

# MITIGASI BENCANA TANAH LONGSOR PADA AREA PROYEK INFRASTRUKTUR IPA DAN RESERVOAR

Marsudi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak  
E-mail : marsudidr@yahoo.co.id

**Abstrak.** Gerakan tanah atau longsor tanah (*land slide*) adalah merupakan salah satu bencana alam geologi yang paling sering terjadi di berbagai daerah wilayah Indonesia yang menimbulkan kerugian pada infrastruktur. Infrastruktur seperti kerusakan jalan raya, kerusakan tata guna lahan, bangunan property (perumahan), dan bahkan sampai merenggut korban manusia sebagai korban bencana tersebut. Gerakan tanah merupakan bencana geologi yang dapat diartikan sebagai suatu produk dari proses gangguan kesetimbangan alam, yang menyebabkan massa tanah dan atau massa batuan bergerak ke daerah yang lebih rendah. Secara topografi lereng dengan kemiringan  $> 35^\circ$  dan terdiri dari jenis lapisan tanah hasil proses pelapukan yang telah mengalami pergerakan tanah jenis longsor (*land sliding*) ini berbahaya bagi infrastruktur. Metode penelitian yang dilakukan untuk mitigasi dan mendeteksi gerakan tanah (longsor) adalah survey geolistrik (resistivitas) pada umumnya bertujuan untuk mengetahui kondisi atau struktur geologi bawah permukaan berdasarkan variasi tahanan jenis batuan (Grandis, 1986). Struktur geologi yang dapat dideteksi dengan metode ini terutama adalah yang mempunyai kontras tahanan jenis yang cukup jelas terhadap daerah sekitarnya, misalnya untuk keperluan eksplorasi air tanah, mineral, geothermal (panas bumi) dan daerah lemah (rawan longsor). Hasil longsor secara geologi fisik terlihat pada longsor tebing yang telah terjadi beberapa tahun yang lalu yakni setelah dipotong bagian kaki bukit untuk ditambang sebagai tanah urug (bahan galian tanah dan batuan / bahan galian C). Pemotongan bukit hingga elevasi  $\pm 22$  m dpl setebal 10 m hingga 15 m, akibatnya hilangnya daya dukung di kaki bukit sehingga terjadi proses longsor tanah mulai dari lereng hingga bagian atas pada elevasi 108 m dpl. Rekahan dan pecah-pecah di permukaan pada beberapa ketinggian mulai dari 22 m dpl hingga 108 m dpl, dengan dimensi bukaan 10 cm hingga 50 cm panjang antara 1 meter hingga 20 meter melintang tegak lurus terhadap kemiringan lereng.

**Kata Kunci:** bencana, mitigasi, longsor, infrastruktur dan geolistrik

## I. ISI MAKALAH

### A. Latar Belakang

Bencana alam tanah longsor secara geologi merupakan bencana alam yang sering terjadi akibat proses pergerakan material tanah pada daerah lereng secara alamiah yang siklus kejadiannya mulai dari skala musiman atau beberapa puluhan tahun itu berulang setiap musim penghujan.

Mitigasi bencana geologi itu harus dilakukan seperti gempa bumi, gelombang tsunami, letusan gunung api dan gerakan tektonik merupakan bencana murni yang disebabkan oleh proses geologi, sehingga tidak dapat dicegah dan sulit diprediksi. Sedangkan bencana geologi yang berupa gerakan massa tanah dan batuan (longsor), amblesan tanah dan banjir sering terjadi tidak hanya akibat kondisi geologi yang rawan, tetapi sering juga disebabkan oleh kegiatan dan ulah manusia

dalam mengeksploitasi lahan. Akibat pengaruh perubahan iklim sehingga proses bencana tanah longsor menjadikan bencana yang sering terjadi di seluruh Indonesia.

