 15 m di dekat lokasi rencana sumur produksi PW-1 dan PW-2, dan antara sekitar 13 dan 14 m di lokasi yang direncanakan untuk sumur produksi PW-3 dan PW-4. Kerucut penurunan menyebar ke utara di bawah Teluk Bintuni, sedangkan gradien tertinggi terdapat secara lokal di dekat empat sumur produksi yang diusulkan. Tinggi muka air tanah yang dimodelkan pada akuifer Formasi *Steenkool* bagian Bawah di PW-2 (sumur pemompaan yang paling dekat dengan Teluk Bintuni) selama rencana pembangunan dan tahap operasional fasilitas Tangguh LNG ditampilkan pada **Gambar 10** .

---

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

---

Dengan berasumsi kebutuhan air untuk pembangunan Kilang LNG 3 dan 4 dan operasi yang sedang berlangsung di Fasilitas Tangguh LNG yang bersumber hanya dari air tanah, penurunan di setiap sumur pompa di properti Tangguh LNG diperkirakan untuk sementara memuncak pada akhir *hydrotesting* selama fase konstruksi pekerjaan (**Gambar 10**). Tekanan akuifer kemudian diharapkan untuk pulih sebagian pada akhir *hydrotesting* ketika debit pemompaan sumur akan dikurangi, dan kemudian berkurang sekitar 1,2 m selama tahap operasi fasilitas Tangguh LNG. Dengan demikian lebih dari 90 % dari diprediksi penurunan jangka panjang di PW - 2 (dan pada setiap sumur air tanah yang direncanakan) diperkirakan akan terjadi selama empat tahun pertama pemompaan, dengan hanya penurunan tambahan kecil yang diperkirakan selama 25 tahun berikutnya.

Penurunan maksimal pada akuifer Formasi *Steenkool* bagian Atas karena abstraksi sumur masyarakat dan pemompaan terencana Tangguh LNG diprediksi sekitar 0,6 m di sumur masyarakat di Saengga (**Gambar 11**). Penurunan sekitar 0,55 m juga diperkirakan di sumur masyarakat di Tanah Merah Baru sekitar 300 m sebelah baratdaya dari properti Tangguh LNG, dimana hanya sekitar 0,05 m ada hubungannya dengan abstraksi yang direncanakan Tangguh LNG dari dalam properti fasilitas Tangguh LNG (**Gambar 12**). Perkiraan penurunan dari model diasumsikan akurat hingga 0,005 m.

Penurunan di Formasi *Steenkool* bagian Atas yang dimodelkan di batas properti Tangguh LNG dekat PW-3 ditampilkan pada **Gambar 13**. Gambar ini menunjukkan bahwa jumlah penurunan yang diprediksi dalam akuifer ini di lokasi ini mungkin menjadi sekitar 0,165 m dan mungkin sekitar 0,05 m mungkin disebabkan oleh abstraksi yang direncanakan Tangguh LNG dari akuifer Formasi *Steenkool* bagian Bawah.

Diagram insert pada **Gambar 11** menunjukkan bahwa penurunan terbesar dalam akuifer Formasi *Steenkool* bagian Atas sepanjang batas fasilitas Tangguh LNG akan terjadi di dekat sumur masyarakat di Tanah Merah Baru. Jumlah penurunan pada akuifer ini di lokasi ini diperkirakan sekitar 0,29 m, dimana sekitar 0,05 m berhubungan dengan abstraksi yang direncanakan Tangguh LNG dari akuifer Formasi *Steenkool* bagian Bawah.

Pada masing-masing lokasi di atas [yaitu (i) sumur masyarakat di Tanah Merah Baru, (ii) titik pada batas properti terdekat dengan sumur masyarakat di Tanah Merah Baru, dan (iii) titik pemantauan pada batas properti dekat PW-3] peningkatan penurunan dalam akuifer Formasi *Steenkool* bagian Atas yang terjadi akibat pemompaan yang direncanakan Tangguh LNG diperkirakan dengan membandingkan:

- (i) jumlah penurunan terprediksi pada akuifer ini karena pemompaan masyarakat saja, dengan
- (ii) penurunan yang disebabkan oleh abstraksi air tanah setempat ditambah dengan rencana memompa Tangguh LNG.

Maka penurunan pada sumur masyarakat di Tanah Merah Baru termasuk juga penurunan yang disebabkan oleh pemompaan di sumur masyarakat di Saengga.

Penurunan yang dimodelkan untuk Formasi *Steenkool* bagian Atas untuk air tanah yang di abstraksi hanya dari sumur masyarakat selama tahap konstruksi dan operasional fasilitas Tangguh LNG ditampilkan untuk tujuan perbandingan pada **Gambar 14**.

Mengingat diskritisasi spasial dan vertikal dari cakupan model numerik dan alokasi parameter hidrologik, diketahui bahwa potensial pengaruh terbesar pada penurunan yang diprediksi di sumur masyarakat akan terjadi jika:

- (i) akuifer di Formasi *Steenkool* bagian Atas dan Bawah secara hidrogeologi terhubung, kemungkinan besar melalui sesar; dan
- (ii) semua sesar dalam cakupan model tidak bertindak sebagai hambatan untuk aliran air tanah.

Dalam model numerik, akuifer Formasi *Steenkool* tidak tergeser oleh sesar hingga aliran air tanah terhambat. Dengan demikian prediksi kontur penurunan yang dihasilkan oleh model numerik dianggap konservatif dalam hal potensi dampak terhadap sumur masyarakat di Tanah Merah Baru dan Saengga.

---

## PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH STUDI AIR TANAH PEMODELAN AIR TANAH

---

Sesar hambatan harus diidentifikasi antara sumur masyarakat dan lokasi sumur produksi yang diusulkan di fasilitas Tangguh LNG berdasarkan pengambilan air tanah yang berkelanjutan dan pemantauan kemungkinan bahwa:

- penurunan di Formasi *Steenkool* bagian Atas dan Bawah di bawah fasilitas LNG akan lebih besar dari prediksi saat ini; dan
- penurunan di sumur masyarakat akan kurang dari prediksi saat ini.

### 7.2 Prediksi Intrusi Air laut

Sistem air tanah di Tangguh meliputi akuifer tertekan di mana air bergerak dari daerah imbuhan air tanah di selatan dan baratdaya dari fasilitas Tangguh LNG menuju daerah luahan ke utara dari fasilitas dan kemungkinan melampaui pantai. Hal ini mungkin mengakibatkan air tanah segar memperpanjang jarak di bawah Teluk Bintuni dalam akuifer tertekan; jarak ini tidak diketahui, tetapi jarak 2 km lepas pantai untuk lokasi transisi dari air tanah tawar ke air tanah asin telah diasumsikan untuk analisis potensi migrasi air laut mengarah ke lapangan sumur air tanah masa depan di Tangguh LNG.

Pemompaan dari akuifer tertekan akan menyebabkan tinggi muka air tanah turun di daerah sekitarnya. Luasnya zona pengaruh akan tergantung pada sifat akuifer dan konduktivitas hidrolik vertikal dari akuitard yang terletak di atas dan di bawah akuifer. Tak satu pun dari parameter ini diketahui secara khusus, tetapi analisis telah dilakukan dengan berbagai parameter yang dipilih oleh penilaian berdasarkan pengalaman. Pengujian selanjutnya di daerah penelitian akan memberikan perkiraan parameter yang lebih baik.

Berdasarkan perkiraan yang wajar dari posisi pertemuan air laut dalam akuifer tertekan, parameter akuifer dan sifat akuitard, model numerik digunakan untuk menguji kemungkinan perilaku pertemuan selama 29 tahun perencanaan operasi lapangan sumur air tanah. Seperti ditunjukkan dalam **Gambar 15** dan **Gambar 16**, model memprediksi secara virtual tidak ada pergerakan lateral air tanah garam ke arah lapangan sumur dalam akuifer tertekan; juga diprediksi secara virtual tidak ada kebocoran ke bawah dari air laut Teluk menuju akuifer dibawah nya.

**Gambar 17** menunjukkan kondisi konsentrasi massa (salinitas) pada akhir perencanaan 29 tahun pemompaan; di mana pertemuan salinitas di Formasi *Steenkool* bagian Bawah pindah sekitar 150 m ke selatan menuju fasilitas Tangguh LNG.

**Gambar 18** menunjukkan prediksi perubahan salinitas di Formasi *Steenkool* bagian Bawah di PW-2 (yaitu sumur pemodelan yang paling dekat dan dengan Teluk Bintuni) karena pemompaan yang direncanakan Tangguh LNG adalah kurang dari 10 mg / L; ini adalah satu-satunya sumur (aktual atau pemodelan) di mana terjadi peningkatan salinitas setelah perencanaan 29 tahun pemompaan dari akuifer Formasi *Steenkool* bagian Atas dan Bawah.

Hasil ini konsisten dengan pemahaman konseptual dari sistem air tanah, termasuk debit kecil pemompaan air tanah relatif neraca air regional di akuifer.

---

## TANGGUH EXPANSION PROJECT GROUNDWATER STUDY GROUNDWATER SUPPLY MODELLING

---

Untuk dan atas nama konsorsium dari

**PT GEOTECHNICAL AND ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA, DAN**

**GOLDER ASSOCIATES PTY LTD**

Craig Wicenciak  
Senior Hydrogeologist

John Waterhouse  
Principal

Geoff Perryman  
Project Manager, Associate

---

## TANGGUH EXPANSION PROJECT GROUNDWATER STUDY GROUNDWATER SUPPLY MODELLING

---

### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Indonesia 2007. *Re-Calibration and Re-Interpretation of VES Data Line AB, Tanah Merah – TLNG Site, Kabupaten Bintuni, Papua Barat*. Report dated 2007.
- Baynes Geologic 2006. *Tangguh LNG Project, Engineering Geology Assessment, Consolidated Report, Volume 1 of 2: Text, Figures and Appendices*. Baynes Geologica report No. 165/3/1 060721 dated 21 July 2006.
- BP Berau Ltd 2012. *Tangguh Expansion – Concept Development Studies: Tangguh LNG Groundwater Desktop Study*. Document No. 060-SDY-EM-ENV-0001 Revision C01 dated 6 June 2012.
- BP Berau Ltd (2002), *Result of Steenkool – Kais – Faumai Water Salinity Study*. Report dated 28 March 2002.
- Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral 1990. *Geology of the Fak Fak Sheet Area, Irian Jaya*. Quadrangle 2913, Scale 1:250,000. Department of Mines and Energy. Geological Research and Development Centre of Indonesia.
- Environmental Resources Management Australia 2004. *Numerical Groundwater Model to Estimate Potential Pumping Rates for Tangguh LNG Project, Papua, Indonesia*. Reference No. 'International Report' dated 10 April 2004.
- Institut Teknologi Bandung 2005, *Revised Technical Proposal for the Trial Use of Groundwater*. Report dated January 2005.
- Institut Teknologi Bandung 2004. Hydrogeological Study for Tangguh LNG Project Papua, Indonesia.
- Mercer, J. W, and C. R. Faust. 1980. *Ground-Water Modeling: An Overview*. Groundwater 18(2):108-115.
- PT Calmarine Indonesia (2001), *Hydrogeological Investigation (ON-3)*. Document No. 900-SDY-151 dated 1 March 2001.
- PT ENV Indonesia 2012. *Tangguh LNG Groundwater Desktop Study, Tangguh Expansion – Concept Development Studies*. ENV report No. 60-SDY-EM-ENV-0001.
- PT ERM Indonesia 2006. *Slim hole Drilling, Tangguh LNG Project*. Report dated March 2007.
- PT ERM Indonesia 2006. *Waterwell Construction Report: Onar Baru*. Report dated October 2006.
- PT ERM Indonesia 2006. *Waterwell Construction Report: Onar Lama*. Report dated October 2006.
- PT ERM Indonesia 2006. *Waterwell Construction Report: Saengga*. Report dated October 2006.
- PT ERM Indonesia 2006. *Waterwell Construction Report: Tanah Merah Baru*. Report dated October 2006.
- PT ERM Indonesia 2004. *Water Supply Study for Tangguh LNG Facility*. Report dated July 2004.
- PT ITP 2013. *Tangguh Landfill Project: Geotechnical Investigation Report for Sanitary Landfill*. BP report reference No. 89-RPT-CV-0006 dated 11 January 2013.
- PT Taka Hydrocore Indonesia 2012, *Final Report, Evaluation of Groundwater Monitoring, BP Environmental – THI Cooperation, Tangguh LNG, West Papua*. Report dated 18 December 2012
- PT Taka Hydrocore Indonesia 2009, *Final Report, Geotechnical and Monitoring Well Drilling for Proposed New Landfill Development*. Report No. 185/HC-Rep/11.09 Rev 2 dated 12 November 2009.

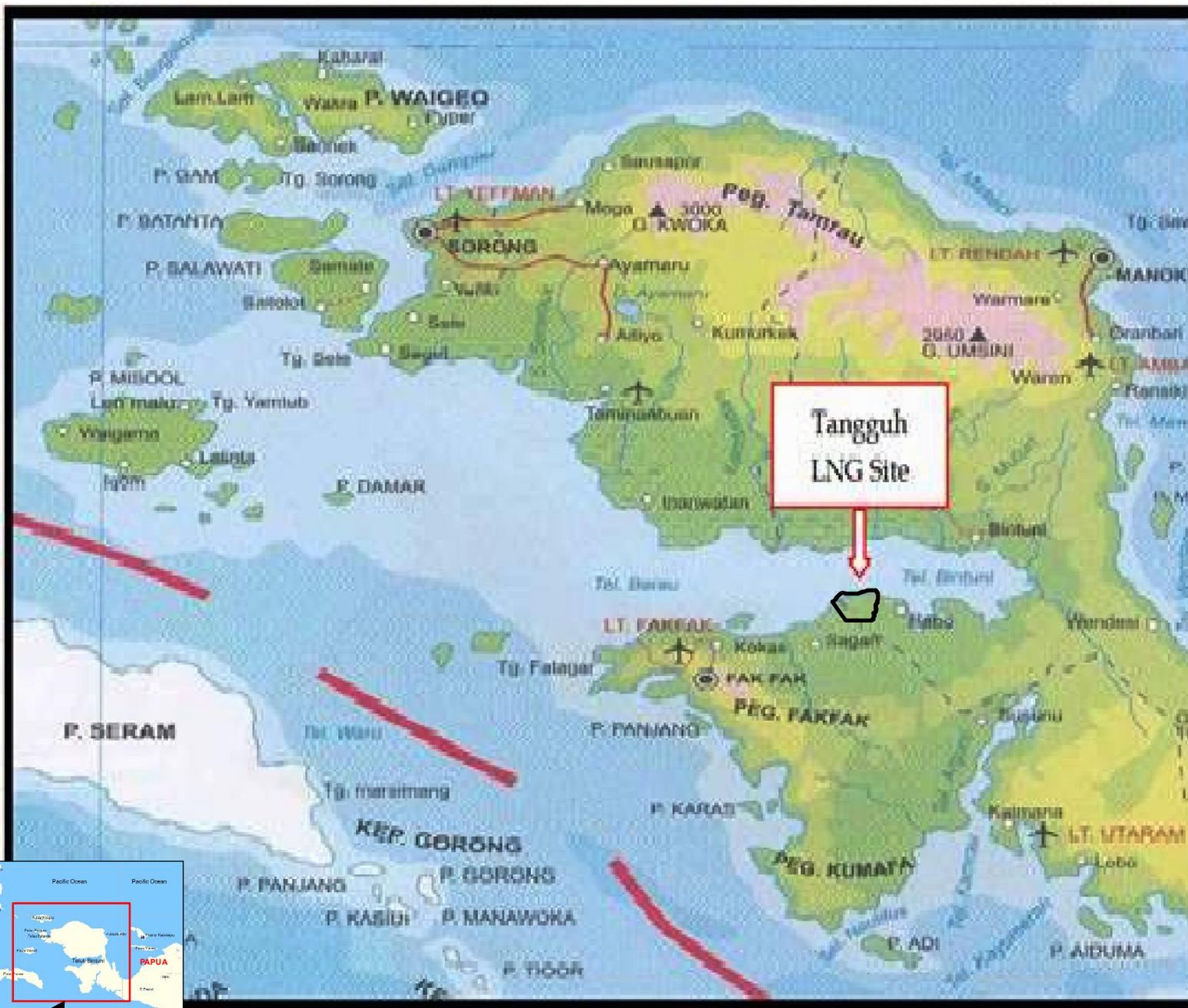
---

## TANGGUH EXPANSION PROJECT GROUNDWATER STUDY GROUNDWATER SUPPLY MODELLING

---

Robinson, G. P., B. H. Harapan, M. Suparman and G. M. Bladon 1990. *Geology of the Fak Fak Sheet Area, Irian Jaya. Quadrangle 2913, Scale 1:250,000*. Department of Mines and Energy. Geological Research and Development Centre of Indonesia.

Wang, H. and Anderson, M. P. 1982. *Introduction to Groundwater Modelling: Finite Difference and Finite Element Methods*. W. H. Freeman and Company. San Francisco. ISBN 0-7167-1303-9

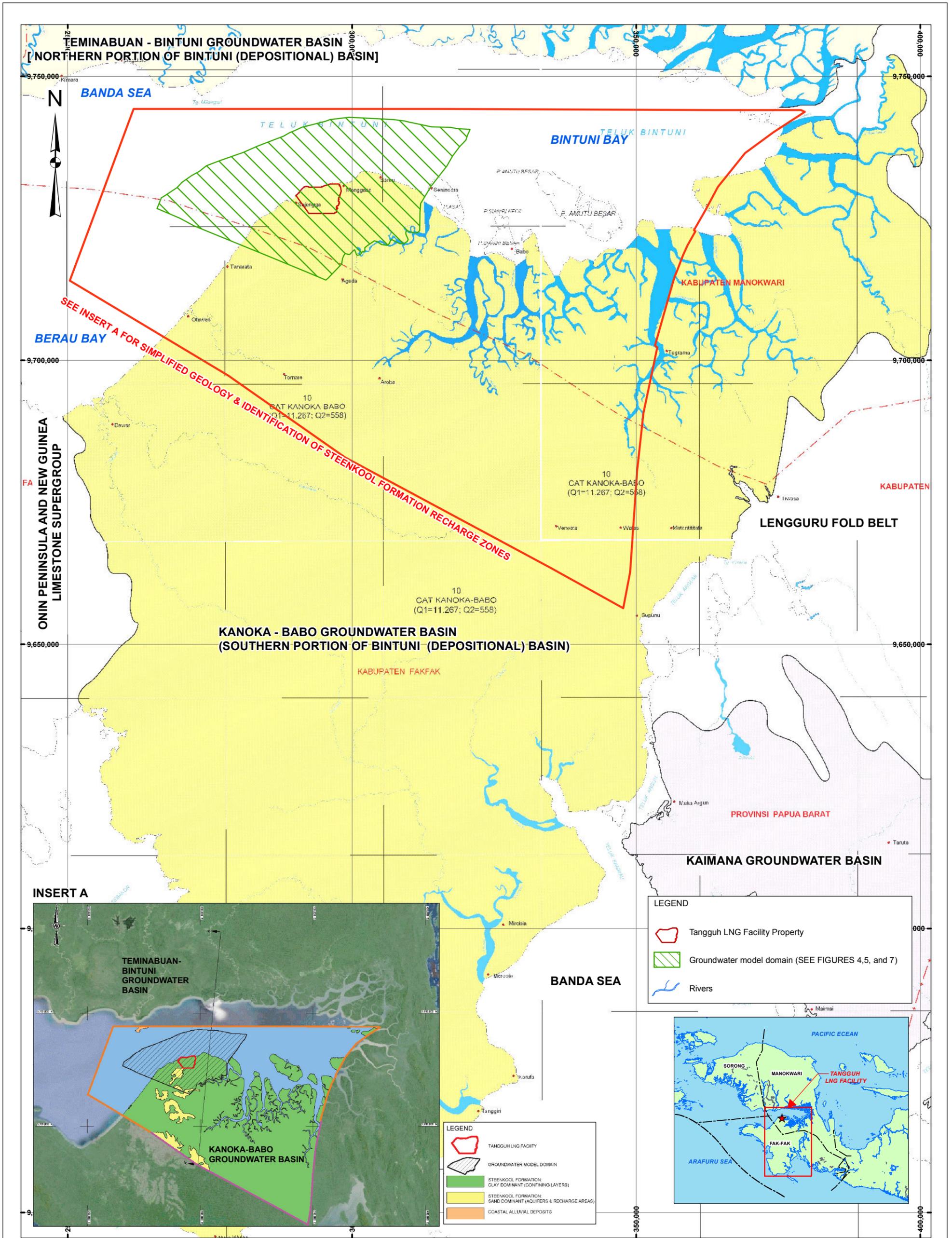


SOURCE : BP BERAU LTD

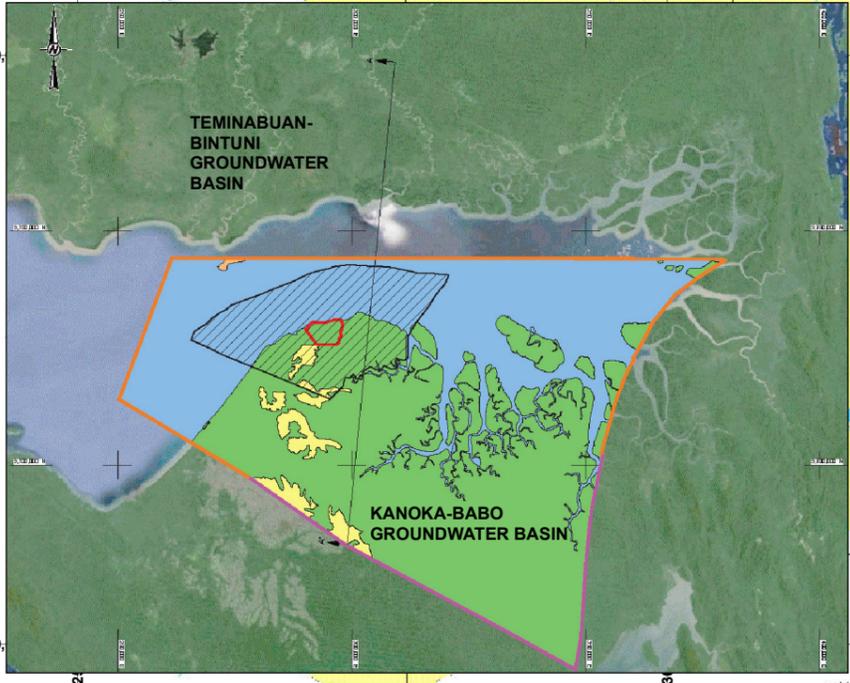


www.golder.com  
GOLDER ASSOCIATES

CLIENT <b>BP BERAU LTD</b>		PROJECT <b>TANGGUH LNG EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>			
DRAWN BY NDL	DATE 7/03/2014	DRAWING TITLE <b>TANGGUH LNG FACILITY SITE LOCATION</b>			
CHECKED BY CW	DATE 7/03/2014				
SCALE NTS	SHEET SIZE A4	PROJECT No 138716004	DOC No 013	DOC TYPE F	FIGURE No 1
		REVISION 1	FIGURE No 1	REVISION 1	FIGURE 1



