

# ANALISIS STABILITAS TANGGUL, DESAIN RAWA DAN LERENG TAMBANG UNTUK MENDUKUNG OPERASI PENAMBANGAN BATUBARA DI BERAU KALIMANTAN TIMUR

## *Stability Analysis of Embankment, Slope Mine and Swamp Design to Support Coal Mining Operation at Berau - East Kalimantan*

ZULFAHMI

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara  
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211  
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373  
e-mail: zulfahmi@tekmira.esdm.go.id

---

### SARI

Penyelidikan geoteknik pada tambang *open pit* sangat penting dilakukan untuk menjamin keamanan lereng tambang terhadap risiko longsor. Selain itu, tambang *open pit* harus terjamin dari air limpasan yang dapat menggenangi tambang, sehingga operasionalisasi penambangan tidak terganggu. Hasil kajian yang telah dilakukan pada salah satu pit tambang batubara di Berau Kalimantan Timur berupa kajian analisis stabilitas tanggul untuk menjaga pit tersebut dari limpasan air sungai yang berada cukup dekat dengan lokasi penambangan.

Selain melakukan kajian terhadap stabilitas lereng, pada beberapa tempat di lokasi tersebut, diperlukan desain lereng khusus karena batuan pembentuk lereng berasal dari tanah rawa yang bila jenuh air akan memiliki kohesivitas yang sangat rendah sehingga rentan terhadap longsor. Metode penelitian yang digunakan untuk menganalisis kondisi rancangan tanggul penahan banjir, daya dukung lapisan endapan rawa dan jarak aman hasil rancangan terhadap areal penambangan adalah metode numerik.

Hasil penelitian ini adalah diperolehnya rancangan tanggul penahan banjir sepanjang 350 m dengan volume tanggul sebesar 52.500 m<sup>3</sup>, daya dukung lapisan endapan rawa terhadap tanggul sebesar 224 kPa dan tegangan yang bekerja akibat tanggul sebesar 100 kPa. Jarak aman antara *crest* dengan kaki tanggul sebesar 20 m dan jarak aman antara *toe* dengan *pit limit* desain rawa sebesar 20 m. Hasil kajian terhadap lereng *highwall* diperoleh tinggi jenjang 10 m, kemiringan 60°, lebar *berm* 4 m, tinggi lereng keseluruhan 90 m dan kemiringan lereng keseluruhan 42° serta untuk geometri lereng *lowwall* diperoleh tinggi lereng keseluruhan 90 m dan kemiringan lereng keseluruhan 25°.

Kata Kunci: stabilitas, lereng, tanggul, rawa

## ABSTRACT

*Application of geotechnical investigation at an open pit mine is important to ensure the safety of the mine slope toward the landslide risk. Moreover, the open pit mine must be guaranteed from run-off water that can inundate the mine, so that the mining operation is not hampered. The investigation result that has been carried out at one of the coal mine pits at Berau-East Kalimantan is an analysis assessment of the embankment stability to protect the pit from the run-off water of a river, which is adjacent to the mine.*

*Besides carrying out this investigation, there is a need to do special slope design at some places in the studied area, because the slope-forming rock originated from swampy soil, when it is saturated, it would have a low cohesiveness that is sensitive to the landslide. The method used to analyze the condition of the flood barrier embankment design, the capacity of the swampy soil and the safe distance of the design result to the mine area is a numeric methodology.*

*The result of the study shows the embankment design of the flood barrier of 350 m in length with the embankment volume of 52,500 m<sup>3</sup>, the capacity of the swampy soil toward the embankment of 224 kPa and the stress of working due to the embankment of 100 kPa. The safe distance between the crest and the embankment base is 20 m. The safe distance between the toe and the pit limit of the swampy design is 20 m. The result of the highwall slope shows that the level height is 10 m, the angle of the slope is 60°, the berm width is 4 m, the overall slope height is 90 m and the overall slope is 42°. The geometry of the lowwall slope shows the overall slope height of 90 m and the overall slope angle of 25°.*

*Keywords: stability, slopes, embankment, swamp*

---

## PENDAHULUAN

Penyelidikan geoteknik dilakukan atas dasar pertimbangan bukaan tambang yang membentuk lereng berisiko terjadinya longsor. Longsor tersebut dipengaruhi oleh faktor geometri lereng, kekuatan massa batuan, struktur geologi, air tanah dan faktor eksternal (Hoek & Bray, 1991 Hoek & Karzulovic, 2000).

Sudut kemiringan lereng keseluruhan (*overall*) yang terjal, ditinjau dari aspek ekonomi lebih efisien dibanding dengan lereng yang landai, sebab volume *overburden* yang digali lebih sedikit. Namun ditinjau dari aspek keselamatan kerja, pada bukaan tambang yang terjal, kemungkinan terjadinya kelongsoran akan lebih besar dibanding dengan yang landai.

Berdasarkan peraturan yang berlaku (Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No. 555, Tahun 1995), di antaranya menyatakan bahwa untuk lereng bukaan tambang yang tinggi keseluruhan (*overall*) lebih besar dari 15 meter, maka harus ada kajian/ analisis geoteknik yang didukung hasil penelitian, yang menyatakan bahwa bukaan tambang tersebut dalam keadaan mantap dan aman. Oleh karena itu, agar operasi penambangan dapat dilakukan dengan aman dan ekonomis, maka perlu dilakukan kajian geoteknik di daerah rencana penambangan atau di areal penelitian.

Salah satu areal penambangan yang perlu mendapat perhatian khusus adalah lokasi penambangan di

Binungan, Berau, Kalimantan Timur. Salah satu *pit limit* dari areal penambangan cukup dekat dengan sungai yang melintasi sisi bagian barat dari pit tersebut, sehingga dikhawatirkan jika hujan yang lebat akan berakibat melimpasnya air sungai dan masuk ke areal penambangan. Oleh karena itu perlu dilakukan desain rancangan tanggul penahan banjir dan analisis kondisi rancangan, daya dukung lapisan endapan rawa dan jarak aman dari desain tersebut terhadap areal penambangan dengan menggunakan metode numerik.

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari kondisi geologi, menguji sifat fisik dan mekanik batuan, menguji parameter hidrogeologi, sebagai data untuk melakukan analisis stabilitas bukaan tambang agar dapat memberikan rekomendasi teknis terhadap kondisi geometri bukaan lereng tambang yang stabil, desain rawa dan desain tanggul penahan banjir, guna mendukung kelancaran operasionalisasi tambang.

Penyelidikan geoteknik dan geohidrologi telah dilakukan di lapangan dan di laboratorium, untuk menentukan karakteristik dan atau sifat-sifat keteknikan dari lapisan batuan dan kondisi air tanah. Ruang lingkup pengkajian tersebut, meliputi kegiatan sebagai berikut :

- Pengumpulan data sekunder (laporan penelitian sebelumnya, rencana penambangan, peta topografi, peta geologi dan eksplorasi).
- Penyelidikan lapangan dengan kegiatan :

pengamatan geologi dan hidrogeologi, pengambilan percontoh geoteknik, deskripsi geoteknik untuk membuat klasifikasi massa batuan,

- Pengujian sifat fisik dan mekanik percontoh batuan di laboratorium geomekanika.
- Analisis stabilitas lereng tambang dan tanggul penahan banjir
- Analisis hidrogeologi.
- Rekomendasi geoteknik dan geohidrologi.

**METODOLOGI**

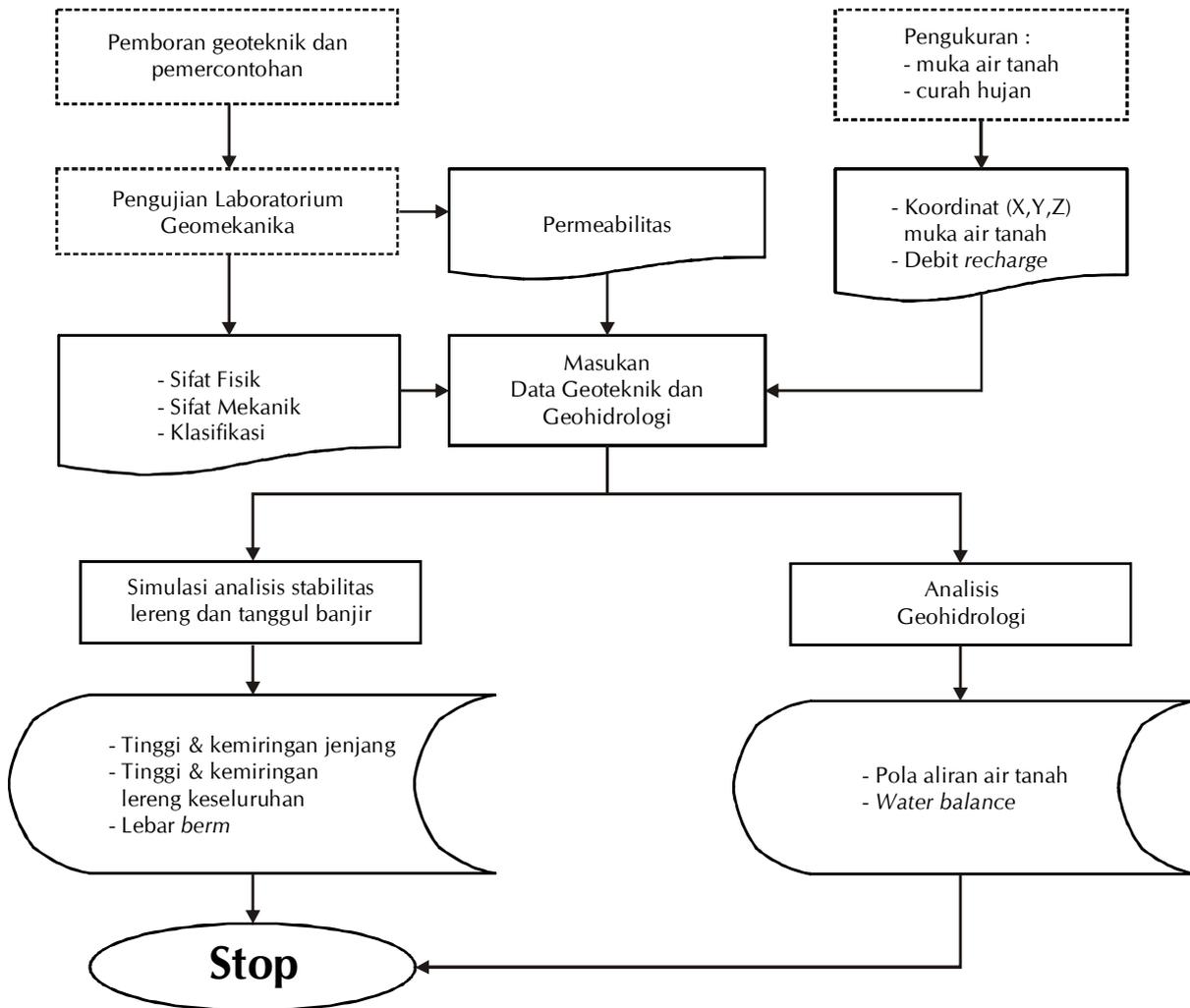
Metodologi penelitian sebagai berikut:

- Pengambilan data dilakukan secara primer dan sekunder. Data primer dilakukan dengan pengeboran geoteknik, pengambilan percontoh

dan secara paralel dilakukan pengukuran muka air tanah. Data sekunder berupa curah hujan kondisi pasang surut sungai. Hasil pengukuran ini akan diperoleh juga koordinat muka air tanah dan sungai, debit air dan pengaruh curah hujan terhadap kondisi pasang surut sungai.

- Setelah semua data tersebut diperoleh, dilakukan simulasi untuk menganalisis stabilitas lereng, tanggul secara paralel juga dilakukan analisis geohidrologi.
- Hasil analisis akan diperoleh dimensi lereng tambang dan tanggul yang stabil serta pola aliran tanah dan keseimbangan air (*water balance*) yang mendukung aman tidaknya kondisi tambang tersebut dari pasang surut sungai.

Metodologi dalam penelitian ini secara lengkap dapat diilustrasikan pada bagan alir Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir metodologi penyelidikan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Geologis

Topografi daerah penelitian terdiri atas bukit dan lembah hasil perlipatan dengan morfologi yang tidak begitu curam. Ketebalan tanah penutup berkisar antara 2 – 4 m, pelapukan pada permukaan lereng tambang terjadi cukup intensif terutama pada lapisan lempung sehingga memperlemah kekuatan lereng tambang. Namun pada bagian yang lebih dalam dari permukaan, batuan akan lebih segar dengan sedikit rekahan.

Stratigrafi daerah penelitian terdiri atas perselingan antara batupasir, batulanau, batulempung dan batubara. Lapisan batupasir berbutir kasar sampai halus dengan banyak kandungan silika. Lapisan lempung terdiri atas batulempung pasir, batulempung lanauan dan batulempung karbonan. Batulempung dengan ketebalan yang bervariasi teramati di atas dan di bawah lapisan batubara. Secara umum kemiringan lapisan batuan mengarah ke utara dengan kemiringan sekitar 13° dengan ketebalan bervariasi.

Hasil penyelidikan geologi sebelumnya menyatakan bahwa struktur perlapisan daerah penelitian tersusun oleh batuan sedimen (Rodhi & Rahmad, 2008). Batuan sedimen yang tersusun umumnya terkonsolidasi dengan baik, dalam arti mempunyai tingkat kepadatan (*density*) tinggi yang mencerminkan kekompakan batuan tersebut.

Gerakan tanah berupa longsoran, umumnya terdapat pada daerah yang agak terjal, karena terjadinya gangguan keseimbangan terhadap lereng. Dipandang dari besaran longsoran < 10m, maka masih dianggap relatif kecil, sehingga bila dikaitkan dengan parameter kebencanaan belum bermasalah.

Hasil pengamatan yang dirangkum dari deskripsi penampang bor eksplorasi, substruktur daerah penyelidikan terbagi dalam 4 (empat) lapisan, yaitu lapisan atap, lapisan batubara, lapisan pengapit dan lapisan dasar yang masing-masing akan diuraikan di dalam subbab di bawah ini.

### Lapisan Atap

Lapisan atap adalah lapisan yang posisinya terletak di antara permukaan tanah dengan lapisan batubara. Tebal lapisan atap bervariasi, tergantung pada posisi (elevasi) bor, bentuk morfologi/topografi dan kemiringan bidang lapisan. Secara umum lapisan atap di daerah penyelidikan terbagi dalam 2 (dua)

sublapisan, yaitu : tanah penutup dan batuan atap. Tanah penutup atau *soil* terdapat di bagian paling atas terbentuk dari hasil pelapukan batuan dasar. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, maka tanah penutup ini digolongkan menjadi 3 (tiga) jenis, yaitu lempung lanauan, lanau, dan pasir lempungan.

Batuan atap daerah penyelidikan umumnya mempunyai tingkat pelapukan rendah sampai segar. Perubahan tingkat pelapukan pada batuan atap ini relatif dangkal (< 5 meter), umumnya dipengaruhi oleh sementasi dan jenis tanah penutup.

Hasil pengamatan beberapa lokasi titik bor menunjukkan, bahwa batuan atap terdiri atas 3 (tiga) jenis batuan sedimen, yaitu satuan batulempung, batulanau (paling dominan) dan batupasir. Ketebalan perlapisan ketiga batuan ini sangat bervariasi mulai dari yang tipis sampai sangat tebal (> 6 meter) dan berselang seling. Deskripsi batuan tersebut adalah sebagai berikut:

- a) Batulempung, berwarna abu-abu muda sampai abu-abu tua, kekuatan sangat lemah sampai lemah, konsistensi tinggi - sangat tinggi.
- b) Batulanau, berwarna abu-abu muda sampai abu-abu gelap, mempunyai kekuatan sangat lemah sampai lemah.
- c) Batupasir, di bagian atas berwarna kuning kecoklatan dan makin ke dalam berubah kuning keabuan. Umumnya, kekuatan batupasir di daerah ini mulai dari yang mudah lepas sampai kompak.

### Lapisan Batubara

Secara umum ciri fisik lapisan batubara di lokasi *openpit* berwarna hitam kecoklatan, kusam sampai mengilap, kekuatan lemah sampai sedang, bersifat rapuh - sangat rapuh (mudah patah/getas serta pecah-pecah).

### Lapisan Pengapit (*Interburden*)

Lapisan pengapit terletak di antara lapisan batubara dan mempunyai tebal bervariasi. Secara umum batuanannya terdiri atas batulempung, batupasir dan batulanau. Berdasarkan hasil pengamatan dari lubang bor, batulanau paling dominan diantara ketiganya, kemudian disusul batupasir dan batulempung.

### Lapisan Alas (*Floor*)

Lapisan alas terletak di bawah lapisan H, umumnya berupa perselingan batupasir dan batulempung, atau berupa batupasir halus sampai sedang dengan

fragmen batulempung. Secara fisik bersifat cukup pejal dengan tingkat konsistensi rendah sampai sedang.

**Bor Geoteknik**

Susunan pelapisan batuan ditentukan berdasarkan penampang bor, salah satu lobang bor yang telah diidentifikasi dapat dilihat pada Tabel 1.

**Sifat Fisik-Mekanik Material Timbunan**

Parameter kekuatan material timbunan (waste) dalam penelitian ini, ditentukan dari pengujian laboratorium geomekanika terhadap 2 (dua) percontoh material timbunan yang diambil dari lokasi penimbunan. Parameter kekuatan tanah timbunan ditentukan berdasarkan hasil uji geser

Tabel 1. Susunan pelapisan batuan bor BC-BP-97-02

No	Kode Percontoh	Kedalaman	Litologi
1	BC-BP-97-02-01	20,35 – 20,57	Batulanau
2	BC-BP-97-02-02	36,95 – 37,35	Batulanau
3	BC-BP-97-02-03	71,95 – 72,23	Batupasir
4	BC-BP-97-02-04	73,50 – 73,95	Batupasir
5	BC-BP-97-02-05	111,35 – 111,80	Batulanau
6	BC-BP-97-02-06	115,05 – 111,45	Batulempung
7	BC-BP-97-02-07	116,05 – 116,50	Batulanau

**Sifat Fisik-Mekanik Batuan dan Bidang Diskontinu**

Berdasarkan hasil uji laboratorium terhadap percontoh batuan yang diambil dari lubang bor geoteknik, setelah dilakukan pertimbangan teknis menghasilkan sifat fisik-mekanik batuan dan bidang diskontinu (Tabel2).

**Sifat Fisik-Mekanik Endapan Rawa**

Hasil uji laboratorium mekanika tanah terhadap beberapa percontoh endapan rawa, diperoleh data sifat dan mekanik endapan rawa seperti terlihat pada Tabel 3.

langsung (*direct shear test*). Hasil uji tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

**Analisis Stabilitas, Desain Tanggul dan Lereng Tambang**

**Tanggul Penahan Banjir**

Lokasi desain tanggul penahan banjir terletak antara sungai dan *openpit* bagian lereng *highwall* (Gambar 2). Tanggul berfungsi untuk menahan air banjir dari sungai agar tidak masuk ke dalam *pit* dan dibangun dengan cara penimbunan dan pemadatan material timbunan yang berasal dari lokasi penambangan.