### B. Permasalahan

Permasalahan longsor tanah (*land sliding*) pada prinsipnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, air, beban serta berat jenis tanah atau batuan. Faktor-faktor penyebab tanah longsor antara lain: hujan, lereng terjal, ketebalan tanah yang kurang padat (*thickness of unconsolidated soil*), tanah atau batuan yang kurang kuat, aktivitas penambangan galian batu dan tanah pada dasar tebing, tata guna lahan, getaran akibat gempa, penurunan muka

air, adanya beban tambahan akibat resapan air hujan, pengikisan atau erosi, adanya material timbunan pada tebing, adanya bidang diskontinuitas (bidang tidak menerus), penggundulan hutan, daerah timbunan pembuangan sampah.

### C. Tujuan Penelitian

Gerakan massa tanah yang bergerak dari atas ke arah bawah akibat gaya gesek tanah terlampaui oleh tegangan tanah dan adanya gaya gravitasi sering menimbulkan bencana alam longsor tanah (*land sliding*) dan menimbun daerah di bawahnya. Timbunan material tanah yang menimpa infrastruktur baik property perumahan, pergudangan atau pabrik, hal itu sangat membahayakan baik kerusakan infrastruktur secara ekonomi maupun korban nyawa manusia. Kondisi yang demikian menginspirasi tujuan untuk:

- Mengetahui mekanisme proses terjadinya longsor tanah, yaitu dengan mitigasi bencana geologi untuk penyelamatan infrastruktur di daerah kajian
- Penggunaan survey geolistrik untuk mendapatkan analisa bidang longsor

## II. METODE PENELITIAN

Metoda Pendugaan Geolistrik menggunakan jenis resistivity imaging digunakan dalam mitigasi bencana tanah longsor yaitu memperoleh data bidang longsor dalam proses kejadian longsor tanah pada daerah yang untuk infrastruktur IPA dan Reservoir. Pendugaan geolistrik dilakukan pada 3 (tiga) jalur lintasan seperti pada gambar (foto: 1) Secara Geologi jenis batuan berupa tanah laterit (*weathering of soil*) dengan tebal 6 meter–13,9 meter bersifat lunak dan lemah, batuan setengah lapuk berupa brangkal batuan beku dengan ketebalan 2 meter – 4 meter bersifat teguh – agak keras dan bagian bawah merupakan batuan segar (*fresh rock*) berupa batuan grano diorite bersifat massif, kuat dan keras.

Pengukuran geolistrik menggunakan konfigurasi Wenner – Alpha dengan panjang bentang antara 75 hingga 100 meter untuk menduga kedalaman 25–50 meter.

### A. Lokasi titik duga Geolistrik



Gambar 1. Peta lintasan pendugaan Geolistrik di lokasi IPA Bukit Permai

Lintasan titik duga dibuat sejajar dengan kemiringan lereng terdiri dari lintasan 1 (A-B), lintasan 2 (C-D) dan lintasan 3 (E-F), untuk mendeteksi ketebalan lapisan tanah atau batuan yang terdapat di bawah titik duga geolistrik. Lintasan titik duga geolistrik seperti pada Gambar 1.

### B. Metode Pelaksanaan

Metode penelitian yang digunakan dalam pelaksanaan harus sistematis secara berurutan mulai dari proses persiapan, pengambilan data dilapangan, pengolahan data, evaluasi serta penyajian dalam pembuatan laporan yang kesemuanya mengacu pada ketentuan ilmiah, sehingga hasil yang didapatkan bisa dipertanggung jawabkan. Tahap kegiatan pelaksanaan penelitian ini dapat di jelaskan sebagai berikut:

#### 1. Dasar Pengertian Tahanan Jenis

Bila arus listrik searah dialirkan melalui suatu medium maka perbandingan antara perbedaan potensi (V) yang terjadi dengan arus (I) yang diberikan adalah tetap dan besarnya tetapan ini tergantung dari medium tersebut. Tetapan ini disebut tahanan (R), yang didefinisikan atau dinyatakan dalam hubungan matematis pada Persamaan 1.

$$R = \frac{V}{I} \text{ (Ohm)} \quad (1)$$

Jika pada sepotong kawat atau suatu silinder homogen dialirkan arus listrik melalui sumbunya maka tahanan R akan berbanding langsung dengan panjang silinder (L) dan berbanding terbalik dengan luas penampang silinder (A).

$$R \approx \frac{L}{A} \text{ (Ohm.m)} \quad (2)$$

dimana  $\rho$  adalah konstanta perbandingan yang disebut sebagai tahanan jenis (resistivity) dalam satuan Ohm.meter. Dari persamaan tersebut diperoleh Persamaan 3.

$$\rho = \frac{A V}{L I} \text{ (Ohm.m)} \quad (3)$$

#### 2. Konfigurasi Elektroda

Pengukuran geolistrik tahanan jenis dalam pekerjaan pemetaan penyebaran akuifer ini menggunakan metode *Schlumberger*. Susunan elektroda menurut Schlumberger pada prinsipnya terdiri atas 2 (dua) elektroda arus dan potensial.