INSERT A



**LEGEND**

- Tangguh LNG Facility Property
- Groundwater model domain (SEE FIGURES 4,5, and 7)
- Rivers

**LEGEND**

- TANGGUH LNG FACILITY
- GROUNDWATER MODEL DOMAIN
- STEENKOOI FORMATION: CLAY DOMINANT (CONFINING LAYERS)
- STEENKOOI FORMATION: SAND DOMINANT (AQUIFERS & RECHARGE AREAS)
- COASTAL ALLUVIAL DEPOSITS



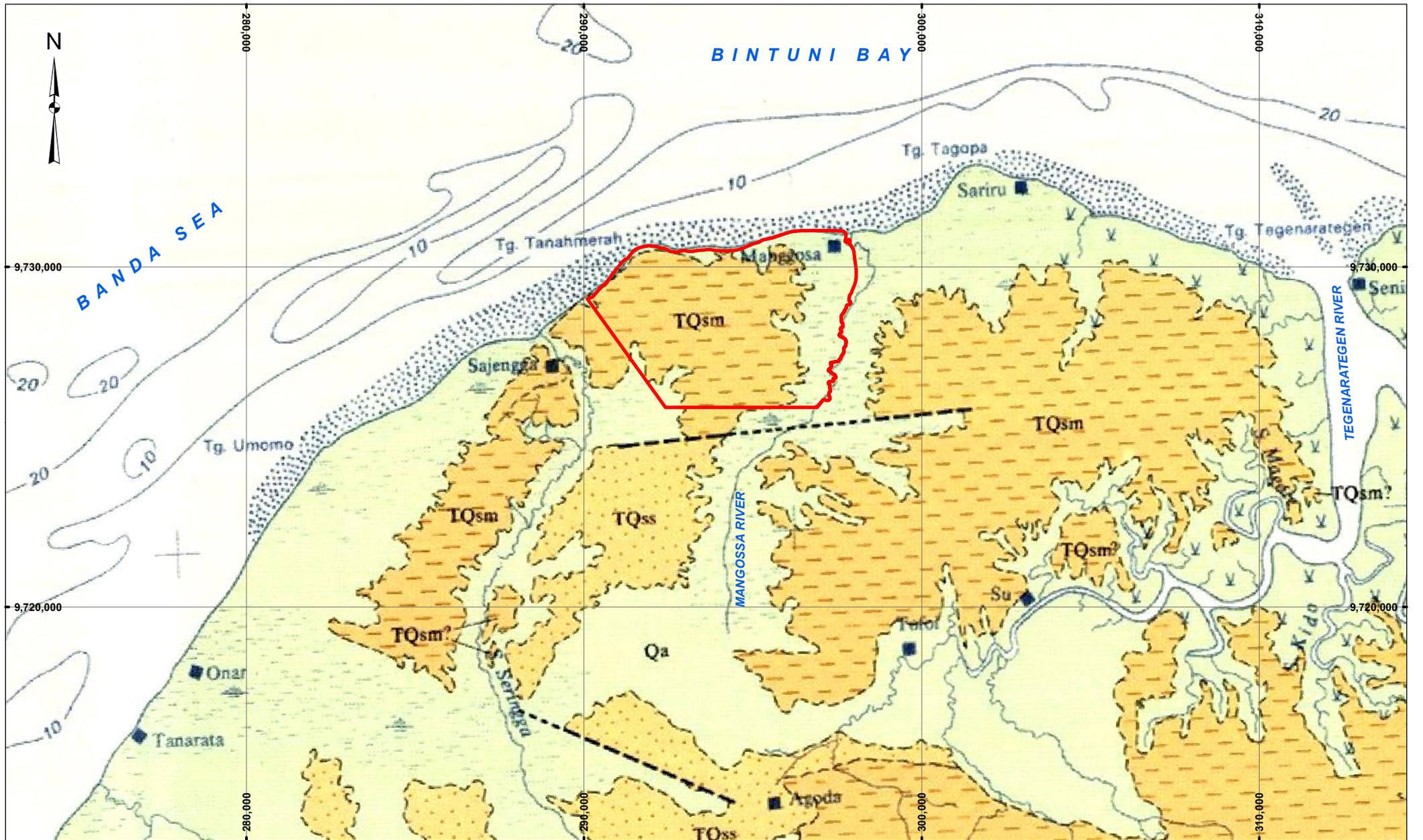
**NOTE**

Q1 = estimate of total recharge of unconfined aquifers in the Kanoka-Babo Groundwater Basin ( M m<sup>3</sup>/year).

Q2 = estimate of total recharge of confined aquifers in the Kanoka-Babo Groundwater Basin ( M m<sup>3</sup>/year).

www.golder.com  
GOLDER ASSOCIATES

CLIENT <b>BP BERAU Ltd</b>		PROJECT <b>TANGGUH LNG EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>					
DRAWN BY NDL	DATE 15/04/2014	DRAWING TITLE <b>REGIONAL HYDROGEOLOGICAL SETTING AND MODEL DOMAIN</b>					
CHECKED BY CW	DATE 15/04/2014	PROJECT No 138716004	DOC No 000	DOC TYPE F	FIGURE No 02	REVISION 1	
SCALE 1:600,000	SHEET SIZE A3	FIGURE 2					



**LEGEND**

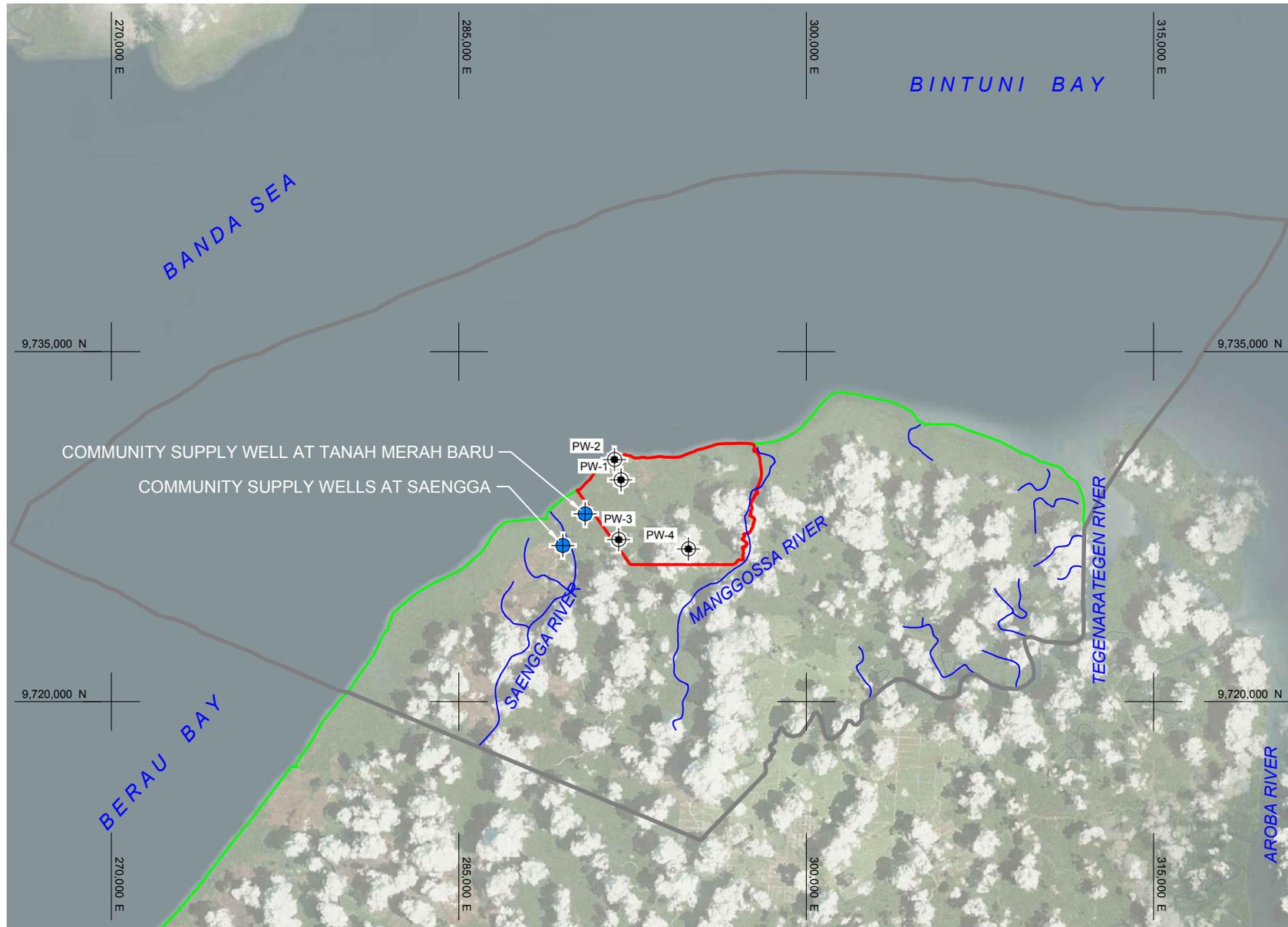
- Qa - Alluvial Sediments
- TQss - Steenkool Formation Sand Dominated
- TQsm - Steenkool Formation Clay Dominated

- Tangguh property
- Fault



 www.golder.com GOLDER ASSOCIATES	CLIENT	BP BERAU LTD	PROJECT	TANGGUH LNG EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY										
	DRAWN BY	NDL	DATE	6/03/2014	DRAWING TITLE									
CHECKED BY	CW	DATE	6/03/2014	<b>1 : 250,000 SCALE REGIONAL GEOLOGY</b>										
SCALE	1:150,000	SHEET SIZE	A4	PROJECT No	138716004	DOC No	015	DOC TYPE	F	FIGURE No	003	REVISION	1	FIGURE 3

© GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) INFORMATION CONTAINED ON THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA). UNAUTHORISED USE OR REPRODUCTION OF THIS PLAN EITHER WHOLLY OR IN PART WITHOUT WRITTEN PERMISSION IN HEREBY IS PROHIBITED.



**LEGEND**

-  MODELLED PUMPING WELL LOCATIONS
-  COMMUNITY WATER WELL LOCATION
-  RIVER
-  MODEL DOMAIN
-  COASTLINE
-  TANGGUH PROPERTY

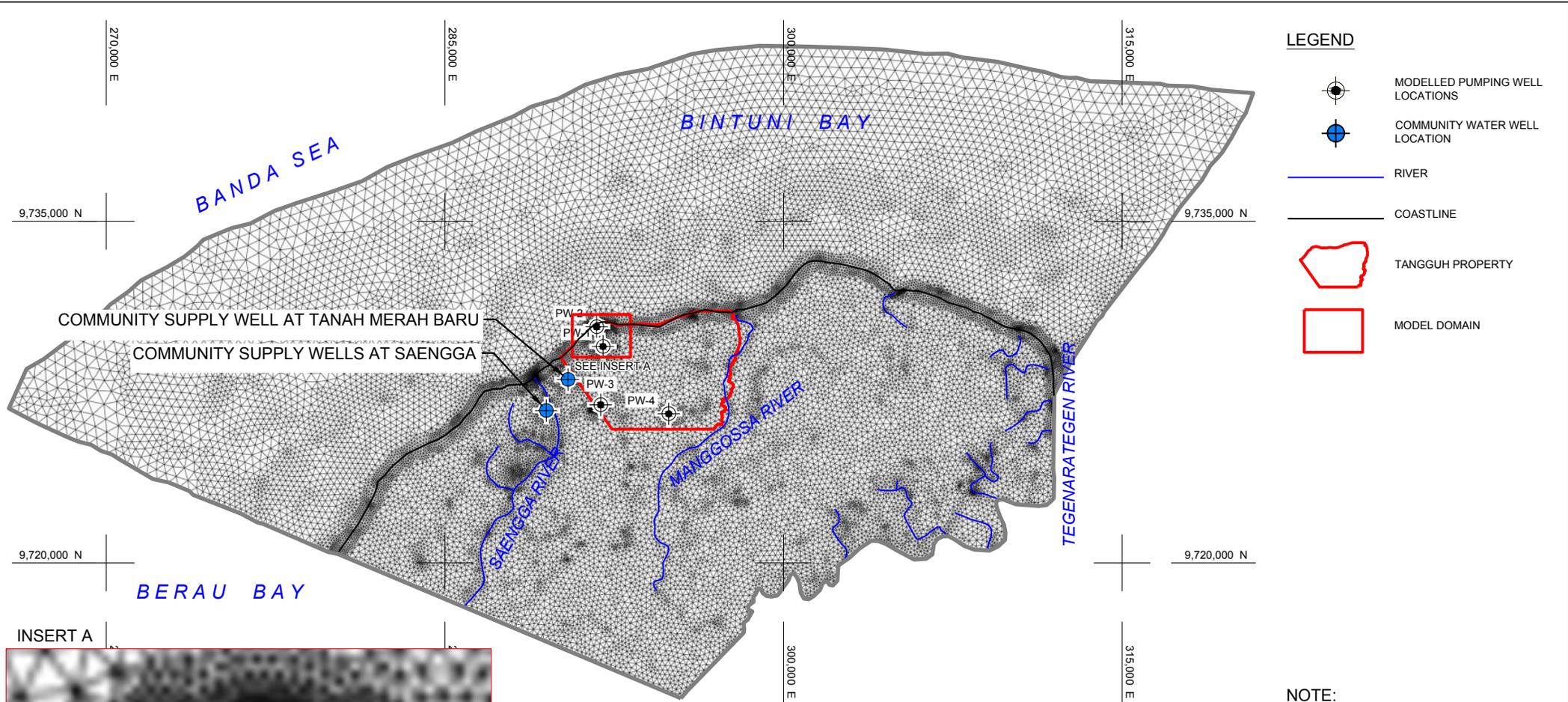
**NOTE:**  
COORDINATE SYSTEM WGS 1984 UTM ZONE 53S

COPYRIGHT:  
MICROSOFT PRODUCT SCREEN SHOT (BING TM)  
REPRINTED WITH PERMISSION FROM MICROSOFT CORPORATION.



 www.golder.com GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)	CLIENT <b>BP BERAU LTD</b>		PROJECT <b>TANGGUH EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>					
	DRAWN BY DS	DATE 06.03.2014	DRAWING TITLE <b>GROUNDWATER MODEL DOMAIN</b>					
	CHECKED BY CW	DATE 06.03.2014						
	SCALE AS SHOWN	SHEET SIZE A4	PROJECT No 138716004	DOC No 015	DOC TYPE F	FIGURE No F004	REVISION 1	FIGURE 4

© GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) INFORMATION CONTAINED ON THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA). UNAUTHORISED USE OR REPRODUCTION OF THIS PLAN EITHER WHOLLY OR IN PART WITHOUT WRITTEN PERMISSION IS EXPRESSLY FORBIDDEN.

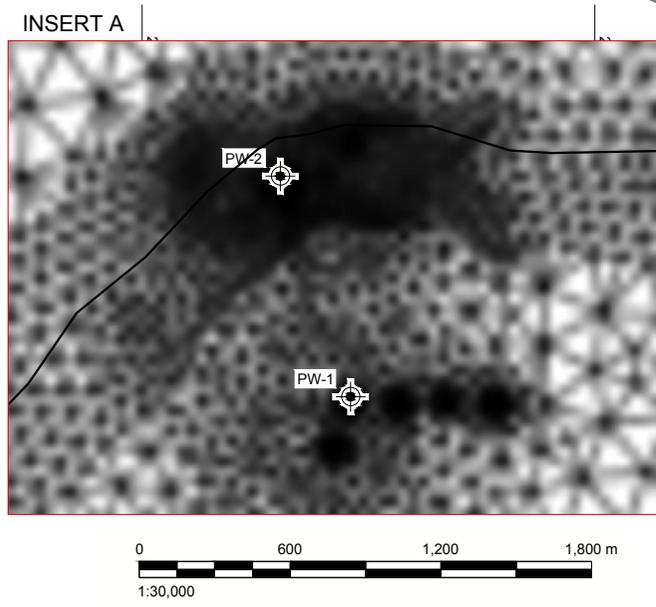


**LEGEND**

- MODELLED PUMPING WELL LOCATIONS
- COMMUNITY WATER WELL LOCATION
- RIVER
- COASTLINE
- TANGGUH PROPERTY
- MODEL DOMAIN

**NOTE:**  
 COORDINATE SYSTEM WGS 1984 UTM ZONE 53S

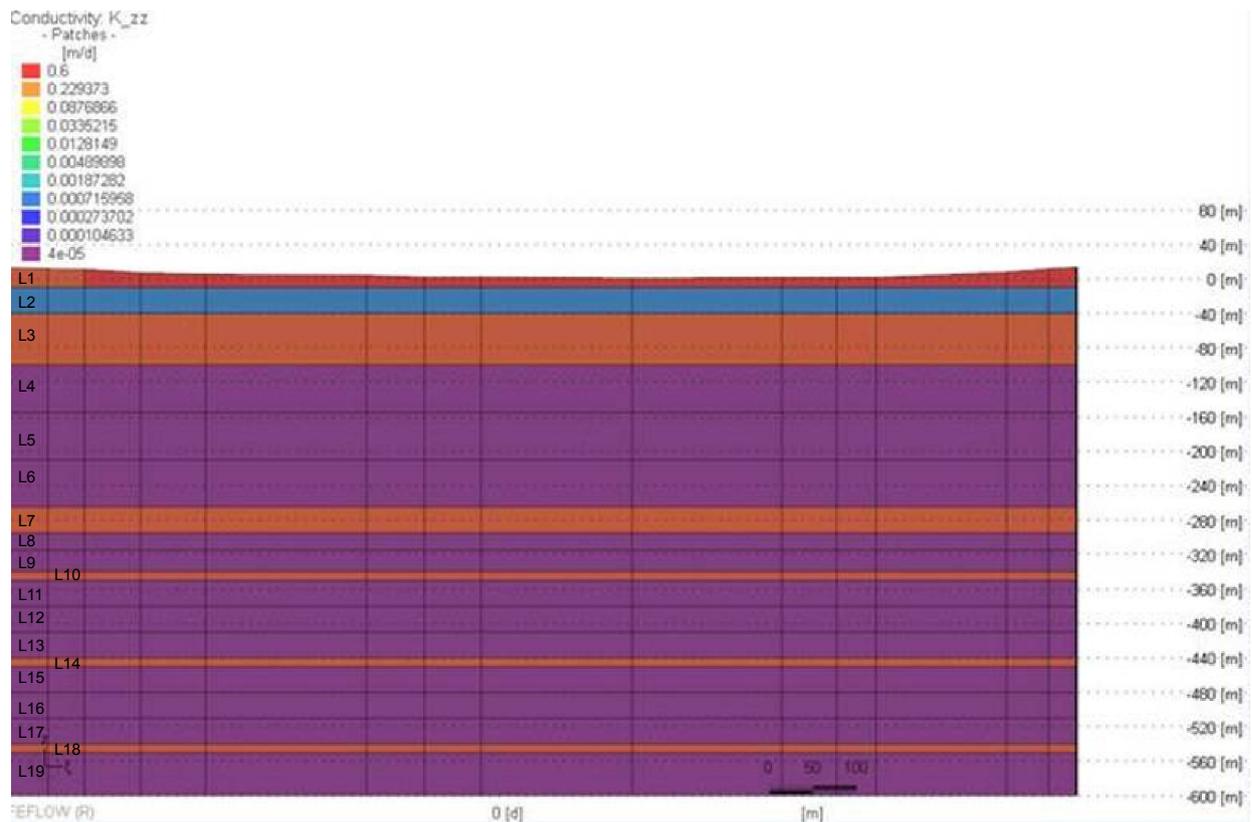
COPYRIGHT:  
 MICROSOFT PRODUCT SCREEN SHOT (BING TM)  
 REPRINTED WITH PERMISSION FROM MICROSOFT CORPORATION.



 www.golder.com GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)	CLIENT <b>BP BERAU LTD</b>		PROJECT <b>TANGGUH EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>					
	DRAWN BY DS	DATE 03.03.2014	DRAWING TITLE <b>NUMERICAL GROUNDWATER MODEL MESH DISCRETISATION</b>					
	CHECKED BY CW	DATE 03.03.2014						
	SCALE AS SHOWN		SHEET SIZE A4	PROJECT No 138716004	DOC No 015	DOC TYPE F	FIGURE No F005	REVISION 1

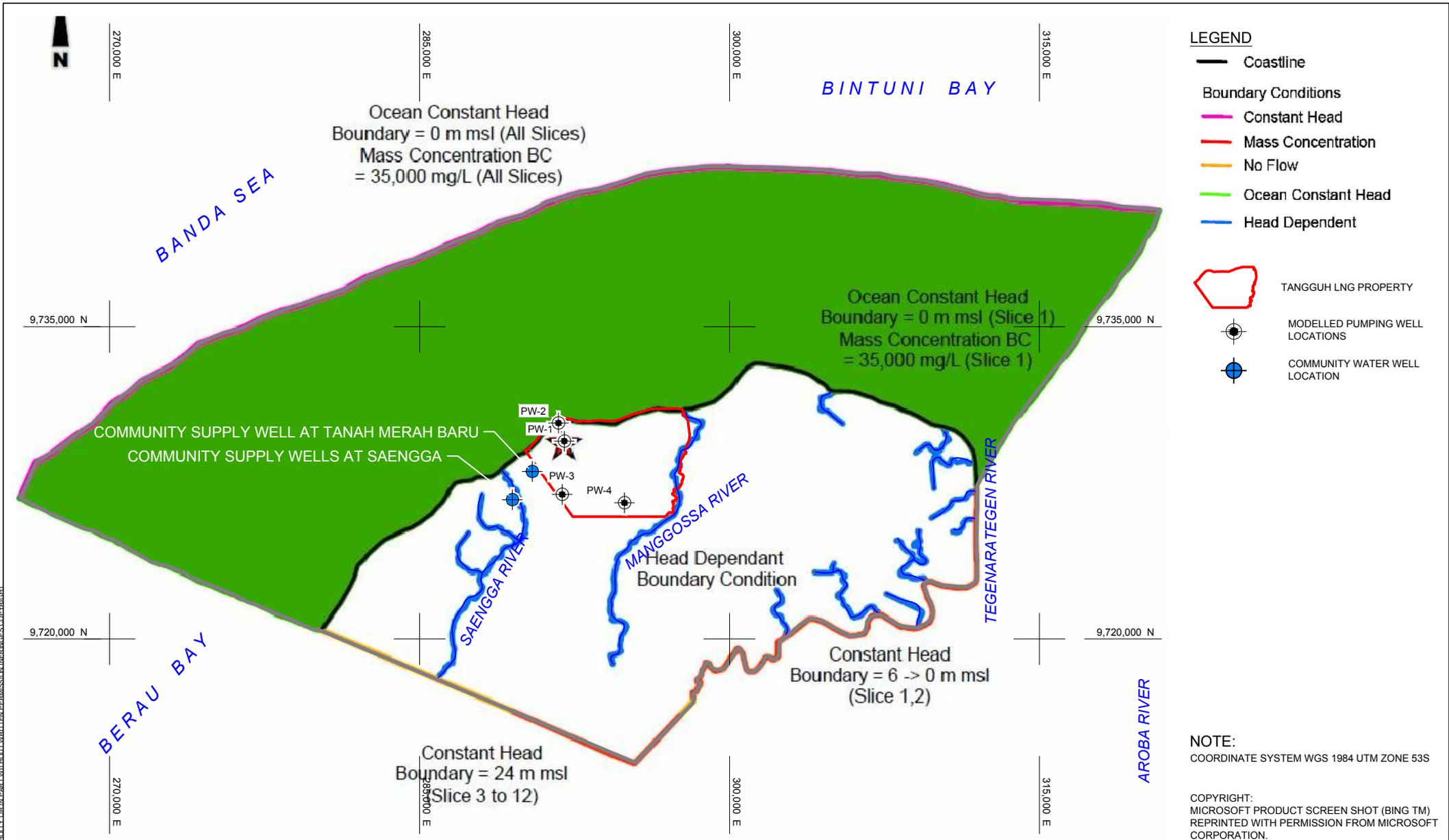
Hydrostratigraphic Unit	Model Layer	Hydraulic Properties				Thickness (m)
		$K_x$ & $K_y$ (m/d)	$K_z$ (m/d)	$S_y$	$S_s$ (m <sup>-1</sup> )	
Alluvial sediments	1	5.0	5.0	0.5	-	10
Upper Steenkool Formation – clay dominant	2	0.0086	0.00086	-	$3.35 \times 10^{-5}$	30
Upper Steenkool Formation – sand dominant	3	4.0	0.4	-	$5.05 \times 10^{-6}$	60
Upper Steenkool Formation – clay dominant	4	0.0004	0.00004	-	$3.35 \times 10^{-5}$	55
	5	0.0004	0.00004	-	$3.35 \times 10^{-5}$	55
	6	0.0004	0.00004	-	$3.35 \times 10^{-5}$	55
Lower Steenkool Formation – sand dominant	7	4.0	0.4	-	$5.05 \times 10^{-6}$	30
Lower Steenkool Formation – clay dominant	8	0.0004	0.00004	-	$3.35 \times 10^{-5}$	20
	9	0.0004	0.00004	-	$3.35 \times 10^{-5}$	25
Lower Steenkool Formation – sand dominant*	10*	4.0	0.4	-	$5.05 \times 10^{-6}$	10
Lower Steenkool Formation – clay dominant	11	0.0004	0.00004	-	$3.35 \times 10^{-5}$	30
	12	0.0004	0.00004	-	$3.35 \times 10^{-5}$	30
	13	0.0004	0.00004	-	$3.35 \times 10^{-5}$	30
Lower Steenkool Formation – sand dominant*	14*	4.0	0.4	-	$5.05 \times 10^{-6}$	10
Lower Steenkool Formation – clay dominant	15	0.0004	0.00004	-	$3.35 \times 10^{-5}$	30
	16	0.0004	0.00004	-	$3.35 \times 10^{-5}$	30
	17	0.0004	0.00004	-	$3.35 \times 10^{-5}$	30
Lower Steenkool Formation – sand dominant*	18*	4.0	0.4	-	$5.05 \times 10^{-6}$	10
Lower Steenkool Formation – clay dominant	19	0.0004	0.00004	-	$3.35 \times 10^{-5}$	50