Tabel 2. Sifat fisik-mekanik batuan dan bidang diskontinu

Sifat Fisik dan Mekanik	Tanah	Batulumpur	Batupasir	Batulanau	Batubara
<b>A. Batuan Utuh</b>					
1. Bobot isi asli, kN/m <sup>3</sup>	21,20	22,73	23,65	24,06	12,95
2. Modulus Ruah, MPa	460	1020	1733	1838	1240
3. Modulus Geser, MPa	331	672	847	948	744
4. Kohesi, MPa	0,147	0,140	0,230	0,215	0,572
5. <i>Internal friction angle</i> , °	37,2	19,3	26,6	25,8	44,0
6. Kuat tarik, MPa	0,035	0,2225	0,1179	0,2326	0,156
<b>B. Bidang diskontinu batuan</b>					
1. Kekakuan normal, MPa/m	625	1586	2227	2844	3420
2. Kekakuan geser, MPa/m	260	629	934	1066	1459
3. Kohesi, MPa	0,08	0,100	0,139	0,125	0,22
4. <i>Internal friction angle</i> , °	16,0	18,0	22,6	20,5	24,0
5. Kuat tarik, MPa	0,02	0,11	0,06	0,12	0,08

Tabel 3. Sifat fisik-mekanik endapan rawa

<b>No.Pengeboran</b>	:	SD-GT-H3N-05-04			
<b>Kedalaman (m)</b>	:	0.00 - 0.33	5.00 - 5.40	10.00 - 10.50	15.00 - 15.50
<b>PASSING # 200</b>	%	88.24	91.85	46.94	45.56
<b>ATTERBERG</b>					
Liquid Limit (LL)	%	54.40	73.75	49.30	38.00
Plastic Limit (PL)	%	26.29	28.80	21.39	20.38
Plasticity Index (PI)	%	28.11	44.95	27.91	17.62
<b>NATURAL STATE</b>					
Water Content	%	30.89	69.36	34.18	17.83
Wet Density (?m)	t/m <sup>3</sup>	1.840	1.470	1.800	2.130
Dry Density (?d)	t/m <sup>3</sup>	1.406	0.868	1.341	1.808
Specific gravity (Gs)	t/m <sup>3</sup>	2.693	2.579	2.678	2.744
Void Ratio (e)		0.916	1.971	0.996	0.518
Porosity (n)		0.478	0.663	0.499	0.341
Deg.Saturation (Sr)	%	91	91	92	94
<b>DIRECT SHEAR</b>					
Cohesion (c)	kg/cm <sup>2</sup>	0.135	0.057	0.117	0.145
Angle of Int.frict.(?)	deg	29	9	18	21
<b>UNCONFINED</b>					
Unconfined (qu)	kg/cm <sup>2</sup>	0.600	0.060	0.173	0.549
Sensitivity (st)	deg	1.467	1.316	1.327	1.621
<b>TRIAXIAL UU</b>					
Cohesion (c)	kg/cm <sup>2</sup>	-	-	0.123	0.280
Angle of Int.frict.(?)	deg	-	-	3	14
<b>PERMEABILITY</b>					
Coef.of permeability (k)	cm/sec	-	-	4.87E-06	3.23E-05

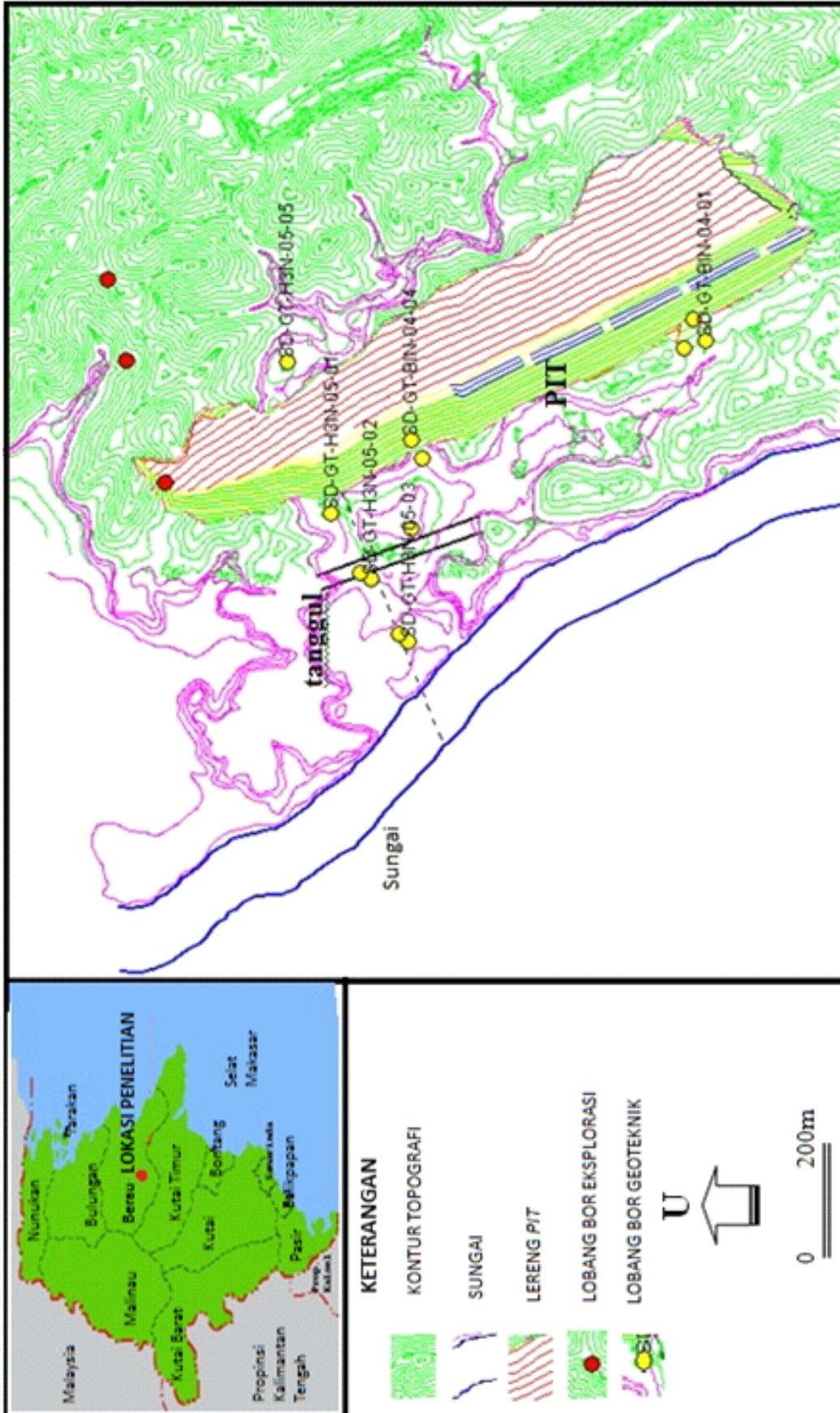
Tabel 4. Sifat fisik dan mekanik tanah timbunan

No	Kode Percontoh	Bobot IsikN/m <sup>3</sup>	Koehesi, C (kPa)		Sudut geser dalam, f (derajat)	
			Peak	Residual	Peak	Residual
-	-	-	Peak	Residual	Peak	Residual
1.	S1- BLOK 5&6	18,465	71,9	7,7	29,2	20,8
2.	S2- BLOK 5&6	19,500	73,1	5,9	25,6	17,7

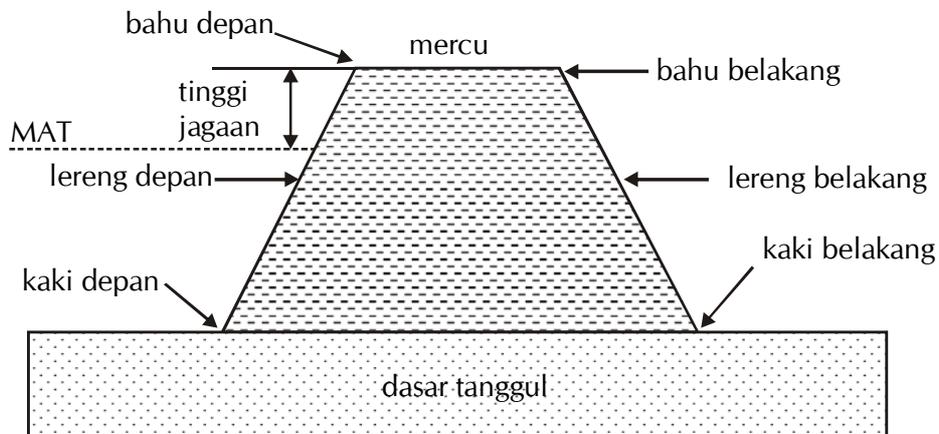
Geometri tanggul seperti pada Gambar 3, ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut :

- Elevasi kaki tanggul = 3 m di atas permukaan laut (dpl)
- Elevasi muka air banjir = 6 m dpl
- Tinggi jagaan = 2 m
- Tinggi tanggul = (6 m - 3 m) + 2 m = 5 m
- Lebar mercu (lebar atas tanggul) 20 m (mempertimbangkan sudut putar alat angkut)
- Kemiringan tanggul = 2 : 1 (horisontal : vertikal)
- Panjang tanggul = 350 m
- Volume = 52.500 m<sup>3</sup>

Analisis stabilitas tanggul dilakukan dengan metode kesetimbangan batas (LEM), menggunakan *software GEOSTUDIO version 2004*. Metode kesetimbangan batas tersebut dapat melakukan analisis sensitivitas dan analisis balik (Stead dkk., 2001 & Eberhardt, 2003). Input parameter kekuatan material timbunan untuk analisis stabilitas tanggul dengan metode kesetimbangan batas adalah sifat fisik dan mekanik material timbunan yang didapat dari hasil pengujian laboratorium geomekanika yang terdiri atas : bobot isi (g), kohesi (c), dan sudut gesek dalam (f). Input parameter getaran yang terjadi di daerah penelitian



Gambar 2. Peta situasi tambang openpit



Gambar 3. Penampang melintang tanggul

diperoleh dari hasil pengukuran getaran akibat peledakan. Besarnya percepatan getaran gelombang longitudinal antara 0,05–0,15 G, dan yang digunakan sebagai input dalam analisis dinamik kestabilan tanggul adalah sebesar 0,12 G.