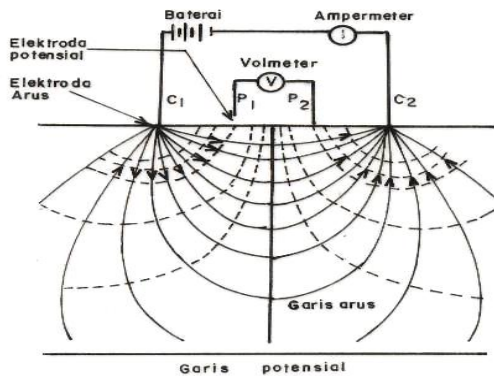
Potensial di P1 yang disebabkan oleh C1.

$$V_1 = - \frac{I \rho}{2 \pi r I} \quad (4)$$

Karena besarnya arus sama dan berbeda kutub,

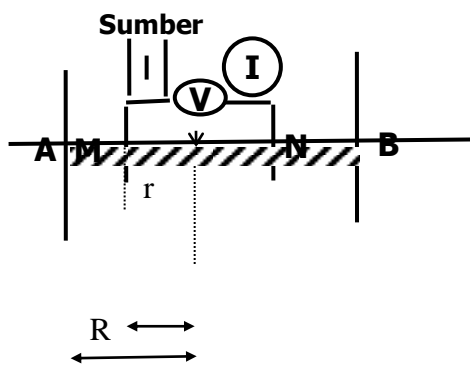
maka potensial di P1 akibat dari arus di C2.

$$V_2 = + \frac{I_p}{2\pi r^2} \quad (5)$$



Gambar 2 Dua Elektroda Arus dan Dua Elektroda Potensial di permukaan bumi

Agar pengukuran tidak bergantung terhadap tahanan sentuh pada elektroda arus A dan B, Wenner (1917) dan C & M Schlumberger (1920) mengajukan cara yang disebut konfigurasi Schlumberger, yaitu dengan meletakkan elektroda A dan B simetris terhadap titik tengah dan menambah elektroda potensial M dan N yang simetris pula terhadap titik tengah diantara elektroda A dan B.



Gambar 3. Susunan Elektroda Schlumberger

Apabila  $R = AB/2$   
Apabila  $r = MN/2$

Maka faktor geometri dari konfigurasi Schlumberger adalah :

$$K = \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (6)$$

$$\begin{aligned} K &= \left[ \left( \frac{1}{R-r} - \frac{1}{R+r} \right) - \left( \frac{1}{R+r} - \frac{1}{R-r} \right) \right] \\ &= \left[ \frac{2\pi}{R-r} - \frac{2\pi}{R+r} \right] = \left[ \frac{4\pi r}{R^2 - r^2} \right] \quad (7) \end{aligned}$$

maka :

$$K = \frac{\pi(R^2 - r^2)}{r^2} = \frac{\pi \left[ \left( \frac{AB}{2} \right)^2 - \left( \frac{MN}{2} \right)^2 \right]}{2 \left( \frac{MN}{2} \right)^2} \quad (8)$$

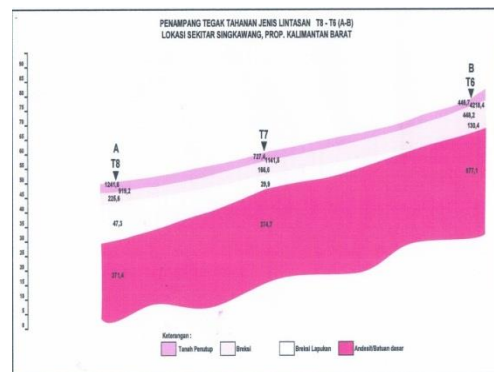
Dimana K adalah faktor geometri dalam satuan meter. Disini jelas terlihat bahwa faktor geometri bergantung pada letak elektroda arus maupun elektroda potensial.