Notes: \* unproven aquifer included at the request of Tangguh LNG's Technical Advisor

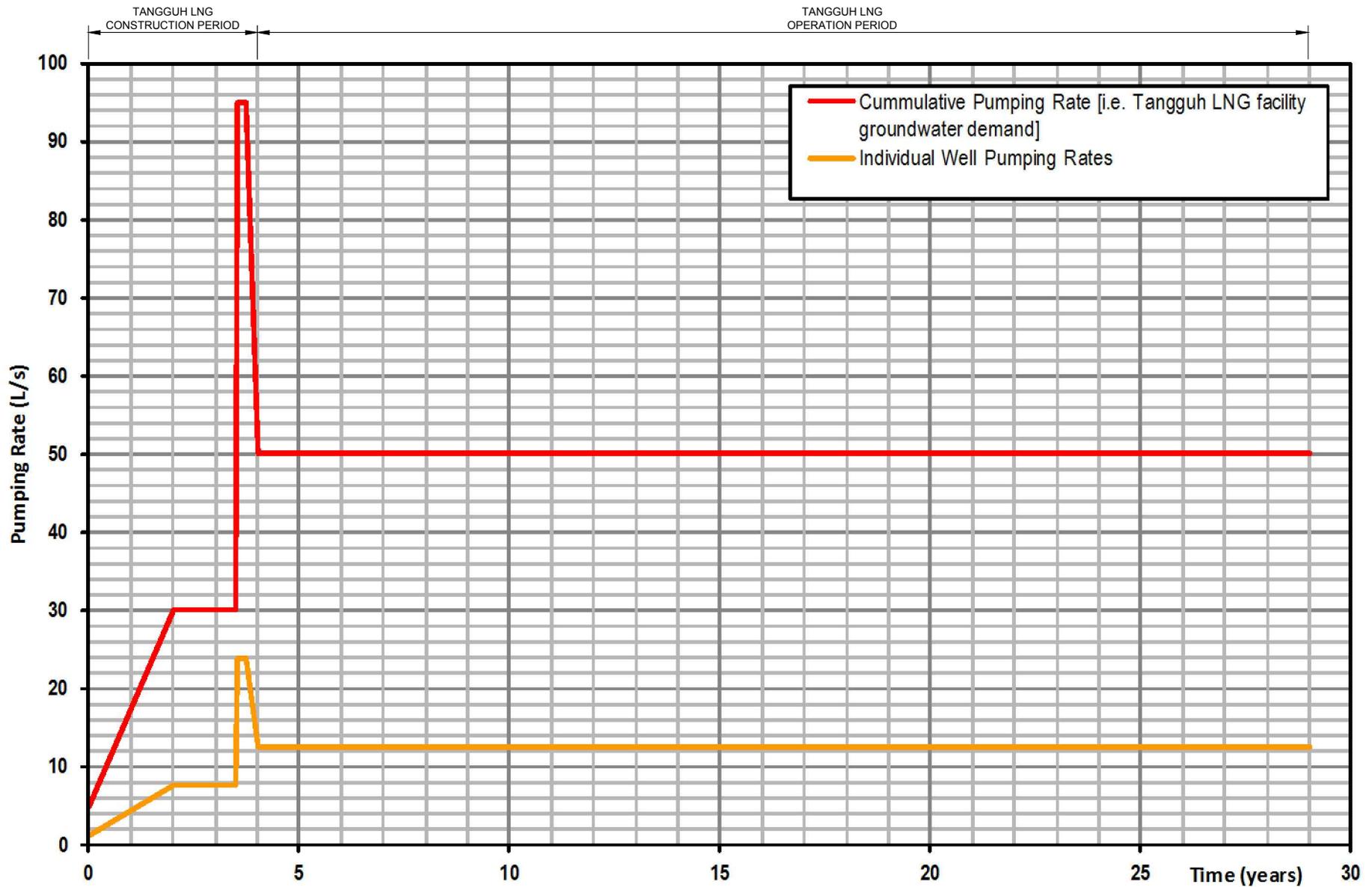


 www.golder.com GOLDER ASSOCIATES	CLIENT <b>BP BERAU LTD</b>		PROJECT <b>TANGGUH LNG EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>						
	DRAWN BY NDL	DATE 6/03/2014	DRAWING TITLE <b>VERTICAL DISCRETISATION OF THE ALLUVIAL AQUIFER AND STEENKOOI FORMATION SHOWING MODELLED HYDRAULIC CONDUCTIVITY VALUES</b>						
	CHECKED BY CW	DATE 6/03/2014							
	SCALE NTS	SHEET SIZE A4	PROJECT No 138716004	DOC No 000	DOC TYPE F	FIGURE No 06	REVISION 1	FIGURE 6	

© GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) INFORMATION CONTAINED ON THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA). UNAUTHORIZED USE OR REPRODUCTION OF THIS PLAN IS ENTIRELY UNLAWFUL WITHOUT WRITTEN PERMISSION. GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) IS THE REGISTERED TRADEMARK OF GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA).

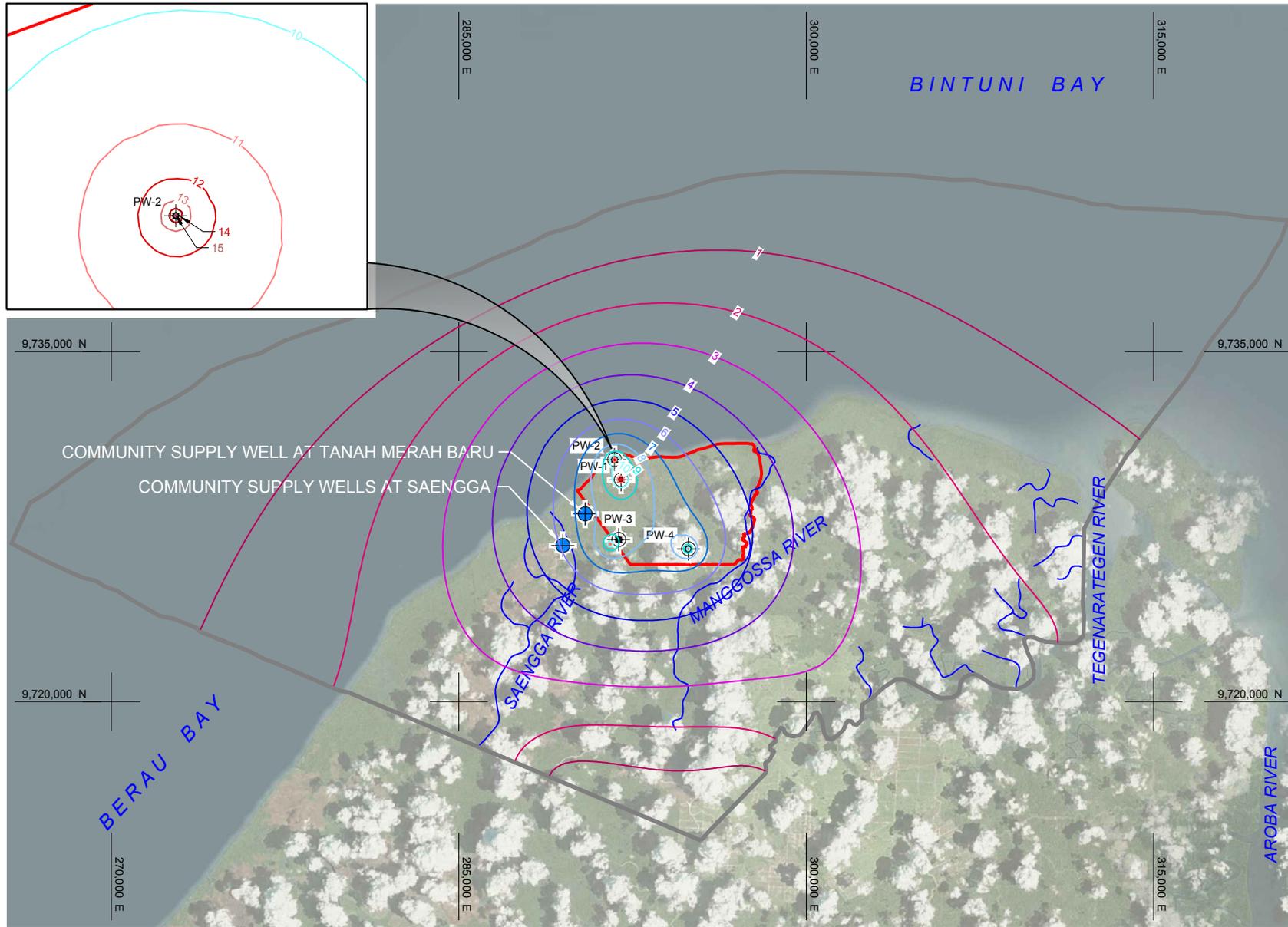


 www.golder.com GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)	CLIENT <b>BP BERAU LTD</b>		PROJECT <b>TANGGUH EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>				
	DRAWN BY DS	DATE 06.03.2014	DRAWING TITLE <b>NUMERICAL GROUNDWATER MODEL BOUNDARY CONDITIONS</b>				
	CHECKED BY CW	DATE 06.03.2014					
	SCALE AS SHOWN	SHEET SIZE A4	PROJECT No 138716004	DOC No 015	DOC TYPE F	FIGURE No F007	REVISION 1



 www.golder.com GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)	CLIENT BP BERAU LTD		PROJECT TANGGUH EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY					
	DRAWN BY DS	DATE 03.03.2014	DRAWING TITLE MODELLED WATER DEMAND AND PUMPING RATES					
	CHECKED BY CW	DATE 03.03.2014						
SCALE AS SHOWN	SHEET SIZE A4	PROJECT No 138716004	DOC No 015	DOC TYPE F	FIGURE No F008	REVISION 1	FIGURE 8	

© GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) INFORMATION CONTAINED ON THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA). UNAUTHORISED USE OR REPRODUCTION OF THIS PLAN EITHER WHOLLY OR IN PART WITHOUT WRITTEN PERMISSION INHERES COPYRIGHT.



**LEGEND**

- MODELLED PUMPING WELL LOCATIONS
- COMMUNITY WATER WELL LOCATION
- RIVER
- MODEL DOMAIN
- TANGGUH PROPERTY

**DRAWDOWN (m)**

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16

DRAWDOWN BASED ON PROPOSED PUMPING RATE WITHIN LOWER STEENKOOL AQUIFER

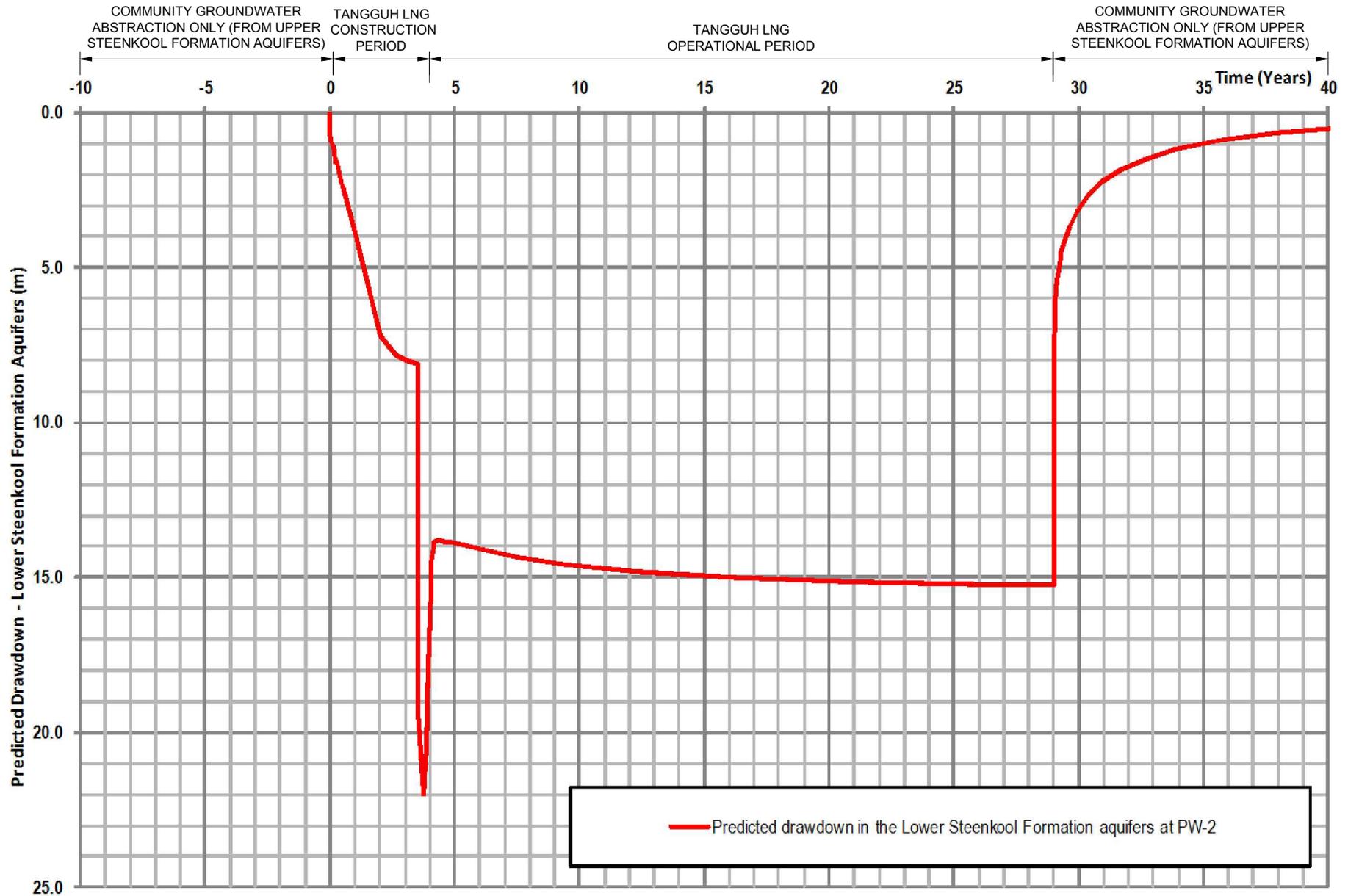
**NOTE:**  
COORDINATE SYSTEM WGS 1984 UTM ZONE 53S

COPYRIGHT:  
MICROSOFT PRODUCT SCREEN SHOT (BING TM)  
REPRINTED WITH PERMISSION FROM MICROSOFT CORPORATION.



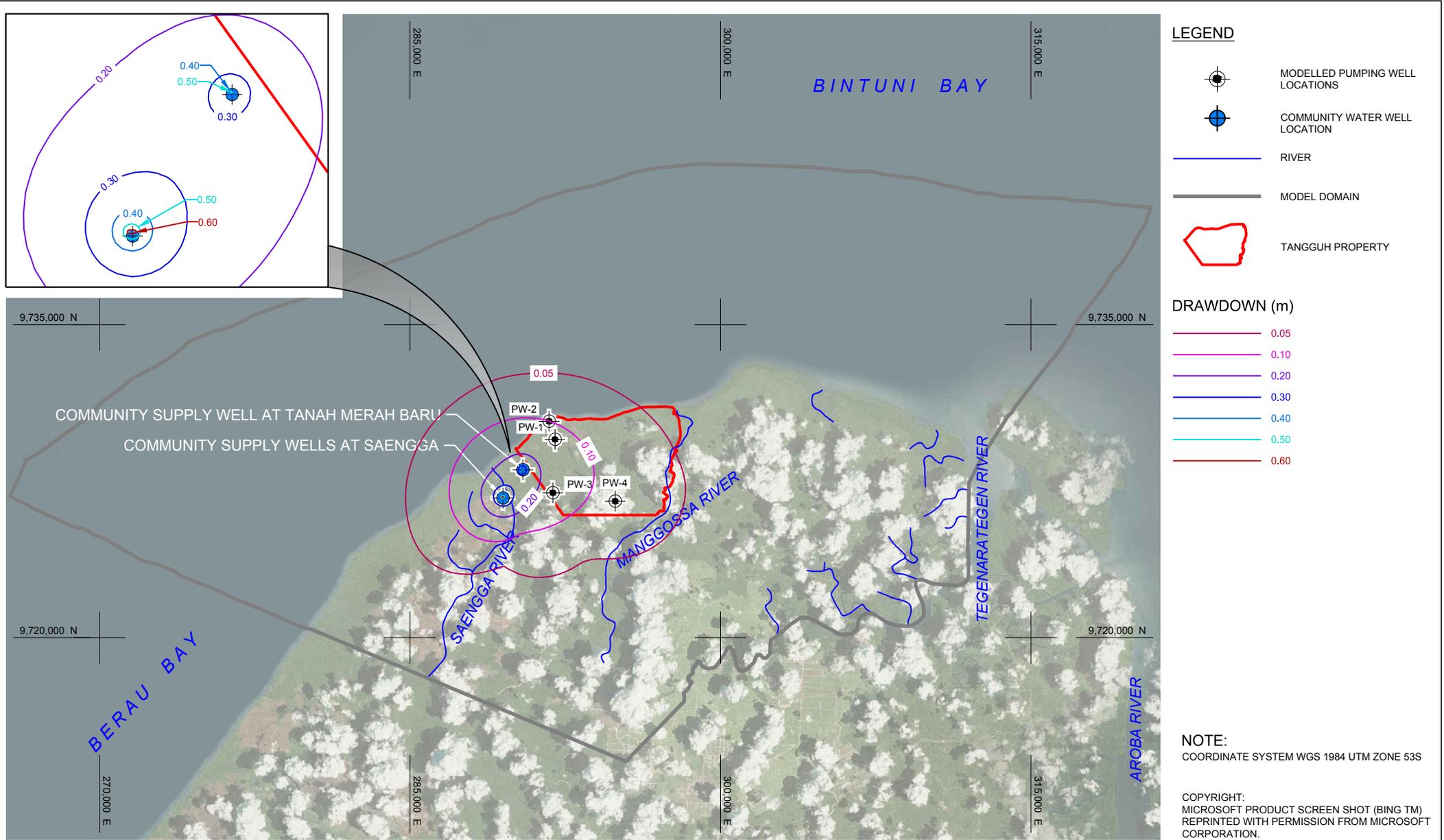
 www.golder.com GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)	CLIENT <b>BP BERAU LTD</b>		PROJECT <b>TANGGUH EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>				
	DRAWN BY DS	DATE 03.03.2014	DRAWING TITLE <b>CALCULATED 29 YEAR DRAWDOWN WITHIN LOWER STEENKOOL FORMATION AQUIFER BASED ON PROPOSED PUMPING RATE WITHIN THE LOWER STEENKOOL FORMATION AQUIFER</b>				
	CHECKED BY CW	DATE 03.03.2014					
	SCALE AS SHOWN	SHEET SIZE A4	PROJECT No 138716004	DOC No 015	DOC TYPE F	FIGURE No F009	REVISION 1
<b>FIGURE 9</b>							

© GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) INFORMATION CONTAINED ON THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA). UNAUTHORISED USE OR REPRODUCTION OF THIS PLAN EITHER WHOLLY OR IN PART WITHOUT WRITTEN PERMISSION IN HEREBY IS PROHIBITED.



 www.golder.com GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)	CLIENT <b>BP BERAU LTD</b>		PROJECT <b>TANGGUH EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>					
	DRAWN BY DS	DATE 08.04.2014	DRAWING TITLE <b>PREDICTED WATER LEVEL CHANGES IN THE LOWER STEENKOO L FORMATION AT PW-2 DUE TO PLANNED BP ABSTRACTIONS FROM THE LOWER STEENKOO L FORMATION AQUIFERS</b>					
	CHECKED BY CW	DATE 08.04.2014	PROJECT No <b>138716004</b>	DOC No <b>015</b>	DOC TYPE <b>F</b>	FIGURE No <b>F010</b>	REVISION <b>2</b>	<b>FIGURE 10</b>
	SCALE <b>AS SHOWN</b>		SHEET SIZE <b>A4</b>					

GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) INFORMATION CONTAINED ON THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) UNAUTHORISED USE OR REPRODUCTION OF THIS PLAN EITHER WHOLLY OR IN PART WITHOUT WRITTEN PERMISSION INFRINGES COPYRIGHT



- LEGEND**
- MODELLED PUMPING WELL LOCATIONS
  - COMMUNITY WATER WELL LOCATION
  - RIVER
  - MODEL DOMAIN
  - TANGGUH PROPERTY