### Analisis Stabilitas Tanggul

Analisis stabilitas tanggul dilakukan bertujuan untuk mengetahui faktor keamanan dari tubuh tanggul itu sendiri dan yang kedua untuk mengetahui pengaruh beban terhadap daerah sekitarnya terutama lapisan endapan rawa yang merupakan batuan dasar. Hasil analisis untuk stabilitas lereng belakang diperoleh faktor keamanan 2,7 (Gambar 4), lereng depan sebesar 4,7 (Gambar 5) dan lereng keseluruhan sebesar 1,88 (Gambar 6). Sedangkan distribusi tegangan pada setiap tanggul dapat dilihat pada Gambar 7.

### Daya Dukung Lapisan Endapan Rawa Terhadap Tanggul

Perhitungan daya dukung (*ultimate bearing capacity*) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Terzaghi, sebagai berikut (Daz, 1994 dan Eslami & Gholami, 2006):

$$q_{ult} = 1,3 C N_c + g D N_q + 0,4 g B N_g$$

Keterangan :

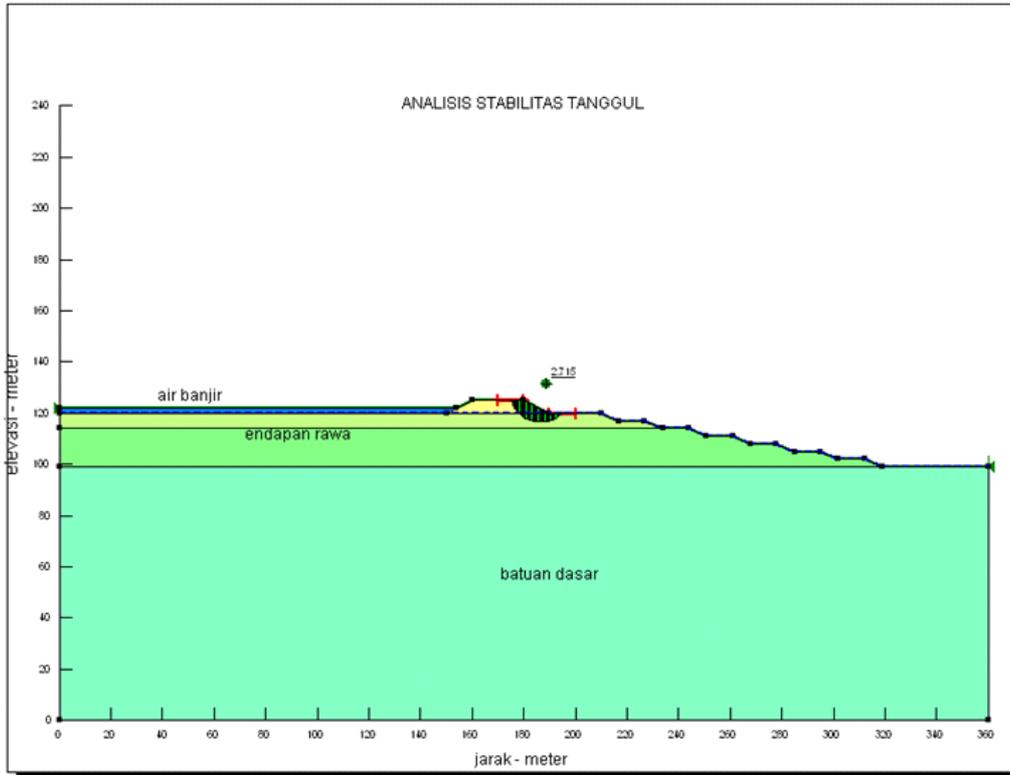
- $q_{ult}$  = daya dukung batas (MPa)
- $C$  = kohesi lapisan endapan rawa terkecil = 5,7 kPa

- $B$  = lebar fondasi (40 m)
- $D$  = kedalaman fondasi dari permukaan (0,5 m)
- $g$  = bobot isi lapisan endapan rawa = 14,7 kN/m<sup>3</sup>
- $N_c; N_q; N_g$  = konstanta yang tergantung pada sudut geser dalam lapisan endapan rawa  $f = 9^\circ$ .  $N_c = 10$ ,  $N_q = 2,8$ ,  $N_g = 1,1$ .

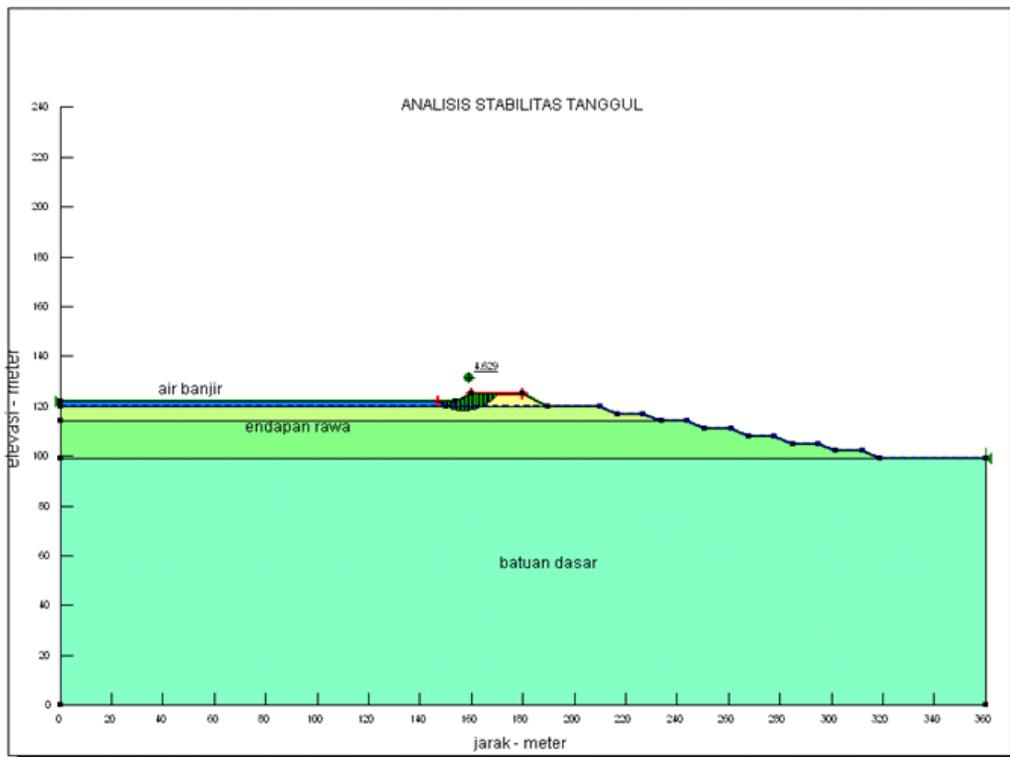
Daya dukung yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah  $q_{ult} = 224$  kPa, sedangkan tegangan yang bekerja akibat tanggul = 100 kPa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa lapisan endapan rawa yang terlemah masih cukup kuat dan aman untuk menahan beban tanggul yang ada di atasnya.

### Operasionalisasi Pembangunan Tanggul Penahan Banjir

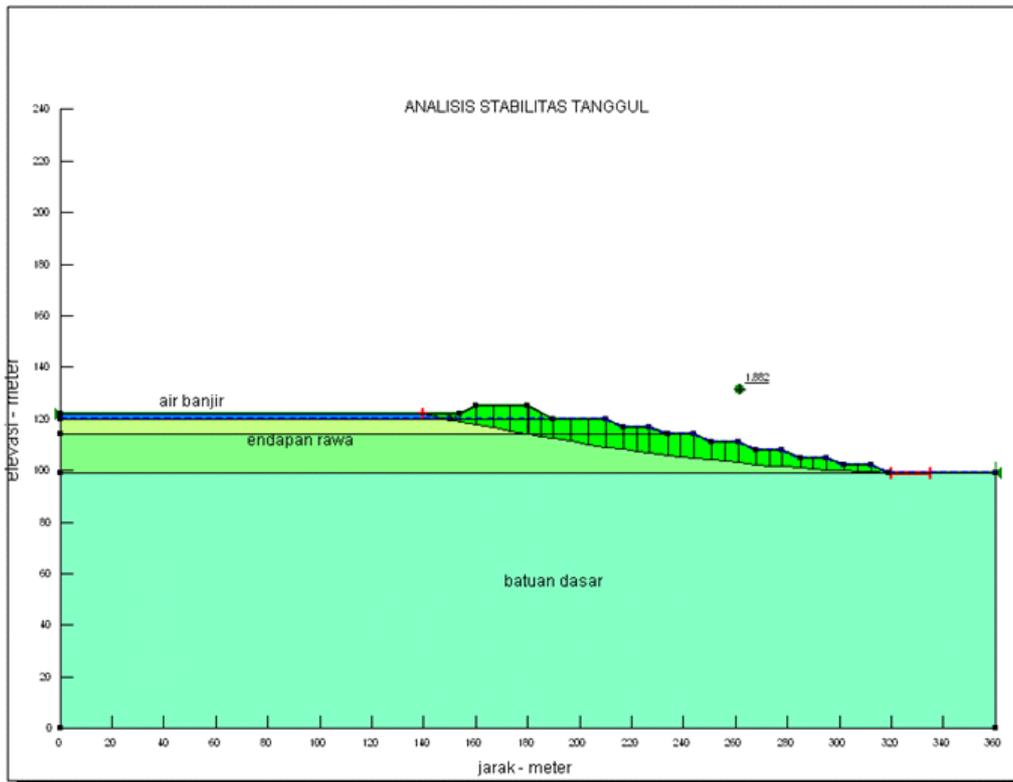
- Pembersihan lokasi dasar tanggul 40 m x 350 m, dari pohon dan semak
- Mengupas lapisan atas endapan rawa sedalam 0,5 m dari permukaan asli
- Hamparkan lapisan I tanggul mulai dari dasar sampai elevasi 4 m dpl. Padatkan dengan Buldozer D155 Komatsu sampai mencapai kepadatan 2 gr/cm<sup>3</sup> atau bobot isi = 20 kN/m<sup>3</sup>
- Hamparkan lapis demi lapis, setiap lapisan setebal 1 m dan padatkan, sehingga lapisan I,II,III,IV dan V masing-masing mencapai elevasi 4,5,6,7 dan 8 m dpl. Pemantauan selalu dilakukan agar lebar dasar tanggul 40 m, mercu 20 m dan kemiringan lereng tanggul = 2 : 1