Pada metode ini jarak elektroda potensial jarang diubah-ubah meskipun jarak elektroda arus selalu diubah-ubah. Jarak elektroda arus harus jauh lebih besar dibandingkan jarak elektroda potensial selama melakukan perubahan jarak spasi elektroda. Jarak optimum  $AB/2$  harus lebih besar dari  $5 MN/2$ .

### C. Hasil Interpretasi

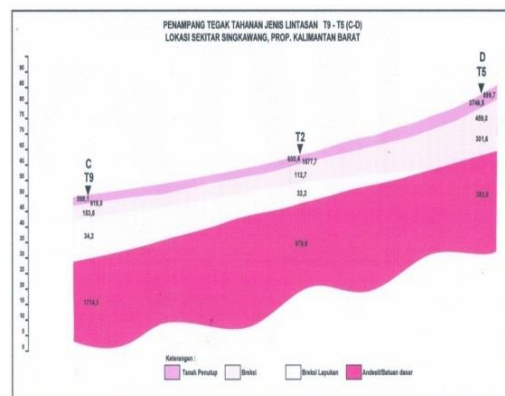
#### 1. Lintasan A-B

Lintasan A-B terletak sebelah timur (kanan) hasil pendugaan geolistrik terlihat pada profil A-B seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Profil tanah dari hasil pendugaan Geolistrik lintasan A-B

#### 2. Lintasan C-D

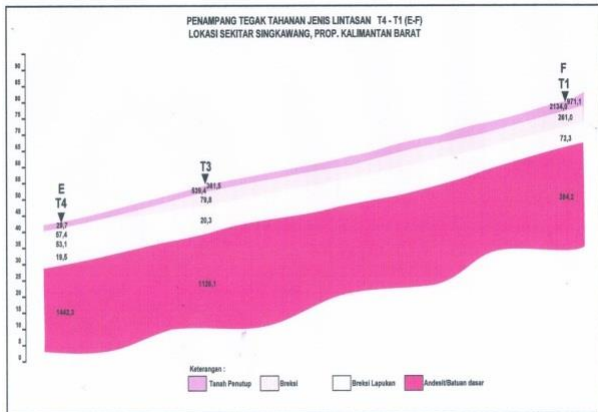


Gambar 5. Profil tanah dari hasil pendugaan Geolistrik lintasan C-D

Lintasan C-D terletak bagian tengah (tengah), hasil pendugaan geolistrik terlihat pada profil C-D seperti pada Gambar 5.

### 3. Lintasan E-F

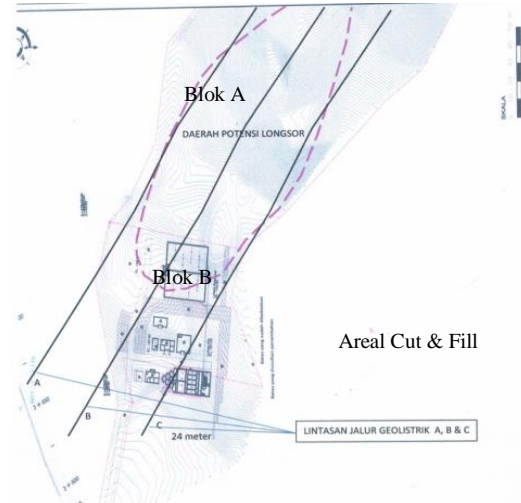
Lintasan E-F terletak bagian Barat (kiri), hasil pendugaan geolistrik terlihat pada profil E-F seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Profil tanah dari hasil pendugaan Geolistrik lintasan E – F