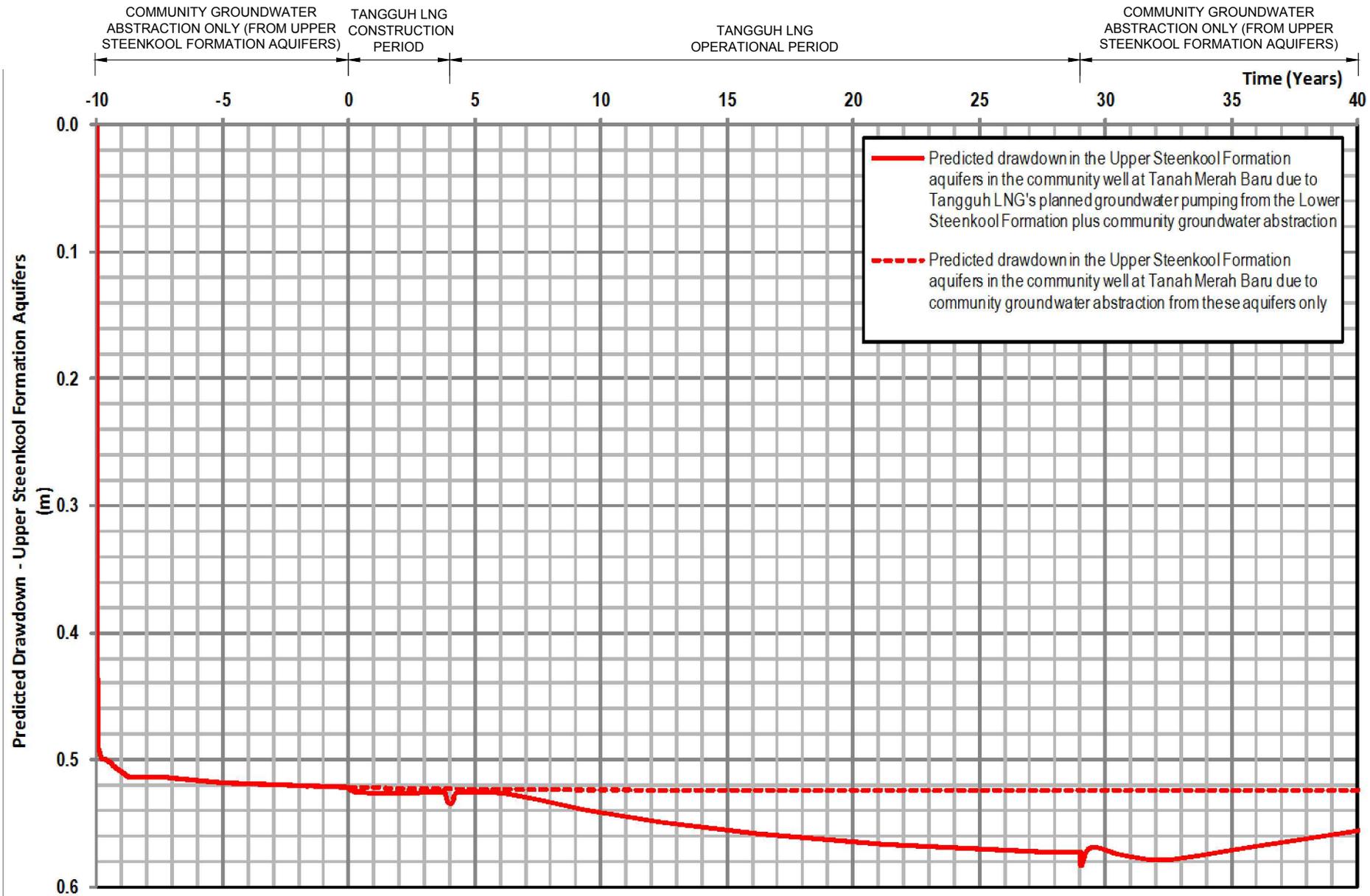
- DRAWDOWN (m)**
- 0.05
  - 0.10
  - 0.20
  - 0.30
  - 0.40
  - 0.50
  - 0.60

**NOTE:**  
 COORDINATE SYSTEM WGS 1984 UTM ZONE 53S

**COPYRIGHT:**  
 MICROSOFT PRODUCT SCREEN SHOT (BING TM)  
 REPRINTED WITH PERMISSION FROM MICROSOFT CORPORATION.

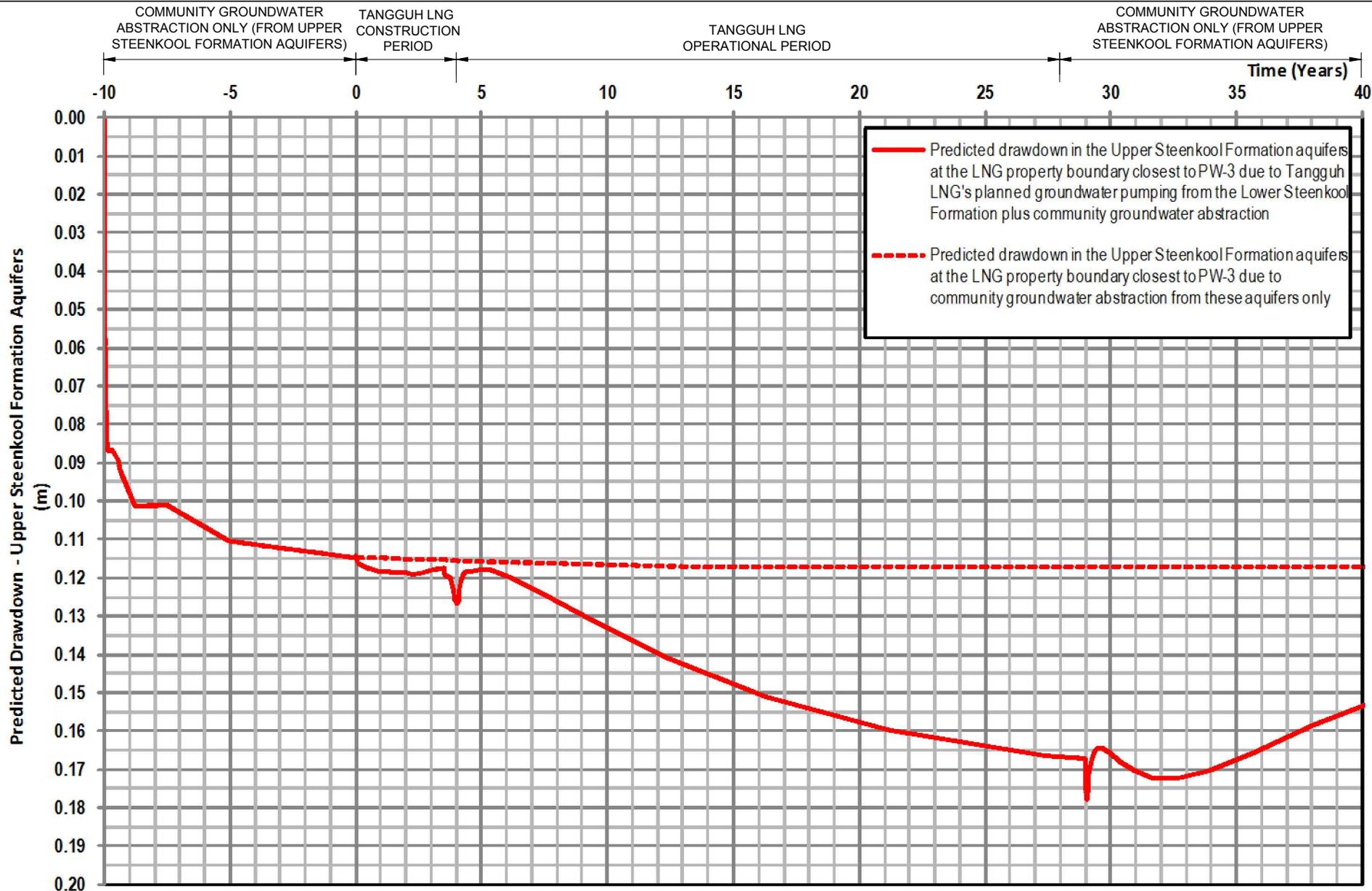


 GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)	<b>KLIEN</b>		<b>BP BERAU LTD</b>		<b>PROYEK</b>		<b>TANGGUH EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>													
	DIGAMBAR OLEH	DS	TANGGAL	07.03.2014	JUDUL GAMBAR	CALCULATED 29 YEAR DRAWDOWN WITHIN UPPER STEENKOOL FORMATION AQUIFER BASED ON PROPOSED TANGGUH LNG PUMPING RATE WITHIN THE LOWER STEENKOOL FORMATION AQUIFER AND GROUNDWATER PUMPING FROM THE WATER SUPPLY WELLS AT TANAH MERAH BARU AND SAENGGGA														
DIPERIKSA OLEH	CW	TANGGAL	07.03.2014		SKALA	AS SHOWN		UKURAN	A4	NOMOR PROYEK	138716004	NOMOR DOKUMEN	015	TIPE DOKUMEN	F	NOMOR GAMBAR	F011	REVISI	1	FIGURE 11



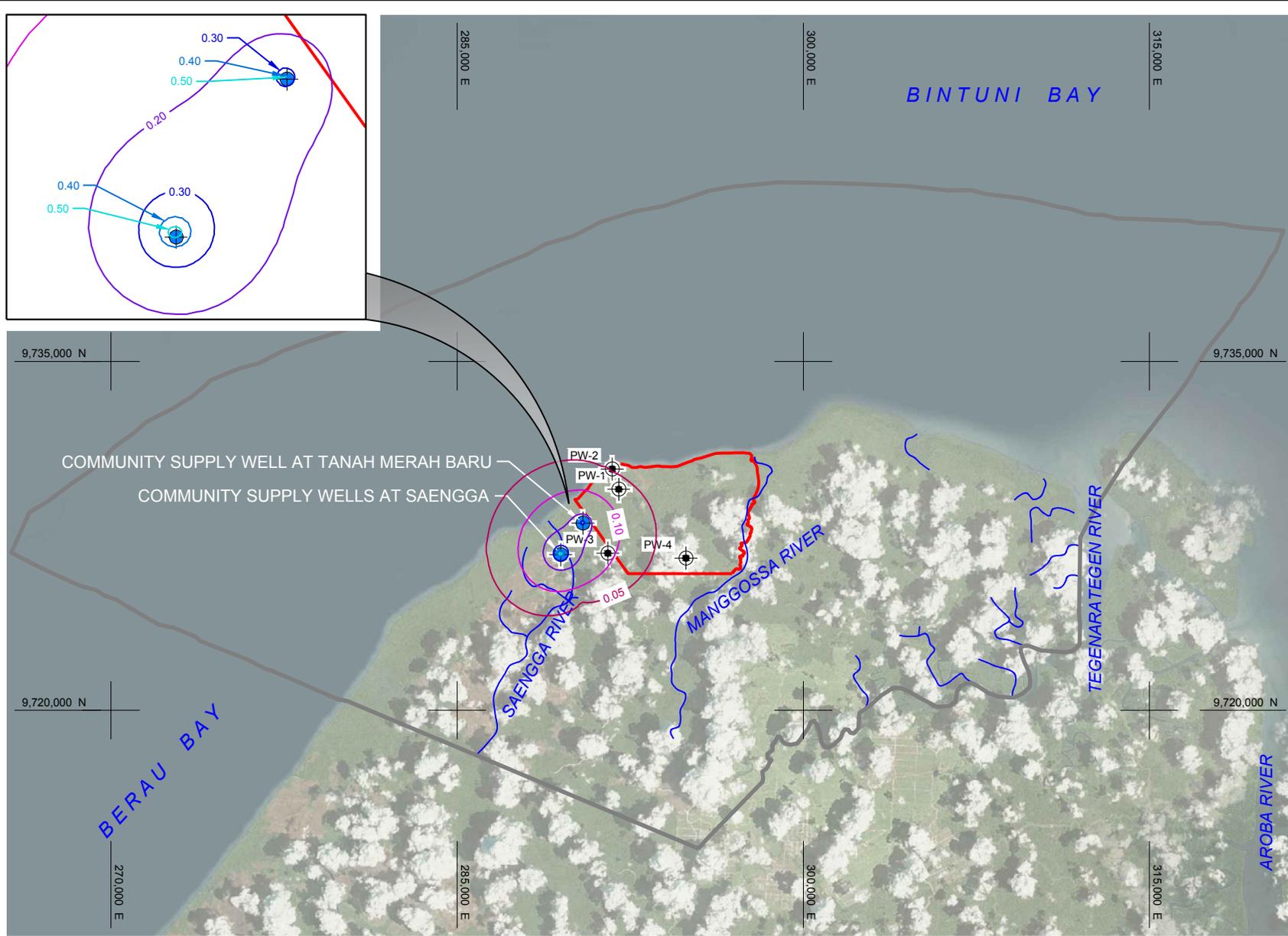
 www.golder.com GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)	CLIENT <b>BP BERAU LTD</b>		PROJECT <b>TANGGUH EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>								
	DRAWN BY DS	DATE 08.04.2014	DRAWING TITLE <b>PREDICTED WATER LEVEL CHANGES IN THE UPPER STEENKOOL FORMATION AT THE COMMUNITY SUPPLY WELL AT TANAH MERAH BARU</b>								
	CHECKED BY CW	DATE 08.04.2014	SCALE AS SHOWN		SHEET SIZE A4	PROJECT No 138716004	DOC No 015	DOC TYPE F	FIGURE No F012	REVISION 2	FIGURE 12

© GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) INFORMATION CONTAINED ON THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA). UNAUTHORISED USE OR REPRODUCTION OF THIS PLAN EITHER WHOLLY OR IN PART WITHOUT WRITTEN PERMISSION IS STRICTLY PROHIBITED.



 www.golder.com GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)	CLIENT <b>BP BERAU LTD</b>		PROJECT <b>TANGGUH EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>								
	DRAWN BY DS	DATE 08.04.2014	DRAWING TITLE <b>PREDICTED WATER LEVEL CHANGES IN THE UPPER STEENKOOL FORMATION AT THE TANGGUH LNG PROPERTY BOUNDARY NEAR PW-3</b>								
	CHECKED BY CW	DATE 08.04.2014	SCALE AS SHOWN		SHEET SIZE A4	PROJECT No 138716004	DOC No 015	DOC TYPE F	FIGURE No F013	REVISION 2	FIGURE 13

GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) INFORMATION CONTAINED ON THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) UNAUTHORISED USE OR REPRODUCTION OF THIS PLAN EITHER WHOLLY OR IN PART WITHOUT WRITTEN PERMISSION INFRINGES COPYRIGHT



**LEGEND**

- PUMPING WELL LOCATIONS
- PROPOSED WELLS
- RIVER
- MODEL DOMAIN
- TANGGUH PROPERTY

**DRAWDOWN (m)**

- 0.05
- 0.10
- 0.20
- 0.30
- 0.40
- 0.50
- 0.60

ESTIMATED MAXIMUM DRAWDOWN OF 0.57 m IN COMMUNITY SUPPLY WELL AT TANAH MERAH BARU.

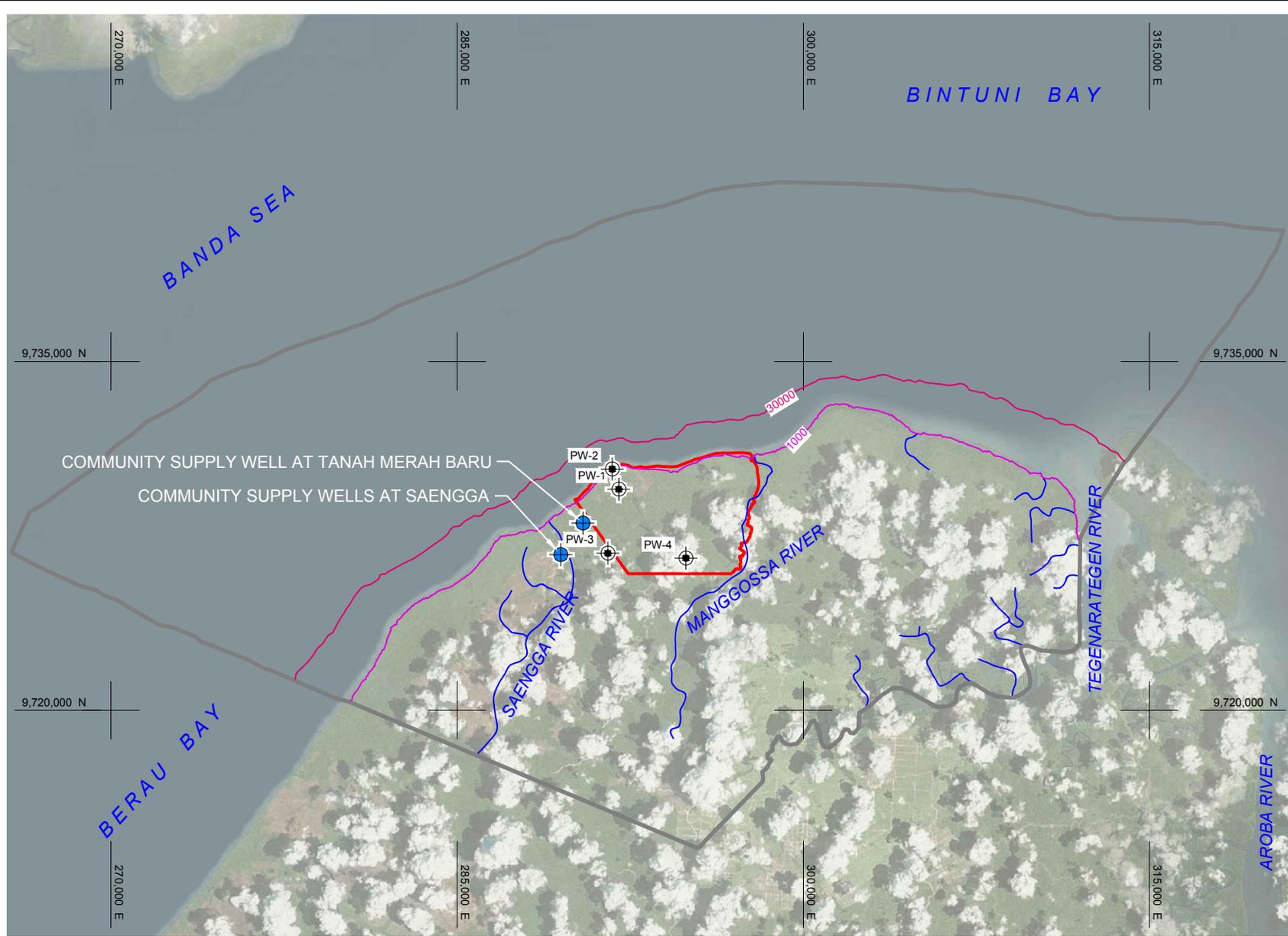
**NOTE:**  
COORDINATE SYSTEM WGS 1984 UTM ZONE 53S

COPYRIGHT:  
MICROSOFT PRODUCT SCREEN SHOT (BING TM)  
REPRINTED WITH PERMISSION FROM MICROSOFT CORPORATION.



<p>GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL &amp; ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)</p> <p>www.golder.com</p>	<b>CLIENT</b> BP BERAU LTD		<b>PROJECT</b> TANGGUH EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY							
	<b>DRAWN BY</b> DS	<b>DATE</b> 07.03.2014	<b>DRAWING TITLE</b> CALCULATED 29 YEARS DRAWDOWN WITHIN UPPER STEENKOOL FORMATION AQUIFER BASED ON COMMUNITY PUMPING ONLY							
<b>CHECKED BY</b> CW	<b>DATE</b> 07.03.2014	<b>SCALE</b> AS SHOWN		<b>SHEET SIZE</b> A4	<b>PROJECT No</b> 138716004	<b>DOC No</b> 015	<b>DOC TYPE</b> F	<b>FIGURE No</b> F014	<b>REVISION</b> 1	<b>FIGURE 14</b>

GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) INFORMATION CONTAINED ON THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) UNAUTHORISED USE OR REPRODUCTION OF THIS PLAN EITHER WHOLLY OR IN PART WITHOUT WRITTEN PERMISSION IN INDONESIAN COPYRIGHT



**LEGEND**

- MODELLED PUMPING WELL LOCATIONS
- COMMUNITY WATER WELL LOCATION
- RIVER
- MODEL DOMAIN
- TANGGUH PROPERTY

**SALINITY (mg/L)**

- 30000
- 1000

**NOTE:**  
 COORDINATE SYSTEM WGS 1984 UTM ZONE 53S

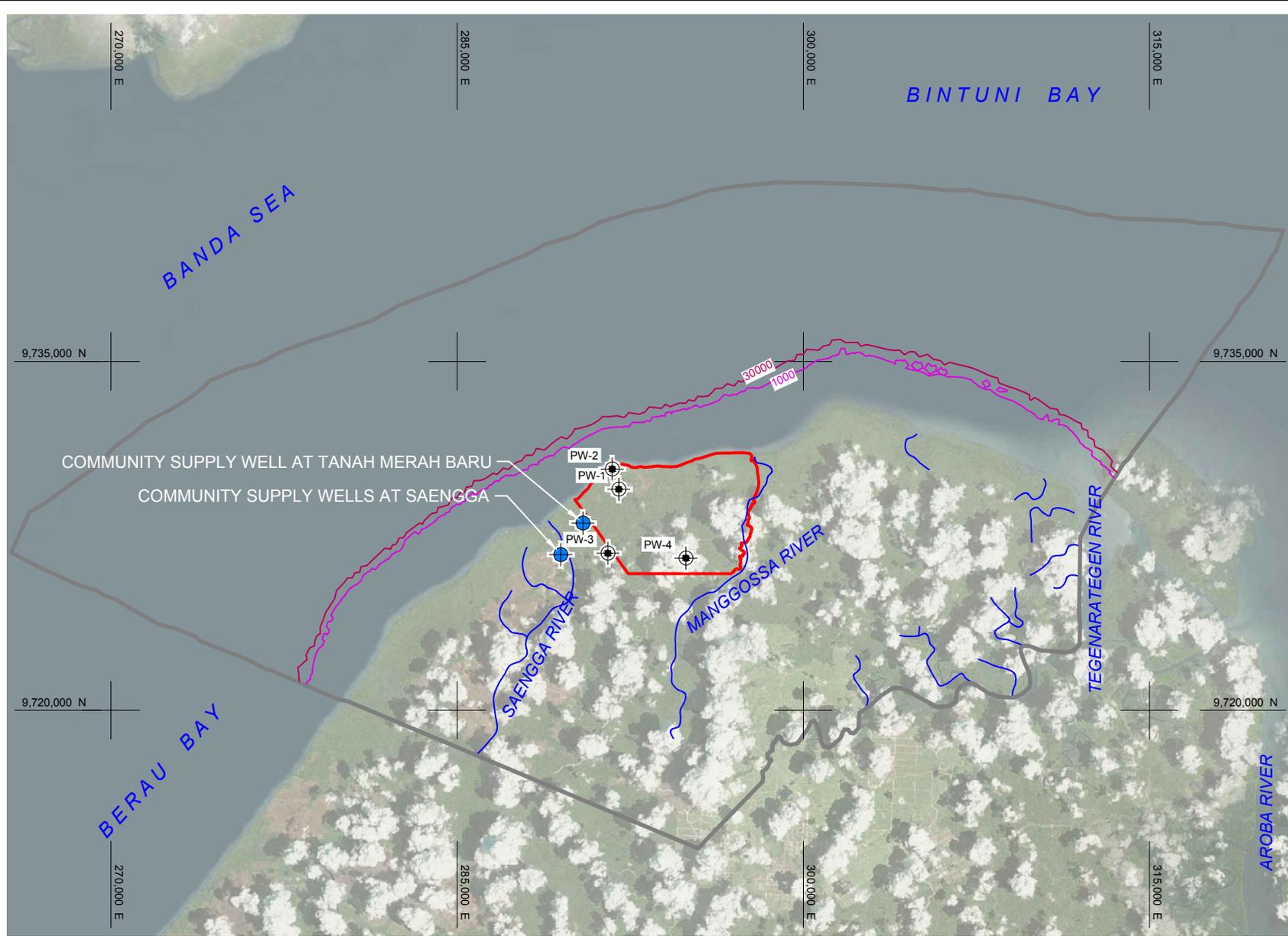
COPYRIGHT:  
 MICROSOFT PRODUCT SCREEN SHOT (BING TM)  
 REPRINTED WITH PERMISSION FROM MICROSOFT CORPORATION.



