

Analisis Kestabilan Lereng Kuari Batugamping di Tuban II PT. United Tractors Semen Gresik Tuban Jawa Timur

Riza Novrinda¹, Irfan Saputra²

Magister Teknik Pertambangan, UPN "Veteran" Yogyakarta¹
ezra_mining2@yahoo.com

Magister Teknik Pertambangan, UPN "Veteran" Yogyakarta²
irfan.selfox@gmail.com

Abstrak

PT. United Tractors Semen Gresik (UTSG) didalam melakukan kegiatan penambangan menggunakan sistem tambang terbuka dengan pola penambangan berjenjang. Penelitian dilakukan pada lereng Blok Z14-BB14 yang terdiri dari 7 jenjang dengan ketinggian lereng masing-masing 6 meter dan kemiringan sudut antara 60° - 80° . Penelitian dilakukan mencakup analisis kestabilan lereng terhadap lereng di Blok Z14-BB14 dan parameter kekuatan batuan melalui uji laboratorium. Parameter kekuatan batuan antara lain : bobot isi jenuh (ρ_s), bobot isi kering (ρ_o), bobot isi asli (ρ_n), kuat tekan uniaksial (σ_c), kohesi (C), sudut geser dalam (ϕ), modulus elastisitas (E) dan poisson's ratio (ν). Sedangkan tujuan analisis kestabilan lereng adalah untuk memperkirakan longsoran yang potensial. Analisis dilakukan dengan program DIPS ver.5.0 dan program Phase2 dengan Metode Elemen Hingga (FEM). Analisis kestabilan lereng terlebih dahulu dilakukan analisis kinematika sebagai analisis pendahuluan, data yang diperlukan untuk analisis adalah kedudukan umum lereng (dip/dipdirection), bidang diskontinu (dip/dipdirection) dan sudut geser dalam. Dari analisis kinematika diperoleh lereng berpotensi mengalami longsoran bidang dan analisis selanjutnya digunakan Metode Elemen Hingga dengan program Phase2 untuk menghitung faktor keamanannya (FK). Kriteria keruntuhan yang digunakan untuk menentukan FK pada analisis ini adalah kriteria Mohr-Coloumb. Tolak ukur kestabilan lereng adalah faktor keamanan (FK) dimana $FK \geq 1,35$ dianggap mantap elemennya, $1 < FK \leq 1,35$ elemen kritis dan $FK \leq 1,0$ elemen dalam keadaan hancur. Dari program Phase2 didapatkan nilai FK dari keseluruhan elemen baik kondisi jenuh, kering dan asli maupun dengan distribusi kekar adalah $\geq 1,35$. Sehingga kondisi lereng masih aman dengan FK terkecil 1,5046 pada koordinat $x = 62,829$; $y = 17,731$. Dari analisis juga diperoleh bahwa semakin banyak kandungan air dalam massa batuan maka akan mengurangi kekuatan geser batuan (tegangan normal) sehingga FK yang diperoleh semakin kecil pula. Meskipun dalam analisis besarnya FK yang diperoleh memberikan harga yang aman, tetapi lereng-lereng tersebut dapat juga mengalami longsoran bidang sesuai dengan hasil analisis kinematika. Oleh karena itu perlu dilakukan pemantauan lebih lanjut pergerakan massa batuan.

Kata Kunci: Stabilitas Lereng, *Finite Element Method*.

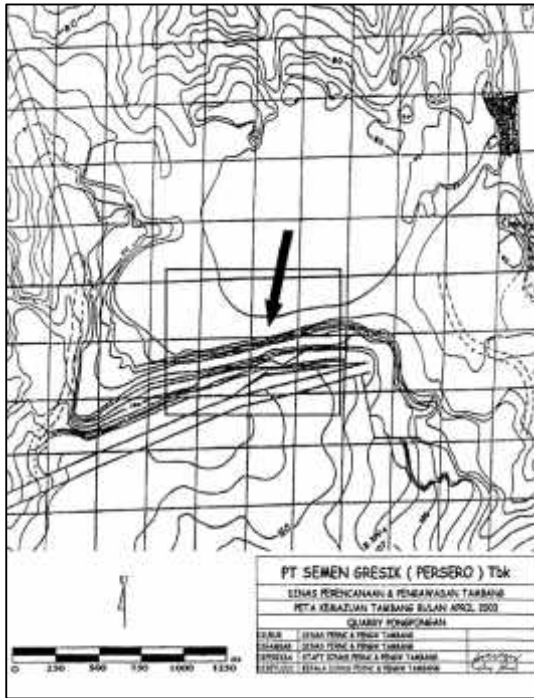
1. Pendahuluan

PT. Semen Gresik adalah salah satu perusahaan semen yang memproduksi semen Gresik. Dalam pemenuhan kebutuhan bahan bakunya seperti batugamping dan tanah liat, PT. Semen Gresik merekomendasikan pelaksanaan kegiatan penambangannya pada PT. United Tractors Semen Gresik (UTSG) yang menjadi anak perusahaannya. PT. United Tractors Semen Gresik merupakan perusahaan pertambangan di Jawa Timur di bidang pertambangan batugamping dan tanah liat. Lokasi perusahaan terletak di Desa Sumberarum, Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban dan lokasi penambangan berada di Desa Pongpongan dan Desa Temandang. Dengan kebutuhan bahan baku PT. Semen Gresik yang memproduksi semen sebesar 6.709.552 ton/tahun, PT. United Tractors Semen Gresik tahun 2003 merencanakan target produksi batugamping sebesar 8.600.000 ton/tahun dan produksi tanah liat sebesar 1.800.000 ton/tahun. Sistem tambang terbuka dipilih dengan pola penambangan berjenjang. Pola berjenjang dapat