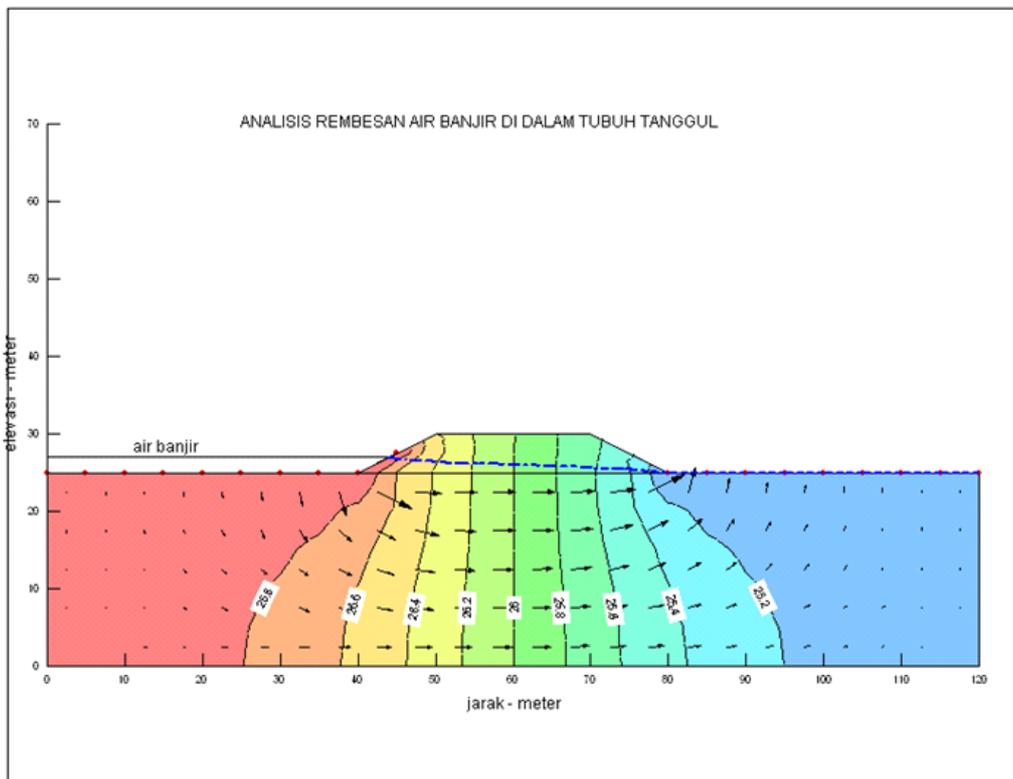
Gambar 4. Stabilitas lereng belakang tanggul FK = 2,7



Gambar 5. Stabilitas lereng depan tanggul FK = 4,7



Gambar 6. Stabilitas lereng keseluruhan FK = 1,88



Gambar 7. Rembesan di dalam tanggul sewaktu banjir

Hasil analisis stabilitas tanggul :

- Lereng depan tanggul dalam keadaan stabil dengan  $FK = 4,629$
- Lereng belakang tanggul dalam keadaan stabil dengan  $FK = 2,715$
- Lereng keseluruhan tanggul dalam keadaan mantap dengan  $FK = 1,882$
- Tidak terjadi lendutan di sekitar tanggul
- Pada waktu banjir, aliran air tanah lebih dominan melalui endapan rawa dibanding melalui tubuh tanggul. Kondisi seperti ini baik untuk stabilitas tanggul.

### Analisis Stabilitas Desain Rawa

Analisis stabilitas desain rawa bertujuan untuk menentukan tinggi dan kemiringan lereng tunggal, menentukan tinggi dan kemiringan lereng keseluruhan, menentukan jarak aman antara *crest* desain rawa dengan kaki tanggul dan menentukan jarak aman antara *toe* desain rawa dengan *pit limit*. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh Faktor Keamanan (FK) lereng tunggal desain rawa sebesar

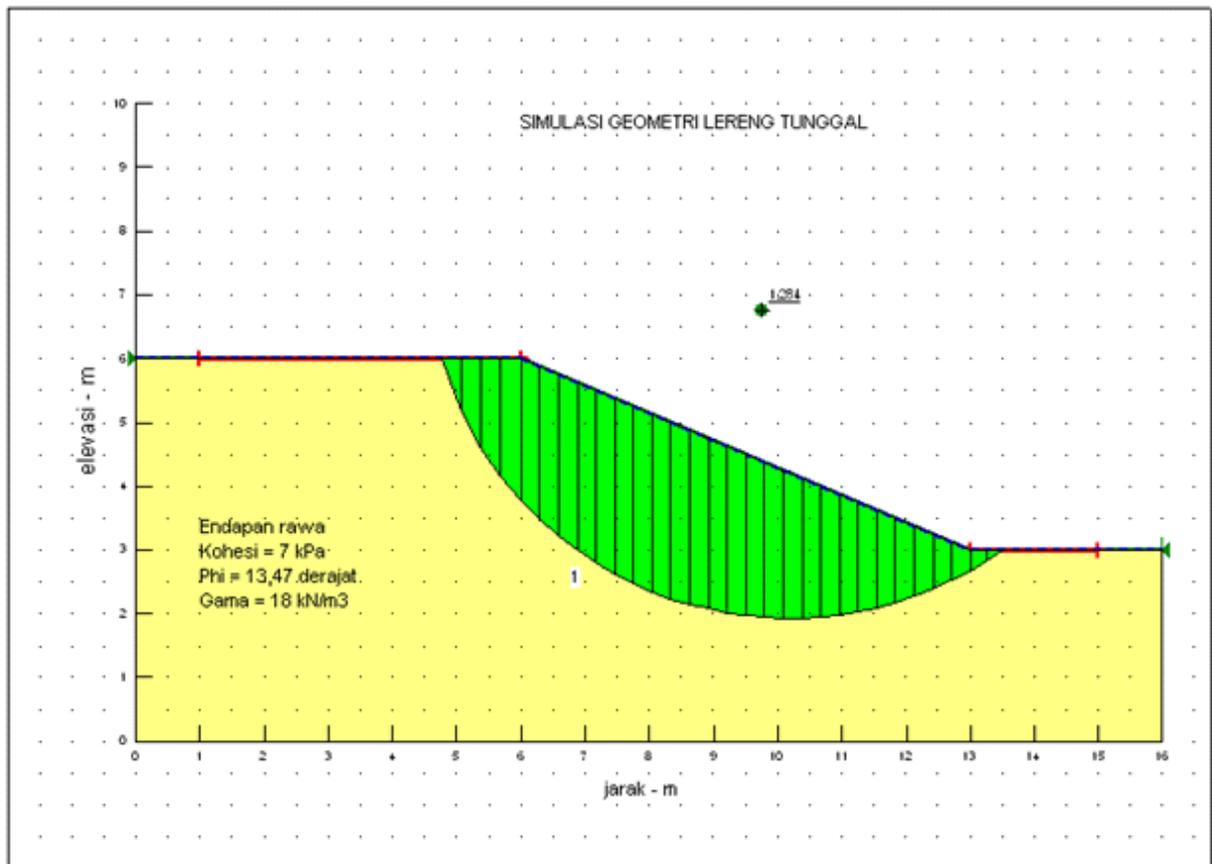
1,284 (Gambar 8), lereng keseluruhan desain rawa di atas *highwall* sebesar 1,882 (Gambar 9) dan lereng keseluruhan desain rawa di atas *lowwall* sebesar 2,293 (Gambar 10). Pada Gambar 11, dapat dilihat distribusi rembesan air sungai pada endapan rawa.