www.golder.com  
 GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)

CLIENT <b>BP BERAU LTD</b>		PROJECT <b>TANGGUH EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>			
DRAWN BY DS	DATE 07.03.2014	DRAWING TITLE <b>MASS CONCENTRATION ISOLINES SHOWING PREDICTED SALINITY CONCENTRATIONS IN THE UPPER STEENKOOL FORMATION AQUIFERS AFTER 29 YEARS OF PUMPING FROM BOTH COMMUNITY WELLS AND TANGGUH LNG'S PROPOSED GROUNDWATER WELLS</b>			
CHECKED BY CW	DATE 07.03.2014				
SCALE AS SHOWN	SHEET SIZE A4	PROJECT No 138716004	DOC No 015	DOC TYPE F	FIGURE No F015
		REVISION 1	FIGURE 15		

GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) INFORMATION CONTAINED ON THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) UNAUTHORISED USE OR REPRODUCTION OF THIS PLAN EITHER WHOLLY OR IN PART WITHOUT WRITTEN PERMISSION INFRINGES COPYRIGHT



**LEGEND**

- MODELLED PUMPING WELL LOCATIONS
- COMMUNITY WATER WELL LOCATION
- RIVER
- MODEL DOMAIN
- TANGGUH PROPERTY

**SALINITY (mg/L)**

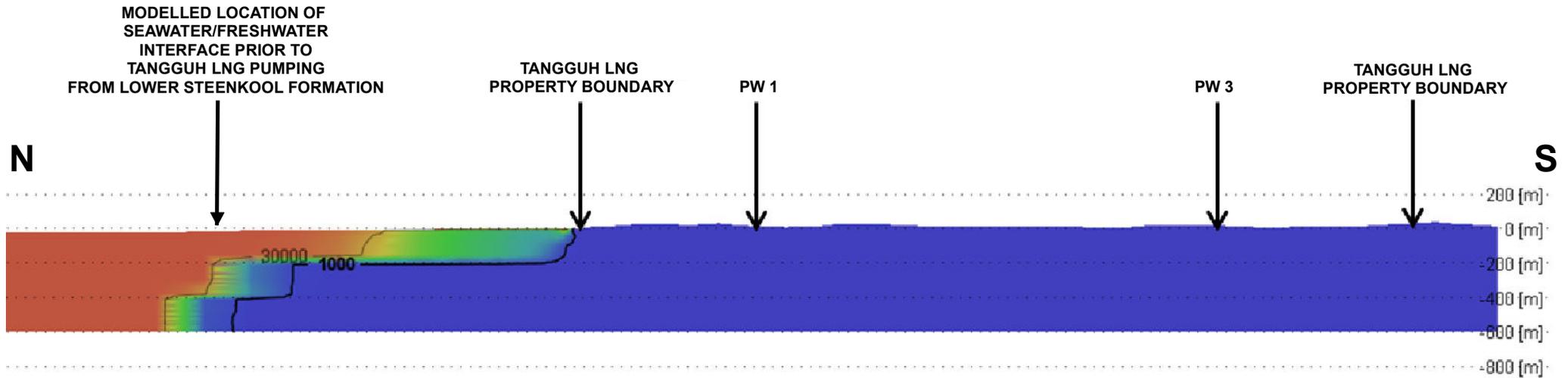
- 30000
- 1000

**NOTE:**  
 COORDINATE SYSTEM WGS 1984 UTM ZONE 53S

**COPYRIGHT:**  
 MICROSOFT PRODUCT SCREEN SHOT (BING TM)  
 REPRINTED WITH PERMISSION FROM MICROSOFT CORPORATION.



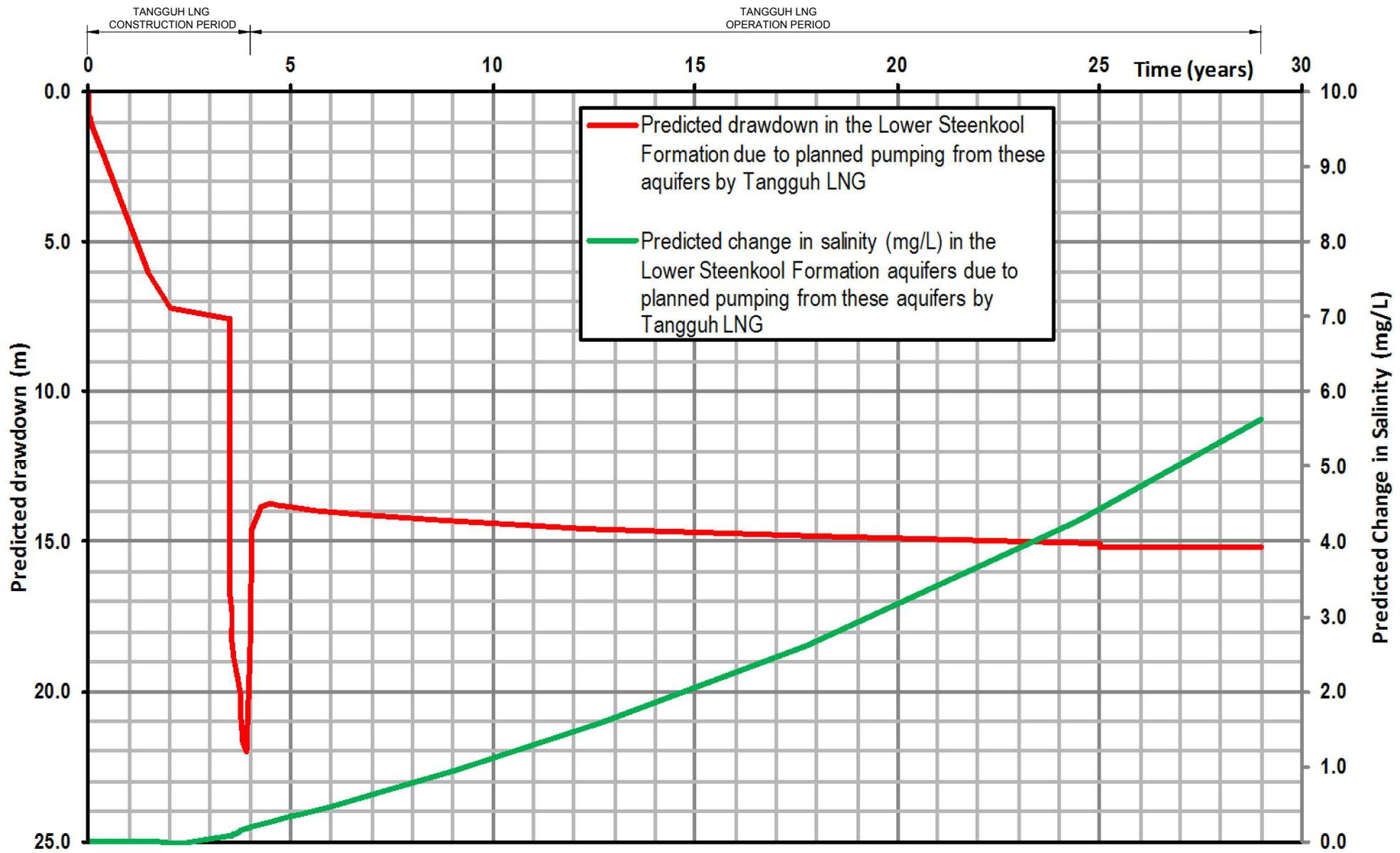
 www.golder.com GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)	CLIENT <b>BP BERAU LTD</b>		PROJECT <b>TANGGUH EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>				
	DRAWN BY DS	DATE 07.03.2014	DRAWING TITLE <b>MASS CONCENTRATION ISOLINES SHOWING PREDICTED SALINITY CONCENTRATIONS IN THE LOWER STEENKOOL FORMATION AQUIFERS AFTER 29 YEARS OF PUMPING FROM BOTH COMMUNITY WELLS AND TANGGUH LNG'S PROPOSED GROUNDWATER WELLS</b>				
	CHECKED BY CW	DATE 07.03.2014					
	SCALE AS SHOWN	SHEET SIZE A4	PROJECT No 138716004	DOC No 015	DOC TYPE F	FIGURE No F016	REVISION 1



Salinity (mg/L)  
—— 30,000

 www.golder.com GOLDR ASSOCIATES	CLIENT <b>BP BERAU LTD</b>		PROJECT <b>TANGGUH LNG EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY</b>				
	DRAWN BY NDL	DATE 10/04/2014	DRAWING TITLE <b>SALINITY CROSS SECTION AT TANGGUH LNG FACILITY AND BINTUNI BAY AFTER 29 YEARS OF PUMPING</b>				
	CHECKED BY CW	DATE 10/04/2014					
	SCALE NTS	SHEET SIZE A4	PROJECT No 138716004	DOC No 015	DOC TYPE F	FIGURE No 17	REVISION 0

© GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA) INFORMATION CONTAINED ON THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA). UNAUTHORIZED USE OR REPRODUCTION OF THIS PLAN IS ENTIRELY UNLAWFUL WITHOUT WRITTEN PERMISSION FROM GOLDER ASSOCIATES.



 www.golder.com GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)	CLIENT BP BERAU LTD		PROJECT TANGGUH EXPANSION PROJECT - GROUNDWATER STUDY					
	DRAWN BY DS	DATE 06.03.2014	DRAWING TITLE PREDICTED CHANGE IN SALINITY (mg/L) IN THE LOWER STEENKOOL FORMATION AT PW-2 DUE TO PLANNED PUMPING FROM THESE AQUIFERS BY TANGGUH LNG					
	CHECKED BY CW	DATE 06.03.2014						
	SCALE AS SHOWN	SHEET SIZE A4	PROJECT No 138716004	DOC No 015	DOC TYPE F	FIGURE No F018	REVISION 1	FIGURE 18

# TECHNICAL MEMORANDUM

---

**DATE** 16 April 2014

**REFERENCE No.** 138716004-016-TM-Rev2

**TO** Rustam Effendi  
BP Berau Ltd

**CC** Lidia Ahmad

**FROM** Budi Satriyo  
Geoff Perryman

**EMAIL** bsatriyo@golder.co.id  
gperryman@golder.co.id

## **PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH LNG – STUDI AIR TANAH ANALISIS AWAL AMBLASAN AKIBAT PENGAMBILAN AIR TANAH**

---

### **1.0 PENDAHULUAN**

Golder telah melaksanakan analisis awal penurunan untuk memperkirakan amblasan tanah potensial di lokasi fasilitas Tangguh LNG (lihat **Gambar 1**) akibat rencana pengambilan air tanah dari 4 sumur produksi rencana. Dalam penilaian awal ini, kami menggunakan data yang diberikan oleh Tangguh LNG bersama dengan detail-detail dari model air tanah konseptual dan perubahan-perubahan tinggi muka air tanah prediksi selama 29 tahun (termasuk 4 tahun untuk tahap konstruksi ditambah dengan 25 tahun untuk tahap operasi) dari pemodelan air tanah sementara yang dilaksanakan bagi Proyek Pengembangan Tangguh LNG Studi Air tanah. Analisis penurunan dilakukan berdasarkan teori geoteknik yang umum digunakan untuk menghitung penurunan-penurunan akibat perubahan tegangan efektif dalam profil tanah yang diakibatkan oleh perubahan-perubahan pada akuifer dan tekanan pori akuitar.

Setelah pengambilan air tanah terakhir, muka air tanah dan tekanan pori (*pore pressures*) yang terkait akan meningkat dan karena itu akan mengakibatkan penurunan tegangan efektif dalam tanah yang menghasilkan pantulan sebagian (*partial rebound*).

### **2.0 LATAR BELAKANG TEORI**

Penurunan terjadi pada tanah bawah permukaan (*soils subsurface*) akibat perubahan tegangan efektif yang dalam hal ini, dipengaruhi oleh penurunan tekanan pori air tanah baik pada akuifer tertekan maupun pada akuitar dalam Formasi *Steenkool* bagian Atas dan Bawah. Penurunan pada tekanan pori akuifer akibat pemindahan air tanah secara efektif menaikkan tegangan efektif pada setiap lapisan tanah tersebut yang menghasilkan penurunan.

Analisis penurunan telah memperhitungkan kompresi baik pada akuifer maupun pada akuitar yang teridentifikasi dalam model hidrogeologi konseptual untuk lokasi di mana akuifer terdiri dari lapisan-lapisan pasir atau lanau kepasiran yang secara relatif tembus air, sedangkan akuitar terdiri dari lapisan-lapisan lanau dan lempung dengan tingkat permeabilitas lebih rendah.

Kompresi lapisan-lapisan tanah sebagai hasil dari menurunnya muka air tanah berlangsung baik pada akuifer maupun pada akuitar; walaupun kompresi pada akuifer yang memiliki permeabilitas yang tinggi pada umumnya berlangsung secara bersamaan dengan pemompaan, sedangkan kompresi pada akuitar yang memiliki permeabilitas yang rendah berlangsung dalam periode waktu yang lama melalui penurunan konsolidasi. Kompresi lapisan-lapisan tanah dihitung dengan menggunakan kombinasi teori elastisitas dan teori konsolidasi dengan menerapkan rumus berikut:

$$\rho_{ult} = \Delta\sigma'_v \left( \frac{D}{E'_0} \right) \quad (1)$$

dimana:  $\rho_{ult}$  □ Kompresi akhir atau penurunan  
 $\Delta\sigma'_v$  □ kenaikan tegangan efektif vertikal  
 $E'_0$  □ kekakuan tanah pada kompresi 1 dimensi  
 $D$  □ tebal lapisan tanah

Koefisien kompresiilitas volume ( $m_v$ ) pada umumnya □erkaitan dengan dan digunakan untuk perhitungan penurunan konsolidasi pada tanah-tanah □er□utir halus seperti lempung dan lanau, dan menunjukkan kompresi suatu tanah, setiap unit ketebalan awal, akibat kenaikan tekanan setiap unit se□agai □erikut:

$m_v$  □ per□ubahan volumetrik □satu□an kenaikan tekanan

Kekakuan tanah □er□utir halus dengan demikian adalah diturunkan dari  $m_v$ , dan penurunan konsolidasi total dihitung dengan rumus □erikut:

$$\rho_{ult} = m_v \Delta\sigma'_v D \quad (2)$$

Kekakuan tanah □er□utir kasar (pasiran) adalah dengan menerapkan nilai  $E'_0$  secara langsung.

$E'_0$  adalah ke□alikan dari  $m_v$  (koefisien kompresiilitas volume) dan digunakan dalam persamaan (1) karena kompresi terjadi □aik pada tanah-tanah □er□utir halus dan kasar.

Dengan mengasumsikan □ahwa tidak ada per□ubahan dalam □erat isi tanah, per□ubahan tegangan efektif  $\Delta\sigma'_v$  adalah sama dengan penurunan tekanan air pori  $\Delta u$  □  $\gamma_w s$  (dimana  $\gamma_w$  adalah □erat isi dari air dan  $s$  adalah surutan (*drawdown*)). Karena itu, persamaan (1) □isa ditulis kem□ali menjadi:

$$\rho_{ult} = \gamma_w s \left( \frac{D}{E'_0} \right) \quad (3)$$

Kompresi pada suatu akuifer yang tem□us air, untuk semua tujuan praktis, □erkem□ang secara □ersamaan dengan surutan air (*drawdowns*); sedangkan kompresi pada suatu akuitar □erlangsung secara □ertahap □ergantung pada parameter-parameter konsolidasi dari akuitar. Kompresi pada suatu akuitar dalam selang waktu  $t$  setelah surutan (*drawdowns*) dapat diestimasi oleh:

$$\rho_t = R \rho_{ult} \quad (4)$$

di mana  $R$  adalah derajat konsolidasi rata-rata dari faktor waktu  $T_v$  dan kondisi drainase terkait dan distri□usi dari penurunan air pori. Faktor waktu dihitung □erdasarkan:

$$T_v = c_v \left( \frac{t}{h^2} \right) \quad (5)$$

di mana  $h$  adalah panjang maksimum lintasan drainase untuk drainase vertikal dalam suatu akuitar dan  $c_v$  adalah koefisien konsolidasi yang dapat dinyatakan dalam sifat akuitar se□agai

$$c_v = k_v \left( \frac{E'_0}{\gamma_w} \right) \quad (6)$$

di mana  $k_v$  adalah permea□ilitas vertikal dari akuitar.

Karena itu, penurunan total adalah penjumlahan dari kompresi pada semua lapisan akuifer dan akuitar

$$\rho_{total} = (\rho_{ult})_{all\ aquifers} + (\rho_t)_{all\ aquitards} \quad (7)$$

Detail dan hasil analisis penurunan dijelaskan dalam □a□□a□ selanjutnya. Perhitungan pantulan (*rebound*) yang mengikuti kenaikan tekanan air pori pada dasarnya adalah □erke□alikan dengan analisis penurunan, dengan kata lain □esar pantulan diturunkan dengan mengurangi penurunan pada akhir pemompaan dari pantulan yang dihitung dengan cara yang sama seperti yang dilakukan pada analisis penurunan (*settlement analysis*).

### 3.0 METODOLOGI

Kami telah menggunakan metodologi □erikut untuk analisis penurunan yang □erhu□ungan dengan pengam□ilan air tanah yang direncanakan pada Fasilitas Tangguh LNG:

- a) Memuat profil tanah yang rasional untuk Fasilitas Tangguh LNG termasuk semua lapisan akuifer dan akuitar berdasarkan model air tanah konseptual yang dikembangkan untuk Studi Air tanah.
- b) Akiat data geoteknik yang teratas khususnya untuk perhitungan amblasan dengan mempertimbangkan kedalaman rencana dari sumur produksi uji coba, profil dan parameter geoteknik diturunkan berdasarkan pendekatan berikut:
- i) Gunakan lapisan-lapisan (akuifer dan akuitar) dari pemodelan air tanah yang dianggap dipengaruhi oleh pemompaan (pengambilan air);
  - ii) Tentukan titik-titik sepanjang dan dalam atas kepemilikan Fasilitas Tangguh LNG;
  - iii) Interpolasi surutan pada akuifer *Steenkool* bagian atas dan bawah dari pemodelan air tanah ke titik-titik dan lokasi-lokasi sumur yang telah ditentukan;
  - iv) Hitung perubahan tegangan dari data surutan;
  - v) Gunakan nilai konduktivitas hidrolis dari pemodelan air tanah;
  - vi) Hitung tegangan *overburden* efektif ( $\sigma_{v0}$ ) untuk semua lapisan yang digunakan dalam perhitungan amblasan (muka air diasumsikan berada pada muka permukaan);
  - vii) Estimasi modulus elastisitas *drained* ( $E$ ):
    - Untuk akuitar (tanah-tanah berbutir halus-lempung)
      - 1) Estimasi *Overconsolidation Ratio* (OCR) berdasarkan informasi dari Calmarine (Nov 2000) laporan penyelidikan geoteknik
      - 2) Hitung tegangan prakonsolidasi ( $\sigma_p$ ) dengan mengalikan OCR tegangan *overburden* efektif
      - 3) Hitung kuat geser *undrained* dengan menggunakan hubungan  $s_u/\sigma_p \approx 0,25$  (Jamiolkowski et al, 1985)
      - 4) Hitung modulus elastisitas *undrained* ( $E_u$ ) dengan menggunakan hubungan  $E_u \approx 750 \times s_u$  (Burland, 1979)
      - 5) Hitung modulus elastisitas *drained* ( $E$ ) dengan menggunakan hubungan  $E \approx 0,77 \times E_u$  (Wroth, 1972)
    - Untuk akuifer (tanah-tanah berbutir kasar-pasir)
      - 1) Estimasi  $E$  dengan menggunakan hubungan  $E \approx 4.600 \times d$  di mana  $d$  kedalaman dalam meter dan  $E$  dalam satuan kPa (Terzaghi, 1954)
  - viii) Estimasi  $c_v$  berdasarkan data yang pernah dipublikasikan; dan
  - ix) Gunakan surutan (perubahan tekanan pori) dari hasil-hasil pemodelan air tanah untuk akuifer dalam Formasi *Steenkool* bagian atas dan bawah untuk mengemangkan profil perubahan dalam distribusi tegangan efektif untuk setiap lapisan tanah; dengan kata lain dalam periode pemindahan rencana selama 29 tahun.
- c) Hitung penurunan dengan menggunakan Persamaan (7) untuk yang menghasilkan perubahan (kenaikan) tegangan efektif akibat penurunan muka air tanah pada lokasi-lokasi penting termasuk pada sumur-sumur produksi rencana dan dalam dan di sekeliling atas kepemilikan Fasilitas Tangguh LNG.
- d) Hitung pantulan dengan mempertimbangkan model amblasan yang terdiri dari tanah-tanah terkonsolidasi secara perlahan, di mana amblasan terutama bersifat elastik dan dapat berbalik kembali pada akhir pemompaan: dengan kata lain kebalikan penurunan berdasarkan laju yang sama antara pengembangan (*swelling*) pada pelepasan beban (*unloading*) dengan konsolidasi pada pembebanan

dan dengan mengasumsikan perbandingan sebesar 75% antara pemampangan dengan kompresi.