mengakibatkan potensi terjadi keruntuhan pada batuan yang memiliki kuat geser kecil dan banyaknya diskontinuitas.

Kelongsoran berbahaya bagi pekerja dan dapat mengakibatkan kerusakan alat-alat berat, hilangnya waktu kerja, produksi terhenti dan target tidak tercapai (kerugian perusahaan). Analisis kestabilan lereng diperlukan untuk mengetahui jenis kelongsoran yang akan terjadi. Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menentukan parameter kekuatan massa batuan pembentukan lereng melalui pengujian laboratorium : Kohesi (C), Sudut Geser Dalam (ϕ), Modulus Elastis (E), Poisson's Ratio (ν) dan Bobot Isi (ρ) batugamping.
2. Memperkirakan analisis kinematika dan mengetahui kestabilan lereng berdasarkan perhitungan menggunakan *Phase2* (Metode Elemen Hingga, FEM).
3. Memperkirakan longsoran apa yang mungkin terjadi pada lereng yang di analisis.

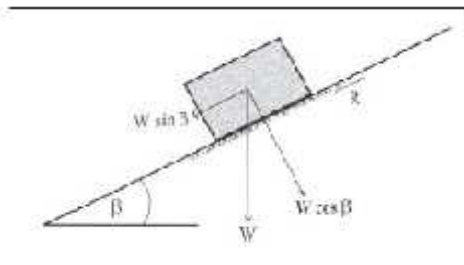


Gambar 1. Peta Topografi Blok Z14-BB14
 (PT. United Tractor Semen Gresik, 2004)

2. Metode

Kemantapan lereng tergantung pada gaya penahan dan gaya penggerak pada bidang gelincir tertentu. Gaya penahan adalah gaya yang melawan kelongsoran, sedangkan gaya penggerak adalah gaya yang menyebabkan kelongsoran. Perbandingan antara gaya penahan dengan gaya penggerak disebut faktor keamanan (FK). Apabila gaya penggerak lebih besar daripada gaya penahan maka akan terjadi kelongsoran, sedangkan jika gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak maka suatu lereng kondisinya dalam mantap atau stabil. Perubahan gaya-gaya dapat diakibatkan oleh penggalian, penimbunan dan erosi. Pada kondisi kesetimbangan (Gambar 2), gaya peluncur harus sama dengan gaya penahan. Kondisi tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$W \cdot \sin \alpha = c \cdot A + W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi$$



Gambar 2. Gaya Yang Bekerja Pada Suatu Massa
 (Prosiding Geomekanik, Eddy W. 2012)

$$\text{Gaya Peluncur} = W \cdot \sin \alpha$$

$$\text{Gaya penahan} = c \cdot A + W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi$$

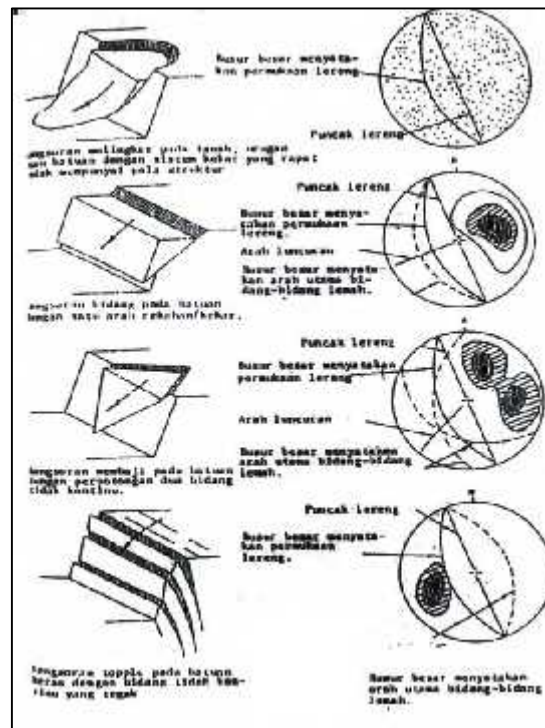
$$FK = \frac{c \cdot A}{W \cdot \sin \alpha} + \cot \alpha \cdot \tan \phi \geq 1$$