Hasil analisis stabilitas desain rawa :

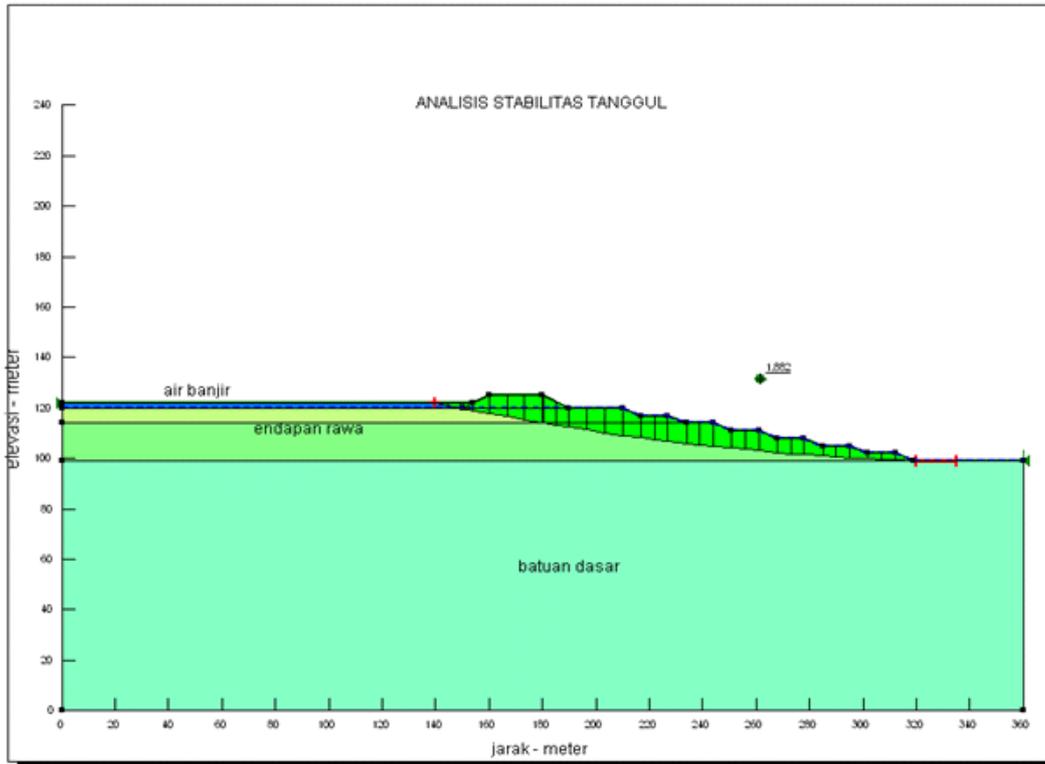
- Geometri lereng tunggal : tinggi 3 meter kemiringan  $23^\circ$  (7:3)
- Geometri lereng keseluruhan (di atas *highwall*):tinggi 21 meter kemiringan  $11^\circ$
- Geometri lereng keseluruhan (di atas *lowwall*) : tinggi 15 meter kemiringan  $11^\circ$
- Jarak aman antara tanggul dengan *crest* desain rawa = 20 meter
- Jarak aman antara *pit limit* dengan *toe* desain rawa = 20 meter

### Analisis Stabilitas Lereng Tambang

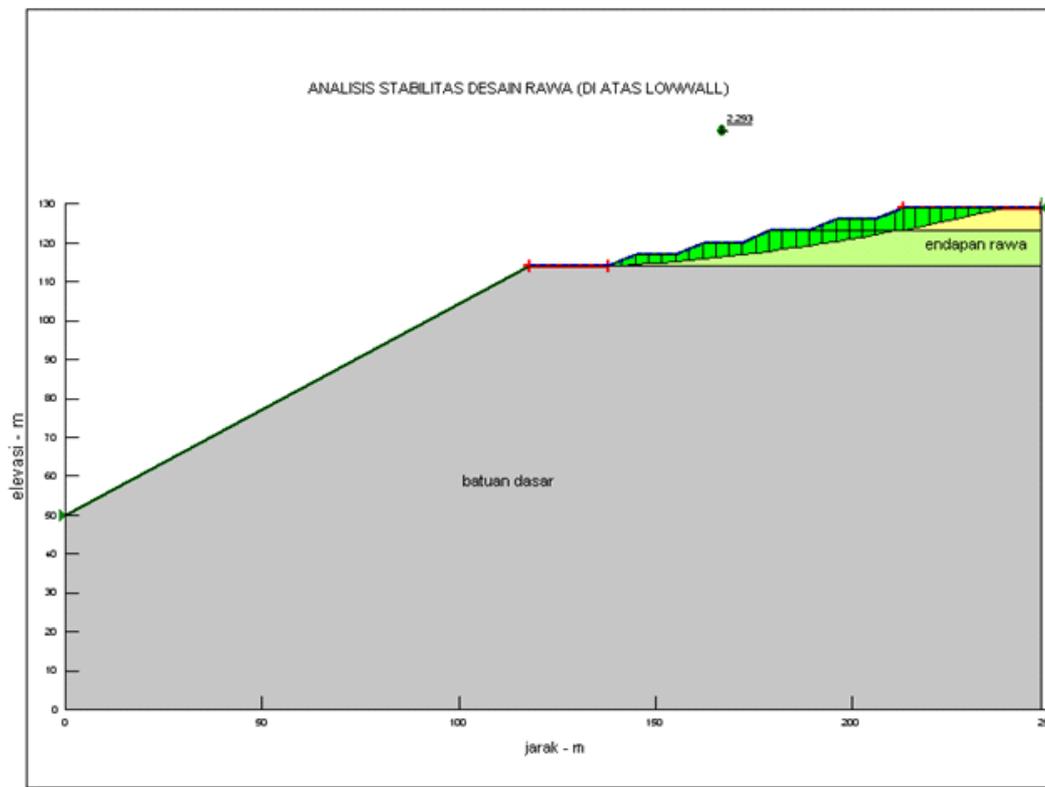
Analisis stabilitas lereng *highwall* dan *lowwall pit* tersebut dilakukan dengan metode elemen *distinct* (DEM), menggunakan *software UDEC version 2.01*. Analisis stabilitas lereng dengan metode elemen



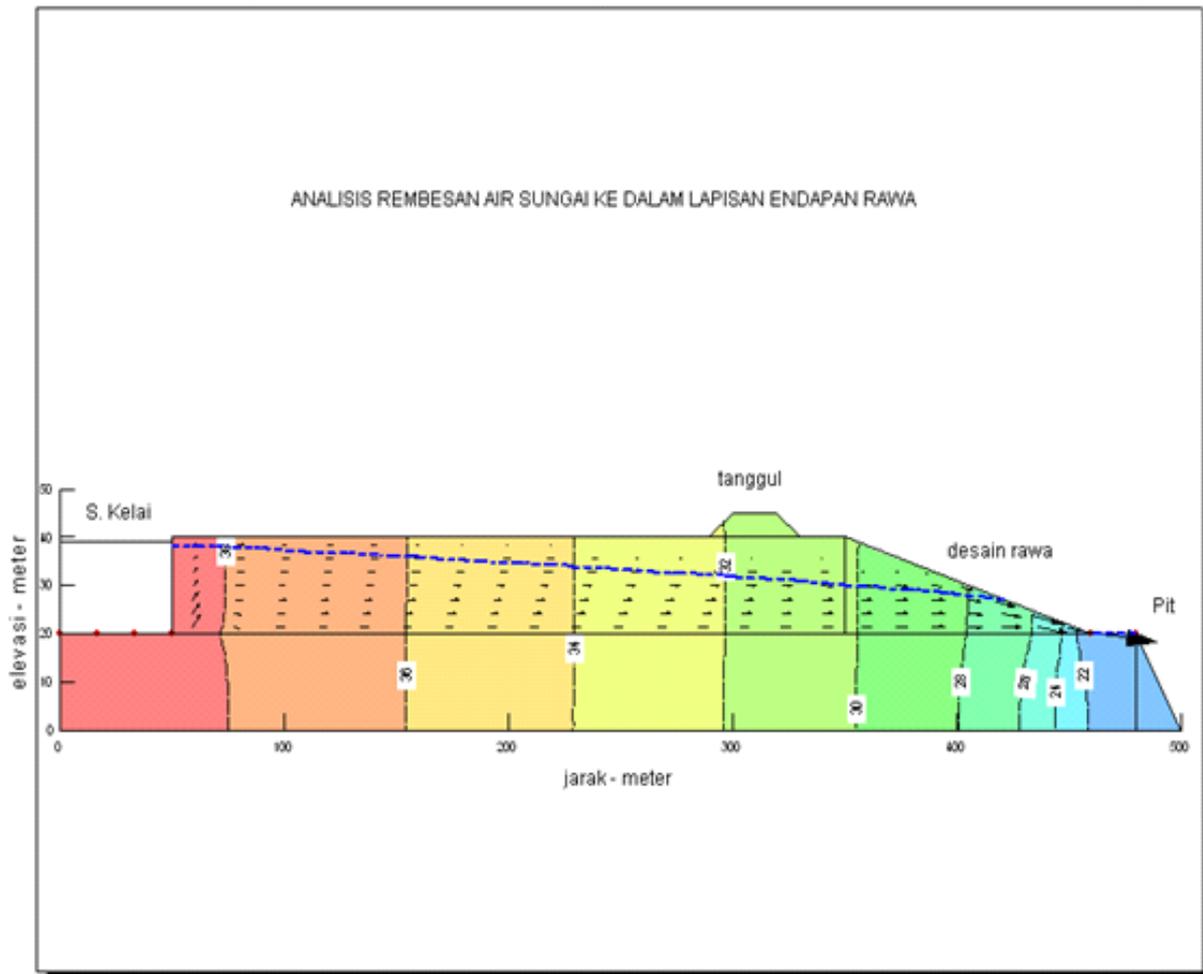
Gambar 8. Stabilitas lereng tunggal desain rawa  $FK = 1,284$



Gambar 9. Stabilitas lereng keseluruhan desain rawa (di atas *highwall*) FK = 1,882



Gambar 10. Stabilitas lereng keseluruhan desain rawa (di atas *lowwall*) FK = 2,293



Gambar 11. Rembesan air sungai pada endapan rawa

*distinct* ditekankan pada interpretasi kestabilan lereng secara keseluruhan. Hasil analisis memberikan keluaran berupa distribusi perpindahan (*displacement*), distribusi tegangan (*stress*) dan distribusi FK dalam bentuk kontur nilai FK, di seluruh titik *node* dalam model (Itasca, 1980 & Lorig dkk., 2009).