#### 4.0 PEMODELAN GEOTEKNIK

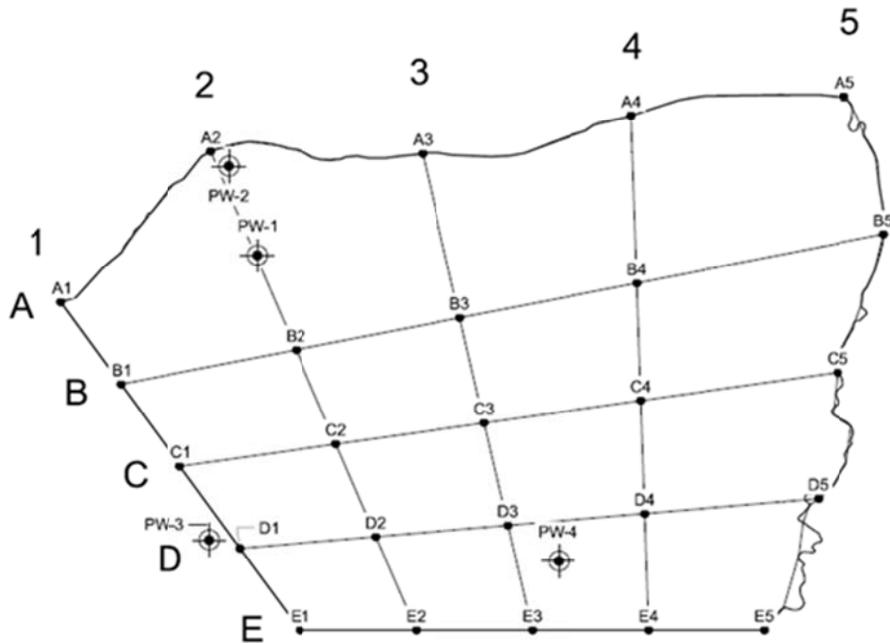
Kami telah menggunakan profil model geoteknik berdasarkan model air tanah konseptual yang dikembangkan bagi lokasi Fasilitas Tangguh LNG yang dikominasikan dengan estimasi kami terhadap parameter-parameter geoteknik untuk tanah-tanah yang terkonsolidasi secara perlahan seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1: Model dan Parameter-Parameter Geoteknik**

Lapisan	Lapisan	Kedalaman Dasar	Tebal	$K_x, K_y$	$K_z$	$E_0'$	$C_v$
		m	m	m/hr	m/hr	MPa	m <sup>2</sup> /thn
Sedimen Alluvial	1	10	10	5,0	5,0	10	-
Formasi <i>Steenkool</i> bagian Atas dominan lempung	2	40	30	$8,6 \times 10^{-3}$	$8,6 \times 10^{-4}$	90	18
Formasi <i>Steenkool</i> bagian Atas dominan pasir	3	100	60	4,0	0,4	320	-
Formasi <i>Steenkool</i> bagian Atas dominan lempung	4	155	55	$4,0 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-5}$	300	12
	5	210	55	$4,0 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-5}$	310	
	6	265	55	$4,0 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-5}$	410	
Formasi <i>Steenkool</i> bagian Bawah dominan pasir	7	295	30	4,0	0,4	1.280	-
Formasi <i>Steenkool</i> bagian Bawah dominan lempung	8	315	20	$4,0 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-5}$	420	8
	9	340	25	$4,0 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-5}$	450	

Catatan: indeks-indeks x,y menyatakan sifat-sifat pada arah lateral dan indeks z menyatakan sifat-sifat pada arah vertikal

**Gambar 1** menggambarkan lokasi-lokasi pilihan disepanjang lokasi Fasilitas Tangguh LNG yang digunakan untuk analisis penurunan dengan perhitungan dalam tegangan efektif diturunkan dari surutan yang diinterpolasikan dari hasil pemodelan air tanah sementara seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2**.



Gambar 1: Lokasi-lokasi pilihan yang digunakan untuk analisis penurunan

Tabel 2: Surutan and Amblasan terestimasi pada Lokasi-Lokasi Terpilih

Titik	Timur (m)	Utara (m)	Surutan pada Lapisan 3 (m)	Surutan pada Lapisan 7 (m)	Amblasan setelah 4 tahun (cm)	Amblasan setelah 29 tahun (cm)
A1	290099	9729057	0,18	7,1	0,7	2,1
A2	291548	9730515	0,10	9,8	1,0	2,8
A3	293593	9730495	0,08	7,1	0,7	2,0
A4	295614	9730862	0,06	5,3	0,5	1,5
A5	297680	9731044	0,04	4,2	0,4	1,2
B1	290676	9728260	0,28	7,8	0,8	2,3
B2	292369	9728592	0,15	8,9	0,9	2,6
B3	293959	9728904	0,10	7,5	0,7	2,2
B4	295669	9729239	0,07	6,0	0,6	1,7
B5	298058	9729707	0,05	4,4	0,4	1,3
C1	291252	9727464	0,20	8,5	0,9	2,5
C2	292759	9727679	0,14	8,4	0,8	2,5
C3	294194	9727884	0,10	7,5	0,8	2,2
C4	295708	9728101	0,08	6,5	0,6	1,9
C5	297617	9728374	0,06	4,9	0,5	1,4
D1	291829	9726667	0,16	9,2	0,9	2,7
D2	293143	9726780	0,12	7,9	0,8	2,3
D3	294423	9726891	0,09	8,3	0,8	2,4
D4	295745	9727004	0,08	7,0	0,7	2,0
D5	297430	9727149	0,06	5,2	0,5	1,5

Titik	Timur (m)	Utara (m)	Surutan pada Lapisan 3 (m)	Surutan pada Lapisan 7 (m)	Amblasan setelah 4 tahun (cm)	Amblasan setelah 29 tahun (cm)
E1	292405	9725871	0,11	7,4	0,7	2,2
E2	293531	9725871	0,09	7,1	0,7	2,1
E3	294657	9725871	0,08	7,5	0,7	2,2
E4	295783	9725871	0,07	6,6	0,6	1,9
E5	296909	9725871	0,06	5,5	0,5	1,6
PW 1	292000	9729500	0,13	15,0	1,5	4,3
PW 2	291720	9730370	0,10	15,0	1,5	4,3
PW 3	291897	9726940	0,17	14,0	1,4	4,0
PW 4	294916	9726542	0,09	13,0	1,3	3,7

Catatan: 1. Lapisan 3 adalah Akuifer *Steenkool* bagian Atas, Lapisan 7 is Akuifer *Steenkool* bagian Bawah  
2. Periode Konstruksi selama 4 tahun ditambah dengan Masa Operasional selama 25 tahun

## 5.0 HASIL-HASIL ANALISIS PENURUNAN

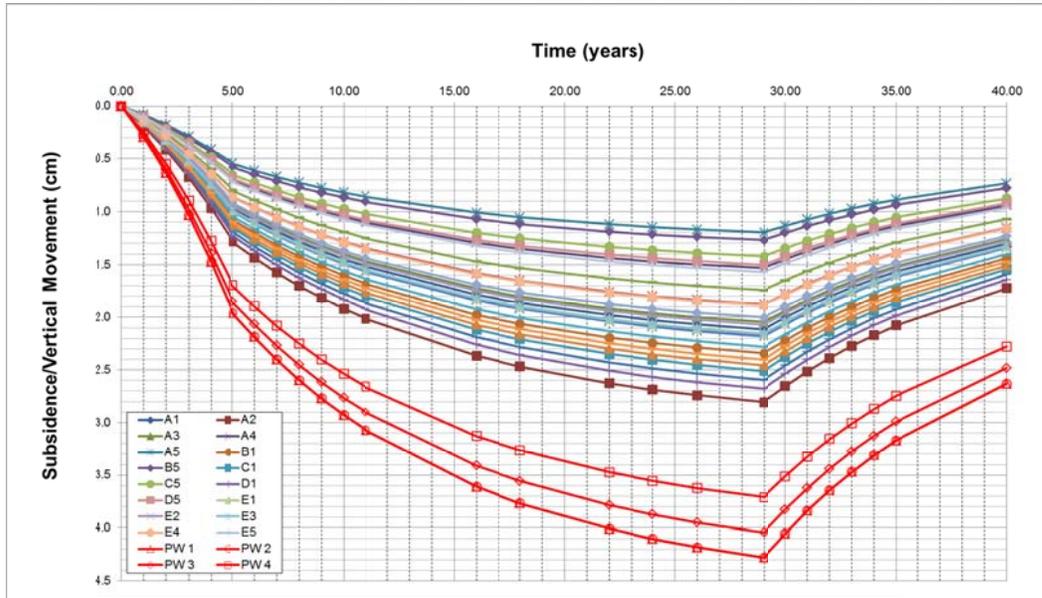
Analisis penurunan telah dilakukan sesuai dengan teori yang dijelaskan dalam **Bagian 2.0** dan metodologi yang dijelaskan dalam **Bagian 3.0**. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, analisis penurunan mencakup kompresi baik dalam akuifer (Lapisan 3 dan 7) dan dalam akuitar yang terdapat muka secara langsung dengan akuifer-akuifer (Lapisan-Lapisan 2, 4-6 dan 8-9) untuk lapisan-lapisan yang tertera dalam **Tabel 1**.

Berdasarkan *log slimhole* kelihatannya ada banyak lapisan-lapisan kepasiran yang berada diantara lapisan-lapisan yang didominasi oleh lempung; namun karena kemenerusan lapisan-lapisan berpasir ini tidak ditetapkan, dalam model untuk analisis penurunan konsolidasi kami mengasumsikan lapisan yang didominasi lempung memiliki drainase dua arah dan panjang lintasan drainase tersebut adalah 25-50 persen dari tebal lapisan lempung.

Amblasan yang diestimasi akibat pemindahan air tanah setelah 4 tahun (akhir konstruksi) dan 29 tahun (akhir masa operasi) pada lokasi-lokasi pilihan akibat surutan pada akuifer-akuifer *Steenkool* bagian Atas dan Bawah juga diperlihatkan secara detail dalam **Tabel 2**. Kontur dari amblasan yang diestimasi di sepanjang lokasi Tangguh LNG ditunjukkan dalam **Gambar 2** yang dikemungkinan berdasarkan amblasan pada lokasi-lokasi pilihan dari analisis penurunan.

Berdasarkan hasil-hasil dari pemodelan air tanah kami mengasumsikan bahwa surutan mencapai kondisi keadaan tunak (*steady state*) setelah kira-kira 5 tahun dan perubahan tegangan yang bergantung pada waktu ini digunakan dalam analisis penurunan. Analisis penurunan konsolidasi kami dengan menggunakan parameter-parameter konsolidasi yang diestimasi mengindikasikan bahwa derajat konsolidasi rata-rata adalah berkisar 90% pada akhir pemompaan (29 tahun).

Plot dari penurunan terhadap waktu pada lokasi-lokasi pilihan di sekitar atas kepemilikan Tangguh LNG ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2: Waktu vs Penurunan pada Titik-titik Pilihan sepanjang Batas Lokasi Proyek Tangguh LNG dan pada Sumur-Sumur Rencana

Kami mengharapkan bahwa pada saat penutupan (29 tahun) pemindahan air akan berhenti, karena itu tekanan pori akan memantul dan menurunkan tegangan efektif dalam tanah yang juga akan menghasilkan pantulan sebagian. **Gambar 2** juga mengilustrasikan perkembangan dari pantulan setelah berhentinya pemindahan air tanah dari empat sumur produksi rencana di lokasi Fasilitas Tangguh LNG.

Akhirnya perlu dicatat bahwa pemodelan amblasan adalah berdasarkan kontur surutan yang diestimasi dan penilaian kami juga berdasarkan pada komposisi asumsi, interpolasi dan penilaian teknik akibat kurangnya data geoteknik; karena itu kami merekomendasikan program monitoring amblasan yang efektif untuk dilakukan.

Budi Satriyo  
Senior Geotechnical Engineer

Geoff Perryman  
Associate

BS:GEP:ms

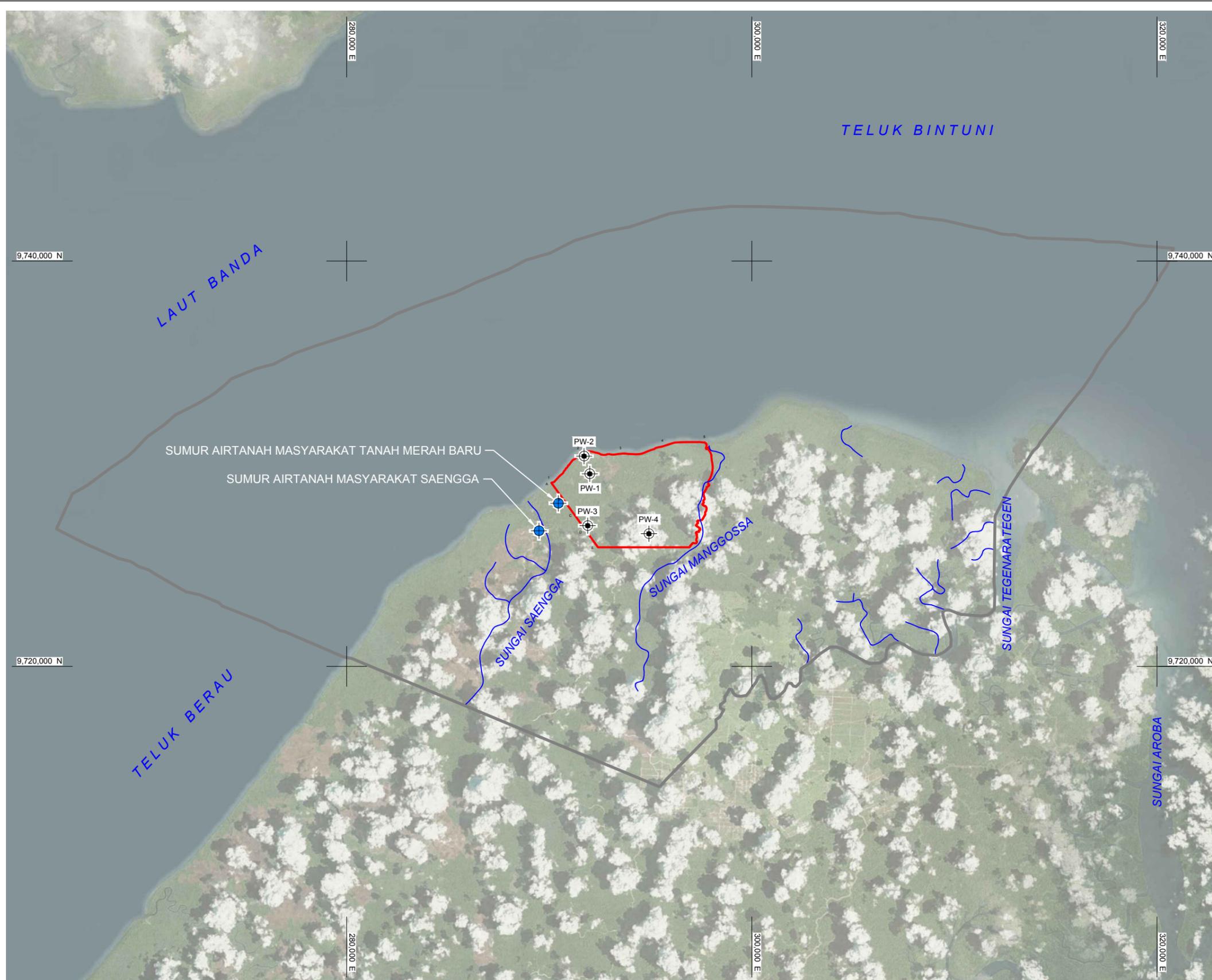
## 6.0 REFERENSI

- 1) Preene M. Assessment of Settlements Caused by Groundwater Control. *Proc. ICE. Geotechnical Engineering*, 2000, 143, Oct., 177-190.
- 2) Powrie W. *Soil Mechanics: Concepts and Applications*. Spon, London, 1997.
- 3) Zhu G. and Yin J-H. Consolidation of Soil under Depth-dependent Ramp Load. *Canadian Geotechnical Journal*, 1998, 35: 344-350.
- 4) Cashman P. M. and Preene M. *Groundwater Lowering in Construction: A Practical Guide*. Spon, London, 2001.

## LAMPIRAN

Gambar 1 Denah Lokasi

Gambar 2 Kontur Amblas Hasil Interpolasi dari Analisis Penurunan pada Lokasi-lokasi Pilihan (29 tahun sesudah pemompaan dimulai)



**LEGEND**

-  LOKASI SUMUR AIR TANAH UNTUK PEMODELAN
-  SUMUR AIR TANAH MASYARAKAT
-  SUNGAI
-  BATAS PEMODELAN
-  PROPERTI TANGGUH LNG

**CATATAN:**

SISTEM KOORDINAT UTM ZONA 53S WGS 1984.

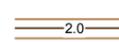
HAK CIPTA:  
 POTONGAN GAMBAR MICROSOFT (BING TM) DICETAK  
 ULANG DENGAN IZIN DARI MICROSOFT CORPORATION.



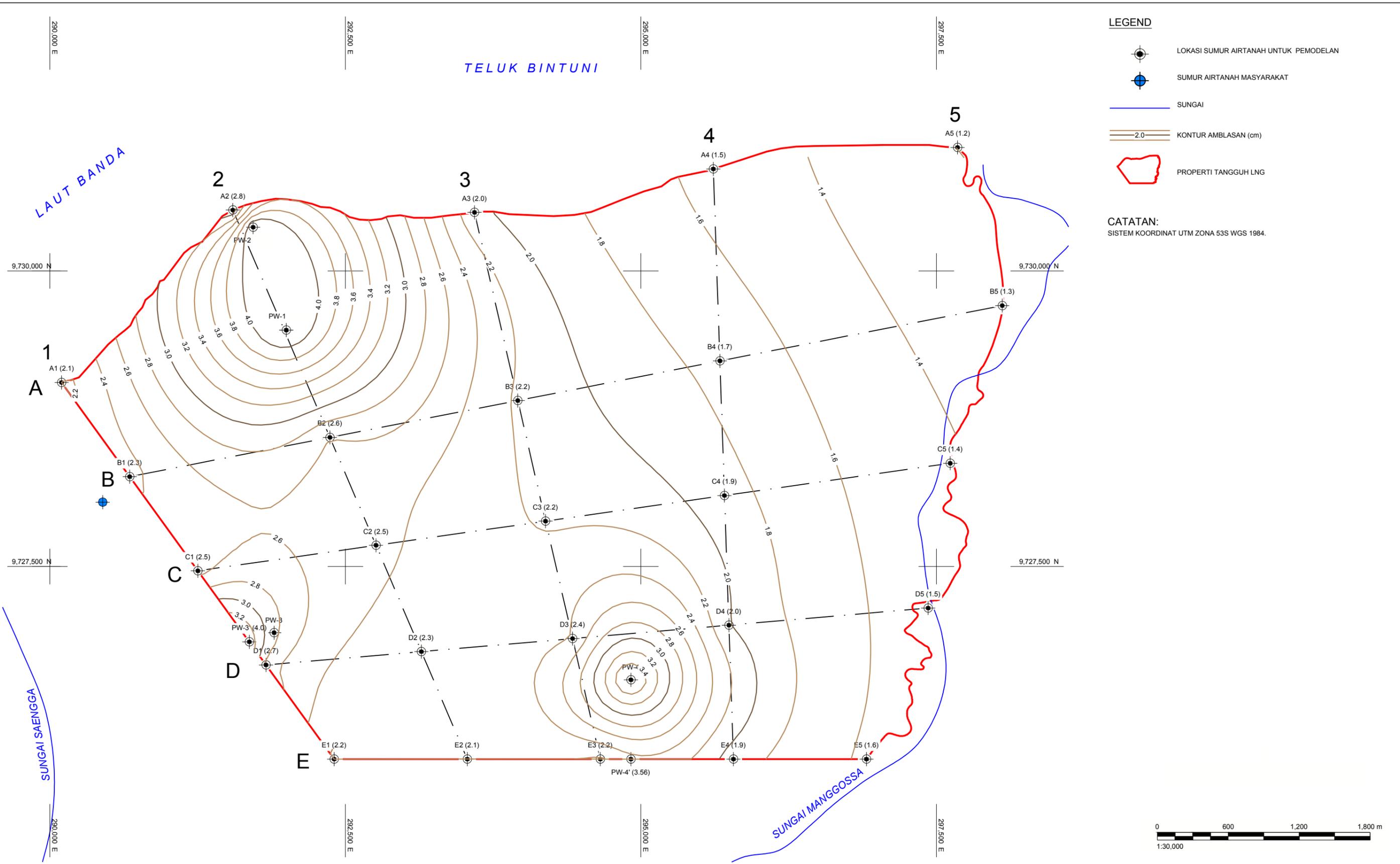
 <small>www.golder.com        GOLDR ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL &amp; ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)</small>	KLIEN <b>BP BERAU LTD</b>		PROYEK <b>PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH LNG - STUDI AIR TANAH</b>			
	DIGAMBAR OLEH DS	TANGGAL 05.03.2014	<b>DENAH LOKASI</b>			
	DIPERIKSA OLEH BS	TANGGAL 05.03.2014				
	SKALA 1:200,000	UKURAN A3	NOMOR PROYEK 138716004	NOMOR DOKUMEN 016	TIPE DOKUMEN F	NOMOR GAMBAR 1

TELUK BINTUNI

LEGEND

-  LOKASI SUMUR AIR TANAH UNTUK PEMODELAN
-  SUMUR AIR TANAH MASYARAKAT
-  SUNGAI
-  KONTUR AMBLASAN (cm)
-  PROPERTI TANGGUH LNG

CATATAN:  
SISTEM KOORDINAT UTM ZONA 53S WGS 1984.



 www.golder.com GOLDER ASSOCIATES (PT GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL SERVICES INDONESIA)	KLIEN <b>BP BERAU LTD</b>		PROYEK <b>PROYEK PENGEMBANGAN TANGGUH LNG - STUDI AIR TANAH</b>				
	DIGAMBAR OLEH DS	TANGGAL 05.03.2014	JUDUL GAMBAR <b>KONTUR AMBLASAN HASIL INTERPOLASI DARI ANALISIS PENURUNAN PADA TITIK-TITIK TERTENTU (29 TAHUN SETELAH PEMOMPAAN DIMULAI)</b>				
	DIPERIKSA OLEH BS	TANGGAL 05.03.2014					
	SKALA 1:30,000	UKURAN A3	NOMOR PROYEK 138716004	NOMOR DOKUMEN 016	TIFE DOKUMEN F	NOMOR GAMBAR 1	REVISI 1



Lampiran V

**Indikator Evaluasi Dampak Penting  
Hipotetik dan Tingkat Sensitivitas  
Dampak**

## Indikator Evaluasi Dampak Penting Hipotetik

Indikator	Kategori	Nilai
Sifat Dampak	<ol style="list-style-type: none"> <li>Positif: Dampak memengaruhi perubahan yang lebih baik terhadap lingkungan</li> <li>Negatif: Dampak memengaruhi perubahan yang lebih buruk terhadap lingkungan</li> </ol>	
Jenis Dampak	<ol style="list-style-type: none"> <li>Dampak Langsung: Dampak yang ditimbulkan oleh interaksi secara langsung antara aktivitas proyek yang direncanakan dengan komponen lingkungan penerima dampak</li> <li>Dampak Turunan (Sekunder, Tersier, dan seterusnya): Dampak turunan dari dampak primer</li> <li>Dampak Tidak Langsung: Dampak yang ditimbulkan oleh aktivitas lain, dimana aktivitas lain ini muncul sebagai akibat keberadaan proyek (misalnya: munculnya industri-industri servis disekitar wilayah proyek)</li> <li>Dampak Kumulatif: Dampak dari suatu kegiatan berlangsung bersama dengan dampak dari kegiatan lainnya terhadap reseptor pada ruang dan waktu yang sama</li> <li>Dampak Sisa: Dampak yang masih tersisa setelah pengelolaan yang direncanakan akan dilakukan terhadap aktivitas penyelesaian dampak</li> </ol>	
Lama Dampak Berlangsung	<ol style="list-style-type: none"> <li>Sementara: 0 - 1 Tahun</li> <li>Jangka Pendek: 1 - 5 Tahun</li> <li>Jangka Panjang: 5 - 30 Tahun</li> <li>Permanen: Lebih dari 30 tahun dan tidak dapat dikembalikan seperti keadaan semula.</li> </ol>	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p>
Persebaran Dampak	1. Lokal: Di lokasi proyek, sejauh beberapa hektar, dan desa-desa di dekat lokasi proyek	2
	2. Regional: Tingkat Kabupaten dan Propinsi	3
	3. Global: Dampak nasional dan menjadi perhatian internasional	4
Besaran Dampak	<ol style="list-style-type: none"> <li>Ditanyakan</li> <li>Kecil</li> <li>Sedang</li> <li>Tinggi</li> </ol>	<p>Dampak berasal dari kombinasi beberapa aspek di bawah ini:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Sifat Dampak</li> <li>Ukuran Dampak dan Intensitas Dampak</li> <li>Persebaran Dampak</li> <li>Lama Dampak Berlangsung</li> </ol>