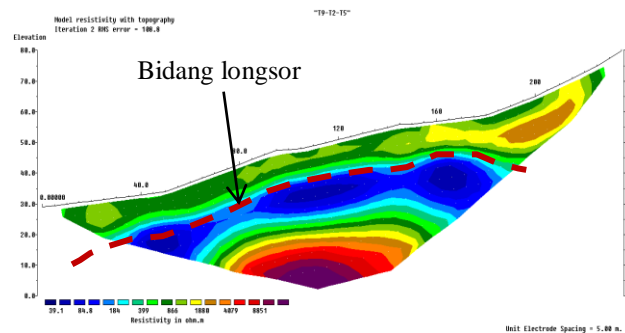
### III. HASIL INTERPRETASI LONGSORAN TANAH

Potensi longsoran tanah digambarkan dalam bentuk zona  $\Delta$  yang digambarkan garis putus.



Gambar 7. Rencana lintasan jalur Geolistrik A, B dan C IPA BUKIT PERMAI ROBAN SINGKAWANG

Gambar 7. Blok A, B dan areal cut & fill, dan ancaman bag atas



Gambar 8. Penampang 2D lintasan Geolistrik C–D yang mewakili bidang longsor

Tabel 1. Hasil interpretasi tahanan jenis dari hasil pendugaan Geolistrik di lokasi Singkawang

No	Kode Lokasi	Koordinat	Ketinggian (meter)	Tahanan Jenis Lapisan (ohm.m)					Ketebalan Lapisan (m)				Kedalaman Lapisan (m)				
				p-1	p-2	p-3	p-4	p-5	t1	t2	t3	t4	d1	d2	d3	d4	d5
1	T-1	0°53'24.32"N 109°0'34.23"E	79	971,1	2134,0	261,0	72,3	394,2	1,2	2,4	6,1	6,3	0,0	1,2	3,6	9,7	16,0
2	T-2	0°53'25.73"N 109°0'33.75"E	68	600,4	1577,7	112,7	32,2	979,9	1,0	0,8	6,2	7,9	0,0	1,0	1,8	8,0	15,9
3	T-3	0°53'26.88"N 109°0'32.28"E	54	351,5	539,4	79,8	20,3	1126,1	0,9	0,7	5,9	8,1	0,0	0,9	1,6	7,5	15,6
4	T-4	0°53'27.66"N 109°0'31.16"E	43	29,7	57,4	53,1	19,5	1442,3	0,8	0,7	4,2	6,4	0,0	0,8	1,5	5,7	12,1
5	T-5	0°53'24.52"N 109°0'35.05"E	82	899,7	3746,5	459,0	301,6	382,6	1,0	1,1	9,0	9,0	0,0	1,0	2,1	11,1	20,1
6	T-6	0°53'25.39"N 109°0'35.20"E	78	445,7	4218,4	488,2	130,4	877,1	1,0	1,2	3,9	8,4	0,0	1,0	2,2	6,1	14,5
7	T-7	0°53'26.89"N 109°0'33.60"E	61	727,4	1141,5	166,6	29,9	347,7	1,1	1,4	3,5	8,8	0,0	1,1	2,5	6,0	14,8
8	T-8	0°53'28.36"N 109°0'32.62"E	48	1241,5	919,2	225,6	47,3	271,4	1,3	1,7	4,8	13,9	0,0	1,3	3,0	7,8	21,7
9	T-9	0°53'27.57"N 109°0'32.23"E	50	598,1	918,0	153,8	34,2	1714,3	0,9	1,0	4,1	13,4	0,0	0,9	1,9	6,0	19,4