Persamaan untuk menentukan kekakuan normal ( $k_n$ ) dan kekakuan geser ( $k_s$ ) diambil dari "User Manual" UDEC 2.0, sebagai berikut :

$$k_n = \frac{E_m \cdot E_r}{s(E_r - E_m)} \text{ dan } k_s = \frac{G_m \cdot G_r}{s(G_r - G_m)}$$

Keterangan :

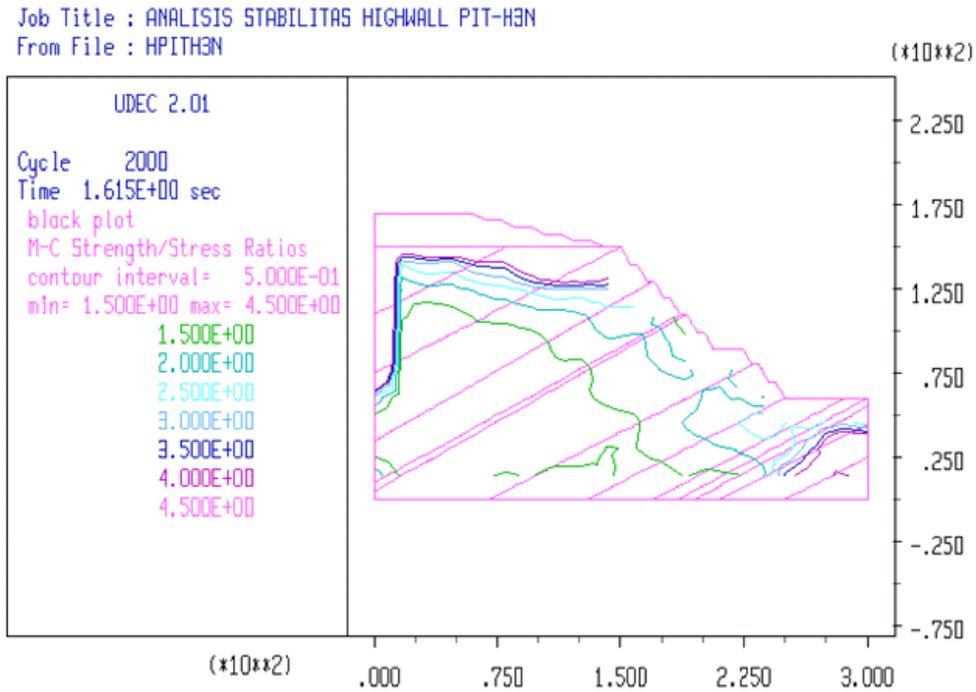
- $E_r$  = modulus *young* batuan utuh dan  $E_m$  = modulus *young* massa batuan
- $G_r$  = modulus geser batuan utuh dan  $G_m$  = modulus geser massa batuan
- $G_r = E_r / \{2(1 + u)\}$  dan  $G_m = E_m / \{2(1 + u)\}$  dan  $u = \text{poisson's ratio}$  batuan utuh

Hasil analisis stabilitas lereng *highwall* seperti pada Gambar 12 dan 13.

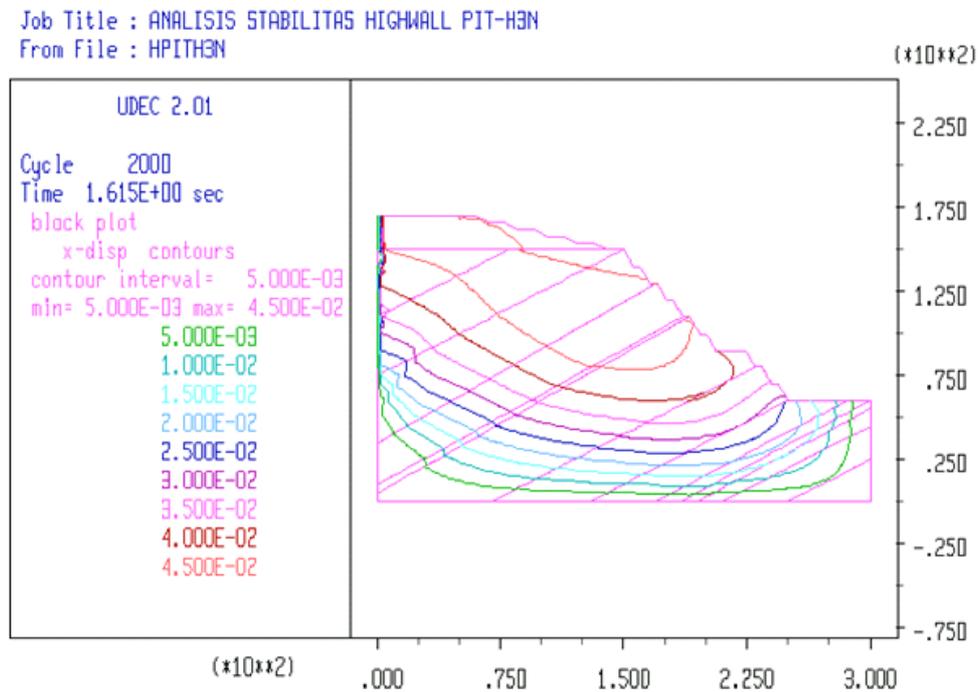
Sedangkan untuk geometri lereng *lowwall pit* mempunyai tinggi keseluruhan 90 meter dan kemiringan keseluruhan 25°, sesuai dengan kemiringan lantai lapisan batubara H.

Analisis perpindahan untuk masing-masing lereng *highwall* dan *lowwall*, dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15. Sedangkan analisis hasil pergeseran bidang diskontinu, dapat dilihat pada Gambar 16 dan 17.

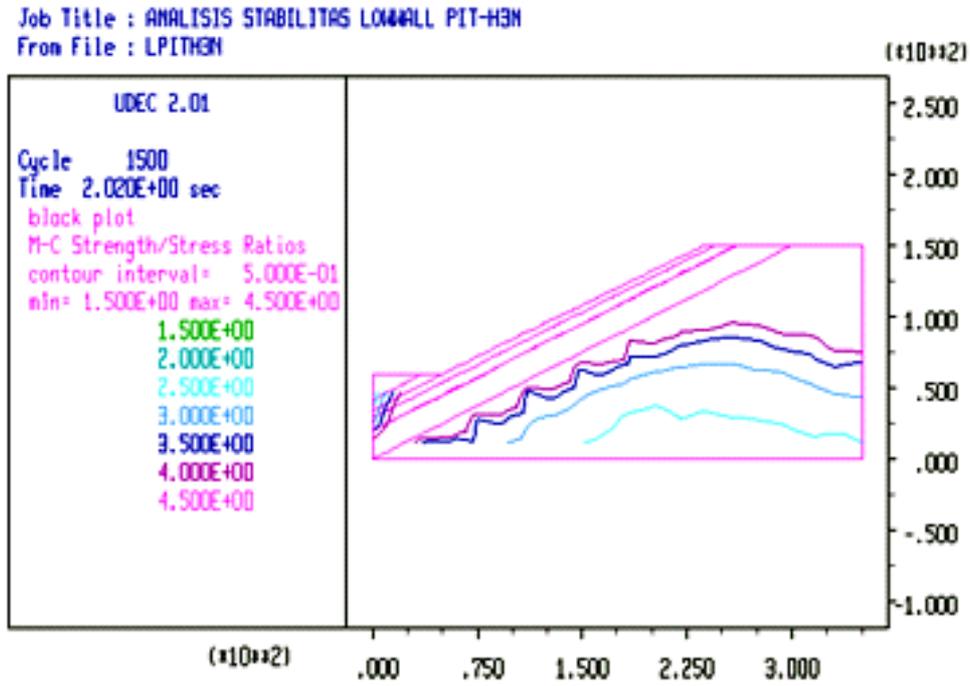
Sedangkan simpulan hasil analisis stabilitas lereng *highwall* dan *lowwall*, dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6.



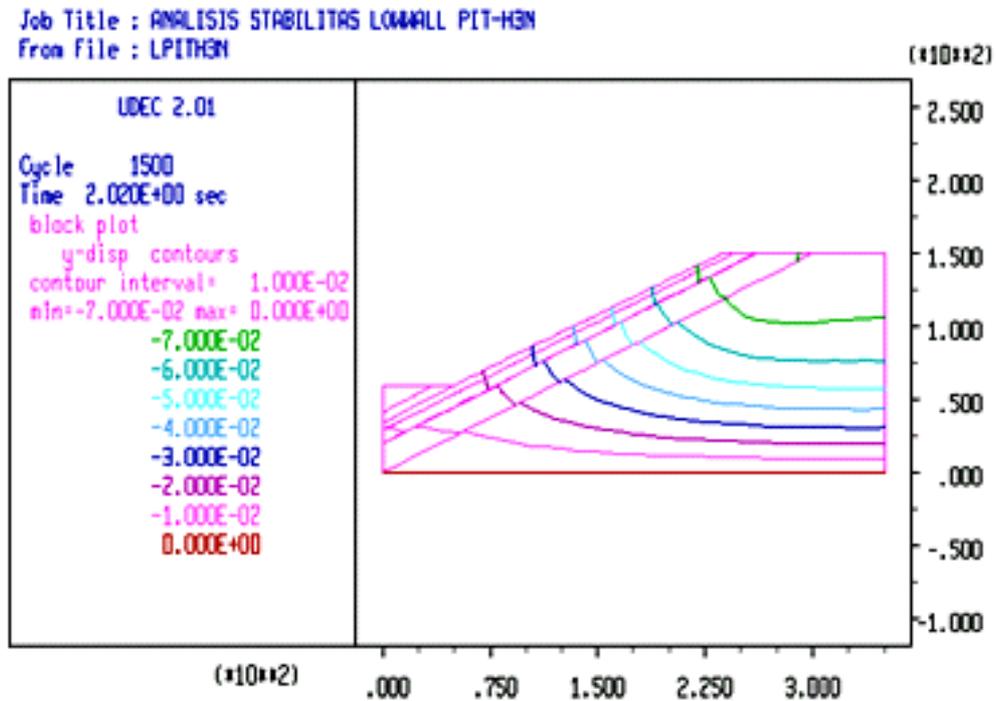
Gambar 12. Distribusi faktor keamanan lereng *highwall* FK=1,5