Indikator	Kategori	Nilai
Intensitas Dampak	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rendah: Dampak terjadi kurang dari 1 bulan (1 kali per 2 bulan, dan seterusnya)</li> <li>2. Sedang: Dampak terjadi 1 kali dalam 1 bulan</li> <li>3. Tinggi: Dampak terjadi 2 kali dalam 1 minggu</li> <li>4. Sangat Tinggi: Dampak terjadi setiap hari</li> </ol>	
Sensitifitas Penerima Dampak	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rendah</li> <li>2. Sedang</li> <li>3. Tinggi</li> </ol>	Lihat indikator sensitivitas (terlampir) Indicators (attached)
Kerawanan Dampak	1. Sangat rendah	Kerawanan dampak ditentukan dengan membandingkan Besaran Dampak dan Sensifitas Penerima Dampak
	2. Rendah	
	3. Sedang	
	4. Tinggi	
	5. Sangat Tinggi	
Peluang Kejadian Dampak	1. Sangat kecil: Suatu peristiwa kemungkinan terjadinya sangat kecil, namun dapat terjadi suatu waktu dalam kondisi operasi normal (pernah didengar peristiwa tersebut terjadi pada suatu industri)	1
	2. Kecil: Suatu peristiwa mungkin terjadi suatu waktu (peristiwa pernah terjadi sebelumnya di perusahaan)	2
	3. Sedang: Suatu peristiwa sangat mungkin terjadi (peristiwa terjadi beberapa kali dalam setahun di perusahaan)	3
	4. Tinggi: Suatu peristiwa terjadi dalam kondisi operasi normal (tidak dapat dihindari, peristiwa terjadi berulang kali dalam satu tahun pada suatu lokasi di perusahaan)	4
Sifat Penting Dampak	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diaiakan: Dampak akan sedikit terdeteksi; memawa sedikit perubahan pada situasi saat ini</li> <li>2. Minor: Tedeteksi adanya dampak tetapi tidak penting</li> <li>3. Moderate: Penting, dampak harus dikelola</li> <li>4. Mayor: Sangat penting; dampak harus dikelola</li> <li>5. Kritis: Dampak sangat besar; perlu intervensi dari manajemen tingkat atas BP</li> </ol>	Sifat Penting Dampak ditentukan dengan membandingkan Peluang Kejadian Dampak dan Kerawanan Dampak

Indikator ini tidak termasuk dalam bagian tabel HII (DPH). Indikator tersebut digunakan untuk mempermudah penentuan nilai Besaran Dampak

<b>Perserbaran Dampak</b>	<i>Global</i>	Sedang	Sedang	Tinggi	Tinggi	<b>Ukuran Dampak</b>
	<i>Regional</i>	Rendah	Sedang	Sedang	Tinggi	
	<i>Lokal</i>	Diabaikan	Rendah	Sedang	Sedang	
		<i>Rendah</i>	<i>Sedang</i>	<i>Tinggi</i>	<i>Sangat Tinggi</i>	
<b>Intensitas Dampak</b>						

<b>Lama Dampak Berlangsung</b>	<i>Permanen</i>	Sedang	Sedang	Tinggi	Tinggi	<b>Besaran Dampak</b>
	<i>Jangka Panjang</i>	Rendah	Sedang	Tinggi	Tinggi	
	<i>Jangka Pendek</i>	Rendah	Sedang	Sedang	Sedang	
	<i>Sementara</i>	Diabaikan	Rendah	Rendah	Sedang	
	<i>Diabaikan</i>	<i>Rendah</i>	<i>Sedang</i>	<i>Tinggi</i>		
<b>Ukuran Dampak</b>						

## Tingkat Sensitifitas Dampak

Indikator Penyingkapan	Sensitifitas Rendah 1	Sensitivitas Sedang 2	Sensitifitas Tinggi 3
<p>Kesehatan Masyarakat</p> <p>Mempertimbangkan 3 faktor penting:</p> <p>1) Fasilitas Kesehatan seperti : Pusat Kesehatan Masyarakat(Puskesmas, Posyandu, Rumah Sakit rujukan)</p> <p>2) Sumber daya medis, seperti : akses untuk obat-obatan , tenaga kesehatan.</p> <p>3) Pendapatan rumah tangga (sebagai sumber untuk mendapatkan pelayanan kesehatan)</p>	<p>Pusat Kesehatan Masyarakat (Puskesmas, Rumah Sakit) jumlahnya memadai dan dapat diakses dan sumber daya medis seperti tersedianya obat-obatan, tenaga kesehatan yang bersertifikat dalam jumlah yang memadai dan dapat diakses,</p> <p>Pendapatan masyarakat yang layak untuk mengakses layanan kesehatan, pengobatan diri sendiri dan keluarga, dan perawatan medis yang diperlukan</p>	<p>Pusat Kesehatan Masyarakat (Puskesmas, Rumah Sakit) jumlahnya sedikit dan tidak mudah diakses dan tersedianya sumber daya medis: tersedianya beberapa obat-obatan, tenaga kesehatan dan sebagian pendapatan masyarakat mencukupi untuk dapat mengakses layanan kesehatan, pengobatan diri sendiri dan keluarga, dan perawatan medis yang diperlukan</p>	<p>Tidak ada atau kurangnya ketersediaan dan akses terhadap Pusat Kesehatan Masyarakat (Puskesmas, Rumah Sakit) dan tidak ada/kurangnya obat-obatan yang disediakan: tidak adanya ketersediaan obat-obatan yang diperlukan, tidak adanya ketersediaan tenaga kesehatan yang bersertifikat, penyakit dan kesehatan penduduk hanya ditangani oleh tenaga kesehatan tradisional dengan cara pengobatan tradisional. Rendahnya pendapatan masyarakat untuk dapat mengakses pelayanan kesehatan yang baik, serta pengobatan diri sendiri dan keluarga, dan perawatan medis yang diperlukan.</p>
<p>Pendidikan</p> <p>Mempertimbangkan 3 faktor penting:</p> <p>1) Fasilitas pendidikan seperti : SD, SMP/SMA, perpustakaan, lembaga kursus</p> <p>2) Rasio Guru-Murid: seperti rasio jumlah guru Sekolah Dasar dengan</p>	<p>SD, SMP, SMA, perpustakaan, dan/atau lembaga kursus tersedia dan dapat diakses untuk sebagian dan Rasio guru murid SD adalah 1:20 atau lebih (1 guru untuk 20 murid) dan pendapatan masyarakat yang layak</p>	<p>Tersedianya SD, SMP, SMA, perpustakaan, dan/atau lembaga kursus yang dapat diakses oleh sebagian penduduk dan Rasio guru-murid SD adalah 1:20 atau lebih kecil. Pendapatan masyarakat untuk dapat</p>	<p>Sekolah yang tidak berstandar dan bersertifikasi, perpustakaan, atau lembaga kursus atau Tidak tersedianya guru, dimana rasio guru-murid SD adalah kurang dari 1:20 atau</p>

Indikator Penyarangan	Sensitifitas Rendah 1	Sensitivitas Sedang 2	Sensitifitas Tinggi 3
murid (jumlah guru yang tersedia untuk murid). 3) Tingkat Pendapatan ( sebagai sumber utama untuk dapat mengakses standar pelayanan dan fasilitas pendidikan	untuk memperoleh layanan pendidikan, seperti pendaftaran, waktu belajar pada semua tingkatan sekolah	mengakses beberapa pelayanan pendidikan, seperti pendaftaran.	Rendahnya pendapatan rumah tangga dalam hal memperoleh pendidikan yang layak, pendaftaran dan belajar di sekolah
Ekonomi Mempertimbangkan 3 faktor penting: 1) Modal: untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari dan membangun usaha 2) Pasar: ketersediaan dan akses pasar yang kompetitif; seperti pasar dan jaringan pemasaran 3) Sumber daya seperti : fasilitas dan peralatan produksi, ketrampilan ber usaha dan berproduksi, keuangan	Pendapatan dan/atau aset masyarakat yang layak untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, dan menabung, memperoleh dan menggunakan layanan publik, dan membangun usaha dan tersedianya pasar yang dapat diakses oleh masyarakat (sebagai pembeli dan penjual yang kompetitif); dan sebagian telah berkompetisi secara wajar di pasar yang kompetitif dan fasilitas yang memadai; dan jumlah alat produksi, dan lembaga keuangan yang sehat yang dapat diakses oleh masyarakat untuk membangun usaha.	Pendapatan dan atau aset masyarakat yang layak untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, dan atau menabung, dan atau memperoleh dan menggunakan layanan publik dan pasar sulit untuk diakses oleh masyarakat (sebagai pembeli dan penjual kompetitif); dan sedikit orang yang telah berkompetisi secara wajar di pasar yang kompetitif dan beberapa fasilitas; sedikit/tidak adanya alat produksi; sedikit/tidak adanya lembaga keuangan yang dapat diakses oleh masyarakat untuk membangun usaha.	Pendapatan dan atau masyarakat yang rendah untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, atau menabung, atau mengakses dan menggunakan layanan publik, atau membangun usaha atau tidak tersedianya pasar yang dapat diakses; dan tidak adanya kompetisi pasar atau tidak ada atau kurangnya fasilitas alat produksi, atau lembaga keuangan yang dapat diakses oleh masyarakat untuk membangun usaha.
Kebudayaan Mempertimbangkan 2 faktor penting: 1) Tingkat rasionalitas; seperti pengetahuan, tradisi, konsumsi produk modern dan penggunaannya.	Gaya hidup modern pada sebagian besar masyarakat, pemikiran rasional yang diterapkan dalam kehidupan sehari-hari, tidak adanya atau sedikit penerapan tradisi, sebagian besar masyarakat memiliki	Gaya hidup tradisional pada sebagian/seluruh masyarakat, beberapa kebijakan tradisional/lokal, dan rasionalitas yang tercermin dalam kehidupan sehari-hari, penting untuk menjalankan tradisi,	Gaya hidup tradisional pada sebagian besar/semua masyarakat, kebijakan tradisional/lokal dan rasionalitas tercermin dalam kehidupan sehari-hari, sangat penting untuk menjalankan tradisi,

Indikator Penyarangan	Sensitifitas Rendah 1	Sensitivitas Sedang 2	Sensitifitas Tinggi 3
2) Situs dan warisan budaya yang penting; misalnya monumen suci, situs alam, properti dengan nilai-nilai estetika, paleontology, arkeologi, ilmiah, ethnologi, antropologi, atau keagamaan	dan menggunakan produk modern atau tidak .	sedikit masyarakat memiliki dan menggunakan produk modern dan terdapat situs budaya lokal atau warisan budaya, yang oleh masyarakat lokal atau pemerintahan otoritas diakui sebagai situs atau warisan budaya yang penting	tidak ada/sedikit orang memiliki dan menggunakan produk modern dan terdapat situs budaya lokal atau warisan budaya, yang oleh masyarakat lokal atau pemerintahan otoritas diakui sebagai situs atau warisan budaya yang sangat penting
Persepsi Sosial dan Ketegangan Sosial Mempertimbangkan 3 faktor penting: 1) Harapan masyarakat dan citra perusahaan BP Tangguh 2) Ketegangan Sosial; misalnya gangguan, pertentangan, kerusakan, keluhan, konflik 3) Kemampuan pihak yang berwenang dalam menangani dan menyelesaikan ketegangan	Kesetaraan antara harapan masyarakat dan visi dan misi sosial Tangguh; Tangguh dinilai masyarakat sebagai perusahaan yang baik dan minor/tidak adanya gangguan terhadap masyarakat: keluhan dan pertentangan minor (tidak menyebabkan cedera) dan minor/tidak adanya kerusakan infrastruktur dan pemerintahan/otoritas yang berwenang secara rutin mengatasi dan menyelesaikan ketegangan sosial	Harapan masyarakat atas beberapa/seluruh kegiatan Tangguh adalah lebih besar dari visi dan misi sosial serta perencanaan Tangguh, yang secara bertahap akan menurunkan citra dari Tangguh atau gangguan moderat terhadap masyarakat seperti : keluhan dan pertentangan moderat (menyebabkan cedera) dan kerusakan infrastruktur moderat dan pemerintah/otoritas yang berwenang tidak berhasil mengatasi dan menyelesaikan ketegangan sosial	Harapan masyarakat atas beberapa/seluruh kegiatan Tangguh adalah jauh lebih besar dari visi misi perencanaan sosial atau gangguan berat pada masyarakat: keluhan dan pertentangan yang sering dan meluas (menyebabkan korban jiwa) dan kerusakan infrastruktur yang parah pemerintah/otoritas yang berwenang gagal untuk mengatasi dan menyelesaikan ketegangan sosial
Tenaga Kerja Mempertimbangkan 3 faktor penting: 1) Keterampilan dan pengalaman tenaga kerja 2) Industri sekitar dan tawaran	Tenaga kerja yang sangat terampil dan berpengalaman dan infrastruktur industry yang baik dan jumlah pekerjaan yang tersedia dari industry di sekitar	Tenaga kerja yang terampil namun kurang berpengalaman atau beberapa kesenjangan yang signifikan dalam infrastruktur industry (misalnya telekomunikasi)	Kurangnya tenaga kerja yang terampil dan berpengalaman atau infratraktur industri yang kurang dan/atau sedikitnya tawaran pekerjaan yang dapat diakses oleh

Indikator Penyarangan	Sensitifitas Rendah 1	Sensitivitas Sedang 2	Sensitifitas Tinggi 3
pekerjaan 3) Layanan keuangan	dan jasa keuangan yang baik dan berkualitas	dan tawaran pekerjaan yang dapat diakses oleh sebagian besar masyarakat atau kualitas jasa keuangan yang terbatas	sebagian masyarakat atau buruknya kualitas jasa keuangan
Transportasi Fasilitas transportasi seperti jumlah dan kualitas infrastruktur; misalnya jalan, transportasi publik	Tersedianya jalan yang baik, dan lalu lintas air dengan arah yang jelas, dan tersedianya transportasi darat dan air yang baik	Tersedianya jalan yang baik, dan masyarakat menggunakan transportasi air, tersedianya arah pada lalu lintas air, dan tersedianya transportasi darat dan laut.	Tidak ada/sedikit jalan yang tersedia, dan tidak ada arah lalu lintas air, dan tidak ada/sedikit transportasi publik darat dan laut
Demografis Mempertimbangkan faktor dibawah ini: 1) Komposisi penduduk asli-pendatang	Penduduk asli jumlahnya minoritas, dan memiliki pendapatan rumah tangga dan/atau aset yang layak untuk memenuhi keperluan mereka sehari-hari, dan menabung, dan akses untuk menggunakan layanan publik seperti kesehatan, pendidikan, dan lain-lain.	Komposisi yang seimbang antara penduduk asli dan pendatang	Penduduk asli jumlahnya mayoritas, dan tidak memiliki pendapatan rumah tangga dan/atau aset yang layak untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, menabung, dan akses untuk menggunakan layanan publik (kesehatan, pendidikan, dan lain-lain)

# Lampiran VI

## **Pembahasan Aspek Non Teknis**

Lampiran VI ini dibuat sebagai catatan mengingat bahwa di dalam proses penyusunan AMDAL Kegiatan Terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG, terdapat beberapa aspek non-teknis yang biasanya bukan merupakan bagian dari lingkup studi AMDAL karena memang aspek non-teknis tersebut bukan merupakan dampak langsung yang timbul sehubungan dengan adanya rencana Kegiatan Terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG. Di samping itu, penyelesaian beberapa aspek non-teknis tersebut lebih banyak membutuhkan keterlibatan pihak lain di luar Tangguh LNG sebagai pemrakarsa Proyek Pengembangan Tangguh LNG. Aspek-aspek non-teknis yang dimaksud meliputi: 1) Alokasi Gas; 2) Dana Bagi Hasil (DBH) dan; 3) Kompensasi Adat.

### 1. Alokasi Gas

Sebagai bagian dari komitmen aspek non-teknis dari Kegiatan Terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG, Tangguh LNG mendukung upaya untuk merealisasikan Surat Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 4112 /13/MEM.M/2014 tertanggal 18 Juni 2014 Perihal: Persetujuan Alokasi LNG dari Kilang LNG Tangguh Kepada Provinsi Papua Barat untuk Pemenuhan Kebutuhan Kelistrikan di Wilayah Papua ("**Surat Menteri ESDM**"). Dukungan Tangguh LNG diberikan dengan tetap memperhatikan persyaratan penjualan LNG tersebut sebagaimana tertuang di dalam surat BP Berau Ltd. kepada SKK Migas No. 1495/SKK MIGAS/Berau/S/2014 tertanggal 22 Mei 2014 Perihal: Konfirmasi untuk Menjual sampai dengan Maximum 20 mmscf Gas Pipa atau 0,16 mtpa LNG untuk Pembangkitan Listrik di Provinsi Papua Barat dan Provinsi Papua ("**Surat BP**"), dan persyaratan lainnya yang akan disepakati oleh Tangguh LNG dengan calon pembeli LNG, serta ketentuan hukum yang berlaku.

Untuk merealisasikan Surat Menteri ESDM tersebut, SKK Migas telah mengeluarkan surat kepada BP Berau Ltd. No. SRT-0022/SKKH0010/2014/S2 tertanggal 1 Juli 2014 Perihal: Alokasi LNG dari Kilang LNG Tangguh kepada Provinsi Papua Barat untuk Pemenuhan Kebutuhan Listrik di Wilayah Papua ("**Surat SKK Migas**"). Di dalam Surat SKK Migas tersebut, Tangguh LNG diminta untuk mengkoordinasikan pembahasan dengan Gubernur Papua Barat, Bupati Teluk Bintuni dan Bupati Fakfak guna menyepakati satu BUMD/Perusda yang akan menjadi pihak pembeli LNG.

Realisasi atas komitmen alokasi gas untuk kepentingan kelistrikan di Wilayah Papua juga akan sangat tergantung pada, antara lain, keputusan bersama oleh Gubernur Papua Barat, Bupati Teluk Bintuni dan Bupati Fakfak untuk menyepakati satu BUMD/Perusda yang akan menjadi calon pembeli LNG sesuai dengan aturan yang berlaku, kemampuan BUMD/Perusda yang ditunjuk untuk mendanai dan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Gas dengan jadwal yang sesuai dengan perkembangan Proyek Pembangunan Tangguh Train 3 serta dengan biaya yang secara komersial wajar, serta kemampuan BUMD/Perusda untuk menjual listrik kepada PLN atau konsumen dengan harga jual yang layak.

## 2. Dana Bagi Hasil (DBH)

Sehubungan dengan tuntutan masyarakat dan pemerintah daerah untuk mendapatkan informasi yang jelas mengenai DBH yang akan diperoleh dari penjualan hidrokarbon yang dihasilkan dari proyek Tangguh LNG, Kementerian Keuangan dengan dukungan SKK Migas dan Ditjen Migas agar memberikan informasi mengenai perkiraan nilai DBH yang akan diterima oleh Pemerintah Daerah, khususnya selama masa konstruksi Proyek Pengembangan Tangguh LNG yang diperkirakan berlangsung pada tahun 2014-2019. Perkiraan Penerimaan DBH selama kurun waktu tersebut akan mempertimbangkan kesepakatan antara Tangguh LNG dengan SKK Migas yang tertuang di dalam Berita Acara tertanggal 26 April 2013 untuk menjaga penerimaan tahunan bagian Pemerintah Kabupaten Teluk Bintuni dari Tangguh pada tingkat nilai yang memadai dengan mengatur pemungutan hak pengembalian Pajak Pertambahan Nilai (PPN) selama pelaksanaan *engineering* dan konstruksi Proyek Tangguh LNG Train 3. Hal lain yang perlu dipertimbangkan adalah perkiraan tingkat produksi Tangguh LNG dan asumsi faktor-faktor lainnya yang mempengaruhi perhitungan DBH selama kurun waktu tersebut.

## 3. Kompensasi Adat

Bupati Teluk Bintuni akan berkoordinasi dengan Gubernur Papua Barat, SKK Migas serta Tangguh LNG untuk mempersiapkan program sebagai tanggapan atas aspirasi masyarakat adat untuk mendapatkan “uang ketuk pintu” sebesar Rp. 54.000.000.000,00 (lima puluh empat miliar rupiah).

Kronologi pembahasan atas ke-tiga aspek non-teknis AMDAL oleh pihak-pihak terkait di Jakarta, antara lain, sebagai berikut:

Tanggal	Perihal	Tempat	Peserta Rapat	Keterangan
7 Januari 2014	Tiga aspek non-teknis AMDAL	Kantor KLH Jakarta	Pimpinan: Menteri Lingkungan Hidup Peserta antara lain: 1. Gubernur Papua Barat; 2. Kepala MRP; 3. Kepala DPRD Papua Barat; 4. Bupati Fakfak; 5. Bupati Bintuni; 6. Bapedalda Papua Barat; 7. KLH Bintuni; 8. BLH Fakfak; 9. Dirjen Migas; 10. SKK Migas; 11. Wakil BP Berau Ltd.	Di dalam pertemuan tersebut Menteri LH menyampaikan bahwa pertemuan lanjutan yang khusus membahas ke-tiga aspek non-teknis AMDAL harus segera dilakukan oleh pejabat yang berwenang.  Secara paralel, persiapan Rapat Komisi AMDAL lanjutan di Bintuni akan terus dilakukan, didahului oleh pertemuan antara Bupati Fakfak dan Bupati Teluk Bintuni dengan masyarakatnya.  Risalah rapat kemudian disampaikan oleh Menteri LH kepada Menteri ESDM dan MenKeu.