## A. Analisis Stabilitas Lereng

### 1. Analisis Cara Fellenius

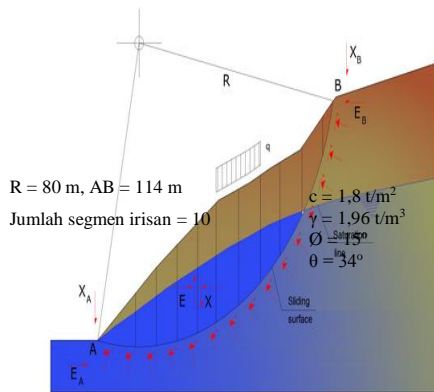
Tabel 2. Hasil Analisis Cara Fellenius

No. Irisan	Berat (W <sub>i</sub> ) (ton)	(θ) <sup>o</sup>	W <sub>i</sub> cos θ <sub>i</sub> (ton)	W <sub>i</sub> sin θ <sub>i</sub> (ton)	U <sub>i</sub> = u <sub>i</sub> .a <sub>i</sub> (ton)	Wcos θ <sub>i</sub> - U <sub>i</sub> (ton)
1.	2079	1,5	2078	54,4	1980	98
2.	4158	2,2	4155	160	3300	854
3.	5544	3,4	5534	329	4620	913
4.	8349	10	8222	1450	5940	2215
5.	9702	15	9371	2511	6710	2668
6.	8140	22	7547	3049	4510	2916
7.	5544	28	4595	2603	3410	1375
8.	4158	35	3582	2385	1980	1265
9.	2002	42	1488	1340	880	605
10.	660	48	401	445	440	18,7
				18101		13017,40

$$SF = \frac{cL + \tan \phi \sum W_i \cos \alpha_i - \sum U_i}{\sum W_i \sin \alpha_i} \quad (9)$$

Tahanan longsor =  $\sum c_i \cdot a_i = 1,8 \times 120 = 216$  ton  
Tan 48° x 13017,4 = 14490

Angka Keamanan tebing Bukit Permai  $SF = \frac{216 + 14490}{18101}$   
= 0,81 < 1 --> Tidak aman



Gambar 9. Bentuk lereng di areal IPA dan Reservoir 150 LPD Bukit Permai – Roban

## B. Resiko yang mungkin terjadi

### 1. Cut and Fill di lokasi IPA dan RESERVOAR

Volume ± 25.410 m<sup>3</sup> dengan γ = 1,8 t/ m<sup>3</sup>, W = 45738 ton, SF=W Cos θ<sub>i</sub>- U<sub>i</sub> / W Sin θ<sub>i</sub>

Kohesi ( c ) = 1,6 t/m<sup>2</sup>, θ = 1 – 2°, panjang bidang longsor 66 m

$$\begin{aligned} \text{Tahanan longsor} &= \sum c_i \cdot a_i = 1,6 \times 66 = 105 \text{ ton} \\ W \cos \theta_i &= 45.738 \times \cos 2^\circ = 45.710 \text{ ton} \\ U_i &= 3630 \times 4 \times 1 = 14.520 \text{ ton} \\ W \sin \theta_i &= 45.738 \times \sin 2^\circ = 1.596 \text{ ton} \\ SF &= \frac{106 + (45.738 - 14.490)}{1506} = 16,5 > 1,5 \text{ OK} \end{aligned}$$

Pada daerah cut and fill (IPA dan RESERVOAR) secara lokasi mantab hanya harus dibuat tiang pancang utk pondasinya berdasar sondir tanah keras pada 3,4 m dari permukaan tanah S-1 (daerah direksi kit). Pada

kedalaman tersebut sdh menembus bidang longsor (lihat gambar 9).

### 2. Blok A (bagian Atas bidang longsor) dengan luas 9.350 m<sup>2</sup>

Potensi longsor bagian areal atas ( 55 m x 170 m) dengan tebal 7 m, sehingga W yang berpotensi longsor = 65.450 m<sup>3</sup>, θ = 35° - 38°, γ = 1,8 t/ m<sup>3</sup>, panjang bidang longsor 170 m.

Tahanan longsor =  $\sum c_i \cdot a_i = 1,6 \times 170 = 256$  ton  
Sehingga W = 117.810 ton

W Cos θ<sub>i</sub> = 117.810 x cos 38° = 87.977 ton

U<sub>i</sub> = 9350 x 5,5 x 1 = 51.425 ton

W Sin θ<sub>i</sub> = 117.810 x sin 38° = 68.850 ton

$SF = \frac{256 + (87.977 - 51.425)}{68850} = 0,55 < 1$  Tidak stabil

### 3. Blok B (blok bagian Bawah bidang longsor) dengan luas 6.600 m<sup>2</sup>

Potensi longsor bagian areal atas ( 55 m x 160 m) dengan tebal 6 m, sehingga W yang berpotensi longsor = 39.600 m<sup>3</sup>, θ = 34° - 38°, γ = 1,8 t/ m<sup>3</sup>, panjang bidang longsor 160 m.