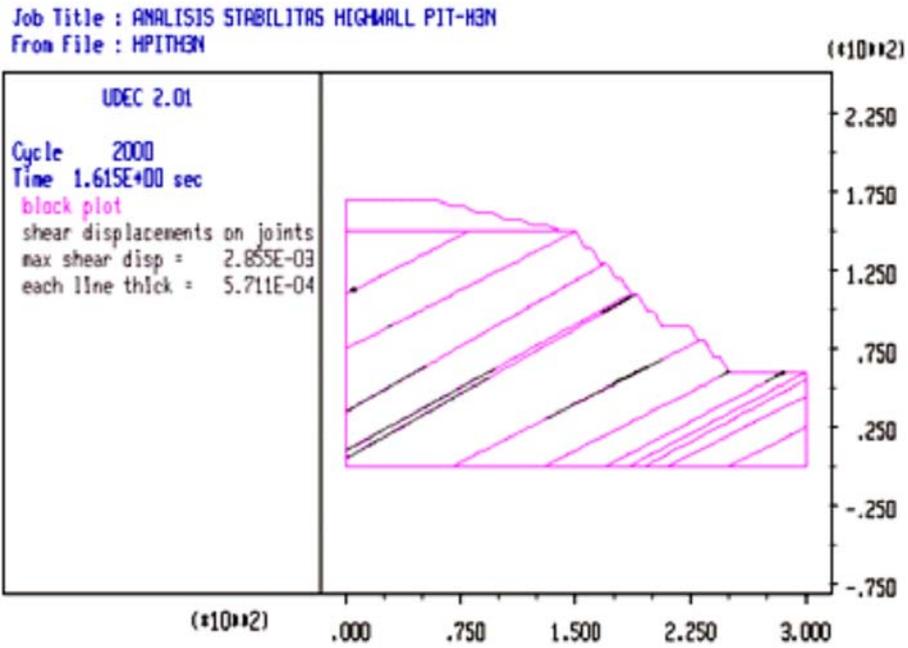
Gambar 13. Perpindahan lereng *highwall* ke arah lateral



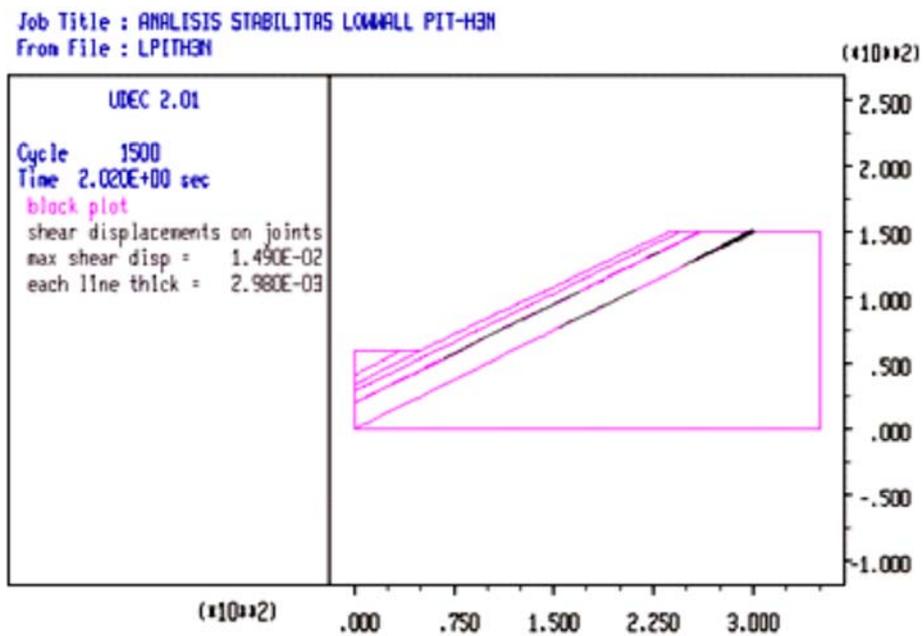
Gambar 14. Distribusi faktor keamanan lereng *lowwall* FK=1,5



Gambar 15. Perpindahan lereng *lowwall* ke arah vertikal



Gambar 16. Pergeseran bidang diskontinu pada lereng *highwall*



Gambar 17. Pergeseran bidang diskontinu pada lereng *lowwall*

Tabel 5. Hasil analisis stabilitas lereng *highwall Pit H3N*

No	Parameter Stabilitas	Nilai	Keterangan
1	Perpindahan lateral – m	0,045	- Tinggi jenjang 10 m
2	Perpindahan vertikal – m	-	- Kemiringan jenjang 60°
3	Faktor keamanan minimal (FK)	1,50	- Lebar jenjang 4 m
4	Pergeseran bidang diskontinu (m)	0,0028	- Tinggi overall 90 m - Kemiringan overall 42°

Tabel 6. Hasil analisis stabilitas lereng *lowwall Pit H3N*

No	Parameter Stabilitas	Nilai	Keterangan
1	Perpindahan lateral – m	0,024	
2	Perpindahan vertikal – m	0,070	- Tinggi overall 90 m
3	Faktor keamanan minimal (FK)	1,50	- Kemiringan keseluruhan 25°
4	Pergeseran bidang diskontinu (m)	0,0015	

## KESIMPULAN

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan dan permodelan desain tanggul di salah satu bukaan tambang batubara di Berau Kalimantan Timur, tinggi tanggul yang diizinkan sebesar 5 m, lebar mercu 20 m, lebar dasar tanggul 40 m, kemiringan lereng tanggul 2 : 1, Panjang tanggul 350 m, volume tanggul 52.500 m<sup>3</sup>, daya dukung lapisan endapan rawa terhadap tanggul 224 kPa dan tegangan yang bekerja akibat tanggul sebesar 100 kPa.
2. Hasil perhitungan dan permodelan desain rawa, diperoleh tinggi jenjang rawa 3 m, kemiringan jenjang rawa 23° (7 : 3), lebar jenjang rawa 10 m, tinggi lereng keseluruhan rawa 21 m (di atas lereng *highwall*), kemiringan lereng keseluruhan rawa 11° (di atas lereng *highwall*), tinggi lereng keseluruhan rawa 15 m (di atas lereng *lowwall*), kemiringan lereng keseluruhan rawa 11° (di atas lereng *lowwall*), jarak aman antara *crest* desain rawa dengan kaki tanggul 20 m dan jarak aman antara *toe* desain rawa dengan *pit limit* 20 m.
3. Hasil perhitungan dan permodelan desain lereng *highwall* dari bukaan di lokasi penelitian diperoleh tinggi jenjang 10 m, kemiringan jenjang 60°, lebar jenjang 4 m, tinggi lereng keseluruhan 90 m dan kemiringan lereng keseluruhan (*overall*) 42°.
4. Hasil perhitungan dan permodelan desain lereng *lowwall* diperoleh tinggi lereng keseluruhan 90 m dan kemiringan lereng keseluruhan (*overall*) 25°.

## DAFTAR PUSTAKA

- Das, B.M., 1994. *Principles of Geotechnical Engineering*, PWS Publishing Company, Southern Illinois University at Carbondale : Boston Massachusetts 02116.
- Eberhardt, E., 2003. *Rock slope stability analysis – Utilization of advanced numerical technique*, University of British Columbia: Vancouver – CANADA.
- Eslami, A., & Gholami, M., 2006. *Analytical model for the ultimate bearing capacity of foundations from cone resistance*, Sharif University of Technology, Scientia Iranica, Vol. 13, No. 3, pp 223-233.
- Hoek, E. and Bray, J.W., 1991. *Rock slope engineering*, Elsevier Science Publishing: New York: 7 – 35.
- Hoek, E. and Karzulovic, A. 2000. Rock-mass properties for surface mines. *Slope stability in surface mining (Edited by W. A. Hustrulid, M.K. McCarter and D.J.A. van Zyl)*, Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgical and Exploration (SME), pages 59-70.
- Itasca, 1980. *Universal distinct element code version 2.01 Volume 1 : User's Manual*, Itasca Consulting Group, Minneapolis, Minnesota 554115, USA.
- Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No. 555, Tahun 1995.
- Lorig, L., P. Stacey and J. Read., 2009. Slope design methods. *Guidelines for open pit slope design*, Collingwood: CSIRO Publishing, pp. 237-264..
- Rodhi, A. dan Rahmad, B., 2008. Struktur geologi dan sedimentasi batubara formasi Berau, *Jurnal Ilmiah MTG, Vol. 1 No. 3, November 2008*, Magister Teknik Geologi – UPN Veteran Yogyakarta.
- Stead, D., Eberhardt, E., Coggan, J., Benko, B., 2001. *Advanced numerical techniques in rock slope stability analysis – Application and limitations*, LANDSLIDES – Causes, Impacts and Countermeasures, Davos, Switzerland, pp. 615-624