Tanggal	Perihal	Tempat	Peserta Rapat	Keterangan
23 Januari 2014	Tiga aspek non-teknis AMDAL	Kantor Kementrian ESDM Jakarta	Pimpinan: Wakil Menteri ESDM Peserta antara lain: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dirjen Migas;</li> <li>2. Deputi I KLH;</li> <li>3. Gubernur Papua Barat;</li> <li>4. Kepala DPRD PB;</li> <li>5. Bupati Teluk Bintuni;</li> <li>6. Bupati Fakfak,</li> <li>7. DJPK;</li> <li>8. Sekretaris SKK Migas;</li> <li>9. BP Berau Ltd</li> </ol>	<p>Wakil Menteri ESDM menyampaikan agar Dirjen Migas mengundang wakil Depdagri, Kemenkeu, BPKP, BPK, SKK Migas untuk membahas DBH dan kompensasi adat.</p> <p>Wamen ESDM menyatakan dukungannya agar surat persetujuan alokasi gas segera dikeluarkan. Oleh karenanya, Dirjen Migas dan SKK Migas diminta untuk menyelesaikan proses administratif yang tertunda terkait masalah alokasi gas ini.</p> <p>Proses AMDAL tetap dilanjutkan dan direncanakan dilakukan di Bintuni pada 11-12 Februari 2014.</p>
28 Januari 2014	DBH dan Kompensasi Adat	Kantor Dirjen Migas Jakarta	Pimpinan: Dirjen Migas Peserta: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perwakilan DJPK;</li> <li>2. Direktorat Jendral Anggaran;</li> <li>3. Direktorat Jendral Pajak (DJP);</li> <li>4. Deputi I KLH;</li> <li>5. Direktur terkait Migas;</li> <li>6. Sekretaris SKK Migas;</li> <li>7. BPKP; dan</li> <li>8. BP Berau Ltd.</li> </ol>	<p>Dirjen Migas menyampaikan agar SKK Migas, Migas dan Kemenkeu diminta melanjutkan koordinasi untuk menyelesaikan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam menyusun prognosa angka simulasi DBH Tangguh.</p> <p>Arahan Dirjen Migas: Tangguh LNG agar berkoordinasi dengan Bupati Teluk Bintuni untuk membuat daftar program sebagai langkah untuk menyelesaikan masalah kompensasi adat.</p> <p>BPKP mengingatkan agar dihindari adanya pembayaran dalam bentuk tunai atas kompensasi adat ini karena hal tersebut berpotensi menimbulkan adanya pelanggaran terhadap perundang-undangan anti korupsi, apabila pembayaran dalam bentuk tunai tersebut tidak mengikuti ketentuan perundang-undangan yang berlaku.</p>

Tanggal	Perihal	Tempat	Peserta Rapat	Keterangan
7 Februari 2014	DBH	Kantor Ditjen Migas Jakarta	Pimpinan: Direktur Pembinaan Program Migas Peserta : 1. Perwakilan dari Ditjen Perimbangan Keuangan (DJPK); 2. Ditjen Pajak (DJP); 3. Ditjen Migas; 4. SKK Migas; 5. BP Berau Ltd.	SKK Migas akan memberikan data pendukung tentang penghasilan Tangguh, termasuk penjelasan realisasi yang dicapai 2013.  Hasil perhitungan perkiraan DBH akan dipresentasikan sebelum Sidang Komisi Amdal di Bintuni
14 April 2014	Alokasi Gas	Kantor Dirjen Migas	Pimpinan: Direktur Pembinaan Program Migas Peserta: 1. Perwakilan SKK Migas; 2. PT PLN (Persero); 3. Pemda Papua Barat; 4. BP Berau Ltd	Diperlukan segera surat resmi rekomendasi SKK Migas dan surat konfirmasi BP Berau Ltd mengenai kesediaan alokasi gas untuk kelistrikan di Wilayah Papua, sehingga Dirjen Migas dapat meneruskan rekomendasi tersebut kepada Menteri ESDM. SKK Migas dan BP Berau Ltd akan segera menindaklanjuti hasil rapat tersebut.
15 April 2014	Isu-isu yang menunda Proyek Pengembangan Tangguh (Alokasi Gas, DBH dan Kompensasi Adat)	Kantor MenKo Jakarta	Pimpinan: Kepala Komite Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (KP3EI) Peserta: 1. Perwakilan dari Kemenko Perekonomian; 2. Kemkeu (DJPK) 3. Kemdagri, Ditjen Migas; 4. SKK Migas; dan 5. Pemda Papua Barat	Semua instansi terkait agar berkoordinasi untuk segera menyelesaikan proses persetujuan AMDAL Kegiatan Terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG, terutama masalah-masalah yang menunda persetujuan tersebut. KP3EI akan terus memantau perkembangan penyelesaian AMDAL ini.

Tanggal	Perihal	Tempat	Peserta Rapat	Keterangan
8 Mei 2014	DBH	Kantor Dit. PNBPN, DJA	Pimpinan: Kasubdit PNBPN Peserta: 1. Perwakilan Dit. Penerimaan Negara Bukan Pajak - Ditjen Anggaran (PNBPN-DJA); 2. Ditjen Pajak; 3. SKK Migas	Beberapa tambahan data penting dibutuhkan oleh DJA dari Ditjen Pajak, SKK Migas dan BP Berau Ltd.
2 Juni 2014	DBH	Kantor Direktur PNBPN, DJA (Kemenkeu)	Pimpinan: Kasubdit PNBPN DJA Peserta: 1. Perwakilan SKK Migas; and 2. Ditjen Migas	SKK Migas diminta untuk menyampaikan hasil klarifikasi data tentang distribusi penerimaan dan <i>entitlement</i> Pemerintah pada 2014-2020 dari LNG Tangguh, dan data kewajaran nilai <i>Cost Recovery</i> dan kewajaran nilai perkiraan <i>reimbursement</i> PPN setiap tahun.
13 Juni 2014	Tiga aspek non-teknis AMDAL	Kantor ESDM Jakarta	Pimpinan: Wakil Menteri ESDM Peserta: 1. Direktur Pembinaan Hulu Migas; dan 2. tim Ditjen Migas, Deputi I KLH; 3. Perwakilan Kemenkeu (DJPK dan DJP); 4. SKK Migas (Ketua UPP Tangguh Train 3); dan 5. Wakil Direktur Hulu Migas di Kemenko Perekonomian; dan 6. BP Berau Ltd.	Surat persetujuan alokasi gas untuk Papua Barat - termasuk Teluk Bintuni dan Fakfak akan ditandatangani Menteri ESDM minggu depan. Dirjen Migas agar segera menyampaikan surat rekomendasi ke Menteri ESDM terkait persetujuan ini sesegera mungkin.  Kemenkeu masih menunggu tambahan / revisi data dari SKK Migas. Kemenkeu agar memberikan penjelasan perkiraan DBH Tangguh dalam bentuk surat resmi ke Pemda Bintuni.  Arahan Wamen: Diperlukan pernyataan komitmen bersama antara Bupati Bintuni, Gubernur Papua Barat, BP, SKK Migas dan Ditjen Migas dalam menganggapi aspirasi masyarakat atas kompensasi adat Rp 54M.

Tanggal	Perihal	Tempat	Peserta Rapat	Keterangan
3 Juli 2014	Tiga aspek non-teknis AMDAL	Hotel Sahid Jaya Jakarta	Pimpinan: Head of Country BP Peserta: 1. AsDep KLH; 2. Ketua DPRD Papua Barat; 3. Sekda Bintuni; 4. Sekda Fakfak; 5. Direktur Dana Perimbangan (Kemenkeu); 6. Perwakilan SKK Migas (Ketua UPP Tangguh Train 3); dan 7. BP Berau Ltd	Melalui Sekda, kedua Bupati menyampaikan dukungannya terhadap persetujuan AMDAL serta mengharapkan agar ke-tiga aspek non-teknis tetap dapat dilanjutkan secara terpisah.  KLH menyampaikan bahwa ke-tiga aspek non-teknis ini akan dimasukkan dalam SK Kelayakan Lingkungan yang mencakup kewajiban pihak terkait. SK Kelayakan Lingkungan ini akan disampaikan KLH kepada institusi terkait untuk ditindaklanjuti.

**Referensi korespondensi terkait dan undangan rapat untuk pembahasannya :**

1. Surat Menteri Lingkungan Hidup kepada Presiden No. B-14078/MENLH/PDAL/12/2013 tanggal 23 Desember 2013, perihal Dana Bagi Hasil, Kompensasi Adat dan lain-lain termasuk Alokasi Gas;
2. Surat Menteri Lingkungan Hidup kepada Menteri ESDM dan Menteri Keuangan No. B-476/MENLH/PDAL/01/2014 tanggal 17 Januari 2014, perihal Dana Bagi Hasil;
3. Surat undangan rapat tanggal 23 Januari 2014 dari Sekretaris Jenderal ESDM No. 071/Und/SJN/2014 tanggal 22 Januari 2014, perihal Dana Bagi Hasil, Alokasi Gas, Kompensasi Adat;
4. Surat undangan rapat tanggal 28 Januari 2014 dari Direktur Teknik dan Lingkungan Migas No. 192/18.05/DMT/2014 tanggal 24 Januari 2014, perihal Dana Bagi Hasil dan lain-lain;
5. Surat undangan rapat tanggal 7 Februari 2014 dari Direktur Pembinaan Program Migas No. 286/Und/04/DMB/2014 tanggal 5 Februari 2014, perihal Dana Bagi Hasil;
6. Surat Menteri Lingkungan Hidup kepada Menteri ESDM dan Menteri Keuangan No. B-4758/MENLH/PDAL/04/2014 tanggal 29 April 2014, perihal Tindak Lanjut Dana Bagi Hasil, Uang Ketuk Pintu, Alokasi Gas;
7. Surat undangan rapat tanggal 13 Juni 2014 dari Wakil Menteri ESDM No. 0713/Und/04/WM/2014 tanggal Juni 2014, perihal Tindak Lanjut AMDAL LNG Tangguh;
8. Surat undangan rapat pada tanggal 3 Juli 2014 di Hotel Sahid Jaya dari Head of Country BP Berau Ltd. tertanggal 1 Juli 2014, perihal Koordinasi Amdal Rencana Kegiatan Terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG.



MENTERI LINGKUNGAN HIDUP  
REPUBLIK INDONESIA

Nomor : B-14078 /MENLH/PDAL/12/2013  
Hal : Laporan Proses Penilaian Dokumen AMDAL  
Rencana Kegiatan Pengembangan Tangguh LNG  
oleh BP Berau Ltd.

23 Desember 2013

Yth.  
**Presiden Republik Indonesia**  
di  
Jakarta

Sehubungan dengan pelaksanaan penilaian dokumen AMDAL Rencana Kegiatan Terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG di Kabupaten Teluk Bintuni dan Kabupaten Fakfak, Provinsi Papua Barat oleh BP Berau Ltd., maka bersama ini dengan hormat disampaikan laporan sebagai berikut:

1. Proses penilaian AMDAL Rencana Kegiatan Terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG di Kabupaten Teluk Bintuni dan Kabupaten Fakfak, Provinsi Papua Barat oleh BP Berau Ltd. telah melalui proses penilaian KA ANDAL dan telah diterbitkan Keputusan Kesepakatan KA ANDAL dengan Surat Keputusan Ketua Komisi Penilai AMDAL Pusat, Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 30 Tahun 2013 tentang Kerangka Acuan Analisis Dampak Lingkungan Rencana Kegiatan Terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG, di Kabupaten Teluk Bintuni dan Kabupaten Fakfak, Provinsi Papua Barat oleh BP Berau Ltd. pada tanggal 24 Juli 2013. Selanjutnya telah dilakukan penilaian dokumen ANDAL, RKL dan RPL pada tanggal 28 Desember 2013 untuk Rapat Tim Teknis Penilai AMDAL Pusat dan Rapat Komisi Penilai AMDAL Pusat pada tanggal 5 Desember 2013 di Bintuni.
2. Pada Rapat Komisi Penilai AMDAL di Bintuni tersebut perwakilan dari masyarakat yang hadir menyampaikan beberapa *concern* terkait dengan proyek Pengembangan LNG Tangguh secara keseluruhan. Benang merah dari masukan-masukan yang disampaikan adalah masyarakat menolak untuk membahas dan menerima rencana pengembangan *Train 3* dan *4* LNG Tangguh sebelum Pihak BP Berau Ltd. menyelesaikan masalah 'tersisa' dari pembangunan dan pengembangan *Train 1* dan *2* eksisting.

Beberapa masalah yang terkait dengan *Train 1* dan *2* antara lain:

- a. Pembagian Dana Bagi Hasil (DBH) yang lebih adil dan transparan dimana masyarakat menuntut:
  - 1) Porsi terbesar DBH diberikan kepada Kabupaten bukan kepada Provinsi, sehingga masyarakat meminta penjelasan kepada Gubernur Papua Barat yang berdasarkan Peraturan Gubernur telah membagi DBH dengan porsi bagi provinsi lebih besar dari porsi untuk kabupaten penghasil;

- 2) Diakuinya hak adat masyarakat Teluk Bintuni dan Fakfak sebagai pemilik sumber daya gas sehingga ada bagian yang langsung diberikan kepada masyarakat adat;
  - 3) Penjelasan dari Pemerintah RI tentang rumusan DBH dan proses pembagian yang transparan sehingga masyarakat mengetahui hasil penjualan LNG dan Kondensat yang pada akhirnya diketahui DBH yang akan didapat. Masyarakat menuntut MRP Papua Barat untuk bertindak dalam rangka penetapan Perdasus yang mengatur DBH di Papua Barat yang lebih proporsional, transparan dan mengakui hak-hak adat masyarakat Papua Barat.
- b. Penyelesaian komitmen-komitmen yang diklaim oleh masyarakat telah dijanjikan oleh BP Tangguh atau pemerintah atas hak-hak adat masyarakat Papua seperti:
- 1) Uang ketuk pintu yang semestinya dibayar oleh BP Tangguh, namun sampai sekarang belum direalisasikan;
  - 2) Uang kompensasi sebesar 10 Milyar setiap sumur untuk 6 sumur yang telah dibayarkan sebesar 6 Milyar masih tersisa Rp. 54 Milyar untuk dilunasi;
- c. Memperjelas status tanah lokasi kilang LNG BP Tangguh yang dituntut oleh masyarakat adalah sebagai Hak Guna Usaha (HGU). Sebagai informasi area yang sekarang digunakan sebagai lokasi kilang LNG adalah Kampung Tanah Merah, yang pada saat dibangun Kilang LNG, masyarakat Tanah Merah direlokasi ke wilayah Kampung Saengga. Masyarakat Tanah Merah tidak mau tercabut identitasnya karena tidak memiliki tanah sementara sekarang mereka menumpang di wilayah Saengga. Masyarakat Tanah Merah menghendaki setelah kegiatan LNG selesai mereka dapat kembali ke tanah mereka.
- d. Disamping itu masyarakat menghendaki agar pihak BP Tangguh dapat segera menindaklanjuti:
- 1) perbaikan pengelolaan dari program CSR yang telah dilaksanakan dan rencana pengelolaan, seperti mekanisme pemberian beasiswa di bidang pendidikan, bantuan kesehatan khususnya fasilitas untuk kaum perempuan di kedua kabupaten, sosial ekonomi berupa bantuan untuk pengusaha lokal maupun petani dan nelayan, rumah ibadah (kegiatan keagamaan), serta menyesuaikan mekanisme dana bagi hasil untuk masyarakat adat, hak ulayat masyarakat di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil;
  - 2) merealisasikan komitmen alokasi gas dan penyediaan listrik untuk Papua Barat;
  - 3) melakukan pendekatan sosial kepada masyarakat dan melibatkan masyarakat adat baik dalam kegiatan eksisting maupun rencana kegiatan;
  - 4) mempertimbangkan untuk mengutamakan penggunaan tenaga kerja lokal yang memprioritaskan masyarakat Papua Barat asli khususnya Kabupaten Teluk Bintuni dan Kabupaten Fakfak, komitmen BP Berau Ltd untuk mencapai proporsi 85 % pekerja Papua Barat pada tahun 2029 dianggap terlalu lama;
  - 5) menjelaskan kriteria dan proses penentuan DAV (*Direct Affected Village*) dan mempertimbangkan untuk mengkaji ulang daftar DAV yang ada;
  - 6) mensinergikan program pembangunan infrastruktur daerah dengan bantuan CSR dari pemrakarsa terutama yang terkait dengan pembangunan dan peningkatan jalan, baik

jalan provinsi maupun jalan kabupaten, serta peningkatan jumlah distrik yang teraliri listrik.

3. Mengingat bahwa rencana pengembangan Tangguh LNG ini merupakan proyek strategis dan termasuk dalam MP3EI (*Master Plan Percepatan Pembangunan Ekonomi Indonesia*) dan diperkirakan bahwa tuntutan yang disampaikan oleh masyarakat Papua Barat akan menjadi preseden dan dikuatirkan akan menjadi hambatan bagi rencana pengembangan Tangguh LNG di masa mendatang maupun kegiatan-kegiatan migas lainnya yang saat ini terdapat beberapa KKKS yang sedang melakukan kegiatan eksplorasi di Provinsi Papua Barat, maka penyelesaian yang komprehensif atas tuntutan masyarakat ini menjadi penting untuk menjadi perhatian Bapak Presiden.

Demikian yang dapat kami sampaikan. Atas perhatian Bapak Presiden diucapkan terima kasih.



Prof. Dr. Bahasari Kambuaya, MBA

Tembusan:

1. Bapak Wakil Presiden Republik Indonesia;
2. Sekretaris Kabinet Republik Indonesia;
3. Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia;
4. Menteri Koordinator Bidang Kesejahteraan Rakyat Republik Indonesia;
5. Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia;
6. Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia;
7. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia;
8. Menteri Keuangan Republik Indonesia;
9. Kepala SKKMigas;
10. Petinggal.



**MENTERI LINGKUNGAN HIDUP  
REPUBLIK INDONESIA**

Nomor : B-476 /MENLH/PDAL/01/2014  
Hal : Risalah Rapat Koordinasi terkait  
AMDAL Rencana Kegiatan  
Pengembangan Tangguh LNG  
oleh BP Berau Ltd.

17 Januari 2014

**Yth.**

**1. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral**

**2. Menteri Keuangan**

di

Jakarta

Sebagai tindak lanjut dari Rapat Komisi Penilai AMDAL Pusat untuk membahas ANDAL, RKL dan RPL Rencana Kegiatan Terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG di Kabupaten Teluk Bintuni dan Kabupaten Fakfak, Provinsi Papua Barat oleh BP Berau Ltd., yang dilaksanakan pada tanggal 5 Desember 2013 di Teluk Bintuni, sebagaimana juga telah kami laporkan kepada Bapak Presiden Republik Indonesia melalui surat nomor: B-14078/MENLH/PDAL/12/2013 tanggal 23 Desember 2013, tentang Laporan Proses Penilaian Dokumen AMDAL Rencana Kegiatan Pengembangan Tangguh LNG oleh BP Berau Ltd. (*terlampir*), maka telah dilaksanakan rapat koordinasi pada tanggal 7 Januari 2014. Rapat koordinasi tersebut dipimpin oleh Menteri Lingkungan Hidup dan dihadiri oleh:

1. Gubernur Papua Barat;
2. Ketua MRP Papua Barat;
3. Ketua DPRD Papua Barat;
4. Bupati Teluk Bintuni;
5. Bupati Fakfak;
6. Kepala Bapedalda Provinsi Papua Barat;
7. Kepala Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Papua Barat;
8. Kepala Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Fakfak;
9. Kepala Kantor Lingkungan Hidup Kabupaten Teluk Bintuni;
10. Direktur Teknik dan Lingkungan, Direktorat Jenderal Migas, Kementerian ESDM;
11. Kepala Divisi Penunjang Operasi, SKKMIGAS; serta
12. *Head of Country* BP Indonesia.

KEMENTERIAN LINGKUNGAN HIDUP

GEDUNG B LANTAI 2, JALAN DI PANJAITAN, KEBON NANAS, JAKARTA 13410

TELEPON : 021-8517148, 8580067-69 (OPERATOR) • FAKSIMILE 021-8517147 • SITUS : [www.menlh.go.id](http://www.menlh.go.id)

Rapat koordinasi tersebut bertujuan untuk mempersiapkan jawaban dari Pemerintah tentang hal-hal penting yang disampaikan oleh masyarakat pada rapat Komisi Penilai AMDAL Pusat di Teluk Bintuni pada tanggal 5 Desember 2013 yang lalu. Jawaban tersebut menjadi sangat penting, bagi kelanjutan proses penilaian AMDAL Rencana Kegiatan Terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG di Kabupaten Teluk Bintuni dan Kabupaten Fakfak, Provinsi Papua Barat oleh BP Berau Ltd.

Dari sekian banyak hal yang menjadi perhatian yang disampaikan oleh masyarakat, berdasarkan masukan yang disampaikan oleh Gubernur Papua Barat, Ketua MRP Papua Barat, Ketua DPRD Provinsi Papua Barat, Bupati Teluk Bintuni dan Bupati Fakfak, hal terpenting yang menjadi akar masalah terutama untuk aspek sosial ekonomi yang merupakan dampak dari kegiatan pengembangan LNG Tangguh adalah:

1. Pelibatan, komunikasi, koordinasi dan kerja sama terutama dengan Gubernur sebagai wakil dari Pemerintah di daerah dan juga Bupati di mana lokasi sumber daya minyak dan gas berada, dalam proses penetapan Wilayah Kerja Pertambangan (WKP), serta perencanaan dan pelaksanaan pengelolaan kegiatan hulu migas dalam rangka didapatkan persepsi yang tepat dan utuh. Selanjutnya para Pimpinan Daerah dapat menjelaskan kepada masyarakat sehingga dapat dihindari munculnya persepsi negatif dan masalah sosial di masyarakat terhadap kegiatan hulu migas dalam hal ini khususnya untuk pengembangan LNG Tangguh.
2. Penjelasan dari Pemerintah tentang pengaturan Dana Bagi Hasil (DBH) migas terutama dalam kerangka Otonomi Khusus di Provinsi Papua Barat, sehingga Pemerintah Provinsi Papua Barat dapat merumuskan dan menuangkan dalam Rancangan Peraturan Daerah Khusus (Perdasus) untuk pengaturan DBH yang saat ini sedang diproses. Rancangan Perdasus ini sangat penting bagi daerah untuk dapat mengoptimalkan hasil dari pemanfaatan SDA berupa minyak dan gas bumi bagi percepatan pembangunan dan peningkatan kesejahteraan masyarakat Papua Barat.

Mengingat 2 (dua) hal pokok sebagaimana tersebut di atas, kebijakan dan pengaturannya merupakan kewenangan Saudara Menteri ESDM dan Saudara Menteri Keuangan, maka dimohon perhatian dan perkenan untuk dapat menjelaskan secara langsung kepada Pimpinan Daerah di Provinsi Papua Barat. Selanjutnya, dalam kerangka penyelesaian proses penilaian Amdal bagi Rencana Kegiatan Terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG di Kabupaten Teluk Bintuni dan Kabupaten Fakfak, Provinsi Papua Barat oleh BP Berau Ltd., penjelasan dan penyelesaian terhadap hal-hal yang disampaikan oleh masyarakat menjadi penting, maka diusulkan agar dapat dibuat forum terpisah untuk menyelesaikannya sebagaimana pernah disampaikan melalui surat kami nomor: B-10188/MENLH/PDAL/09/2013, tertanggal 13 September 2013, tentang Perkembangan Proses AMDAL Rencana Kegiatan Pengembangan Tangguh LNG oleh BP Berau Ltd. Hasil kesepakatan dari forum ini yang kemudian akan diadopsi dalam proses AMDAL sehingga diharapkan Izin Lingkungan bagi Rencana Kegiatan Terpadu Proyek Pengembangan Tangguh LNG di Kabupaten Teluk Bintuni dan Kabupaten Fakfak, Provinsi Papua Barat oleh BP Berau Ltd. dapat segera diterbitkan.