Tahanan longsor =  $\sum c_i \cdot a_i = 1,6 \times 160 = 256$  ton  
Sehingga W = 71.280 ton

W Cos θ<sub>i</sub> = 71.280 x cos 35° = 58.543 ton

U<sub>i</sub> = 6600 x 4,5 x 1 = 29.700 ton

W Sin θ<sub>i</sub> = 71.280 x sin 35° = 41.035 ton

$SF = \frac{256 + (58.543 - 29.700)}{41035} = 0,71 < 1$  Tidak stabil

### 4. Blok Ancaman longsor bagian atas Lokasi Rawan dengan luas 79.818 m<sup>2</sup>

Potensi longsor bagian areal ini ( 79.818 m<sup>2</sup>) dengan tebal 5 m, sehingga W yang berpotensi longsor = 399.090 m<sup>3</sup>, θ = 30° - 35°, γ = 1,8 t/ m<sup>3</sup>, panj. bidang longsor 200 m

Tahanan longsor =  $\sum c_i \cdot a_i = 1,6 \times 200 = 320$  ton  
Sehingga W = 718.362 ton

W Cos θ<sub>i</sub> = 718.362 x cos 30° = 622.119 ton

U<sub>i</sub> = 79818 x 4,5 x 1 = 323.629 ton

W Sin θ<sub>i</sub> = 718.362 x sin 30° = 359.181 ton

$SF = \frac{320 + (622.119 - 323.629)}{359181} = 0,83 < 1$  Tidak stabil

## IV. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan analitis dan interpretasi Geolistrik menunjukkan:

- Secara keseluruhan tebing (lereng) Bukit Permai mulai level 18 m hingga 120 m apabila dalam kondisi hujan dan muka air tanah dekat permukaan, lereng tidak aman dengan SF = 0,80 < 1 berarti Tidak aman. Pada kondisi kering (muka air tanah) pada bagian bawah lereng pada kondisi agak aman dengan SF = 1,08, lereng akan stabil apabila SF = > 1,25 berarti Aman.
- Berdasar perhitungan analitis tiap Blok, menunjukkan pada site plan IPA dan RESERVOAR dilakukan cut and fill kondisi

lereng dengan  $SF = 16,5 > 1,25$  ini aman. Pondasi dengan tiang pancang / bor pile unruk mencegah settlement (penurunan tanah). Tiang pancang harus melewati garis longsor agar struktur aman juga dilakukan drainage menggenangi areal site plan IPA dan RESERVOAR.

3. Kondisi tidak aman pada posisi Blok A dan B yang menepati daerah di atas site plan IPA dan RESERVOAR dengan angka keamanan ( $SF$ ) = 0,55, 0,71 dan 0,83 lereng pada kondisi tidak aman. Harus dilakukan penanggulangan tanah longsor dengan rekayasa pengurangan beban tanah di atas (traping/ teras siring) dikombinasi dengan pengaliran air ke kiri dan kanan *siteplan* di permukaan. Pengeringan airtanah di bagian hulu bersamaan dengan perkuatan turap atau dinding penahan tanah.
4. Penanggulangan ancaman longsor dari bagian atas *site plan* mutlak dilakukan agar tanah longsor tidak terjadi, dan kemungkinan akan bergerak menuju infrastruktur karena kemiringan tebing

mengarah pada bangunan IPA dan RESERVOAR dengan arahnya dari Timur Laut ke Barat Daya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Azhar dan Gunawan Handayani, 2004. *Penerapan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger untuk Penentuan Tahanan Jenis Batubara*, Jurusan Geofisika Terapan ITB, Bandung.
- Geotomo Software, 2004, *Geoelectrical Imaging 2D & 3D*.
- Grandis, H. dan Tedi Yudistira, 2000. *Studi Pendahuluan Identifikasi Penyebaran Polutan Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geolistrik*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI), Jakarta.
- Lilik Hendrajaya dan Idam Arif, 1990, *Geolistrik Tahanan Jenis*, Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika FMIPA ITB, Bandung.
- Telford, WM., 1990. *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University.