Tipe-tipe lereng (tanah atau batuan) yang terbentuk dapat berupa lereng alam, lereng buatan (penggalian, tanggul dan dam, saluran pembuangan). Faktor-faktor yang mempengaruhi kemantapan geometri lereng (meliputi : orientasi lereng, kemiringan lereng, tinggi lereng dan lebar berm), struktur geologi (meliputi : perlapisan, sesar dan kekar), sifat fisik (meliputi : bobot isi batuan, porositas, kandungan air), sifat mekanik (meliputi : kuat tekan uniaksial, kuat tarik, kohesi, sudut geser dalam), kondisi air tanah dan gaya dari luar (meliputi : akibat alat berat, gempa dan peledakan).

$$= \frac{c}{W \cdot \sin \alpha} + \cot \alpha \cdot \tan \phi$$

dimana :
 c = kuat geser batuan (kg/cm^2)
 ϕ = kohesi (kg/cm^2)
 n = tegangan normal (kg/cm^2)
 α = sudut geser dalam (derajat)
 u = tegangan air pori (kg/cm^2)

Jenis-jenis longsor yang dikenal dalam tambang terbuka meliputi : Longsor Bidang (*Plane Failure*), Baji (*Wedge Failure*), Busur (*Circular Failure*) dan Guling (*Toppling Failure*).



Gambar 3. Jenis-jenis Longsor
 (Hoek, Evert, Bray J, 1981)

2.1 Metode Pengumpulan Data

Data primer merupakan data pengamatan lapangan meliputi : geometri lereng (tinggi, lebar, kemiringan lereng, struktur geologi (pengukuran kekar (dip/direction), pengujian laboratorium atas sifat fisik dan mekanik, pengujian data Kuat Tekan (*Unconfined Compression Test*) dan Kuat Tarik (*Brazilian Test*). Data sekunder berupa data geologi

regional dan curah hujan, alat-alat berat kegiatan penambangan dan produksi.

2.2 Metode Analisis Data

Metode analisis yang digunakan adalah :

- Metode Kinematika didasari analisis struktur geologi untuk menentukan longsoran dengan melihat posisi bidang kekar, terhadap orientasi lereng pada stereoplot, dengan *DIPS*, dan menggambarkan daerah mantap atau tidak serta jenis longsoran yang mungkin terjadi. Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis kinematika adalah :
 - Memasukkan data orientasi kekar ke dalam program *DIPS* versi 5.0.
 - Melakukan analisis stereonet dengan mempertimbangkan besarnya sudut geser dalam dan arah umum kekar.
- Metode Elemen Hingga (FEM) dengan program *Phase2*, menganalisis tegangan, regangan serta deformasi pada bagian lereng sekaligus menghitung faktor keamanan pada setiap elemennya. Metode elemen hingga menerapkan perhitungan metode numerik, karena dapat menyelesaikan masalah tegangan-regangan dalam mekanika batuan, merepresentasikan vektor tegangan dan perpindahan baik secara global maupun situasional. Pada analisis tegangan-regangan, asumsi yang dipakai sifat perilaku material homogen, meskipun dalam kenyataannya tidak. Prinsip dasar analisis ini adalah menentukan besarnya perpindahan yang terjadi pada setiap bagian lereng sehubungan dengan kondisi pembebanan. Secara singkat dapat diuraikan bahwa perbedaan metode ini dengan metode kesetimbangan batas dimana analisis kesetimbangan batas, bidang gelincir dan distribusi tegangan diasumsikan, kemudian ditentukan jenis kelongsoran yang mungkin terjadi. Sedangkan pada analisis tegangan-regangan yang diasumsikan adalah tegangan awal (*initial stress*) dan kemudian menghitung besarnya perpindahan elemen lereng serta menentukan potensi kelongsoran yang dapat terjadi. Analisis kesetimbangan batas akan menunjukkan jenis keruntuhan total, sedangkan analisis tegangan-regangan secara pendekatan dapat menunjukkan tingkat yang lebih dini adanya kerusakan lokal dan terjadinya awal keruntuhan.

Atas dasar praktek pelaksanaannya, dimana metode analisis kesetimbangan batas dapat dilaksanakan secara analisis dan metoda analisis tegangan-regangan hanya dapat dilakukan secara numerik. Data masukan dalam analisa elemen hingga adalah :

- Geometri lereng, meliputi tinggi (*height*) dan kemiringan lereng;
- Sifat fisik, meliputi bobot isi jenuh (*saturation unit of weight*);

- Sifat mekanik, meliputi kuat tarik (*tensile strength*), modulus elastisitas, *poisson's ratio*, kohesi (*peak cohesion*) dan sudut geser dalam (*peak friction angle*).

Langkah-langkah pendekatan penggunaan metode elemen hingga adalah sebagai berikut :

- Membagi kontinum menjadi sejumlah elemen (*Subregion*) berhingga dengan bentuk geometri tertentu (segitiga, segiempat, dan sebagainya).
- Memilih titik-titik pada elemen sebagai titik nodal dimana syarat keseimbangan dan kompatibilitas harus dipenuhi.
- Mengasumsikan fungsi perpindahan setiap elemen sedemikian rupa sehingga perpindahan setiap titik tertentu dipengaruhi oleh titik nodalnya.
- Pada setiap elemen khusus yang dipilih harus dipenuhi persyaratan hubungan regangan-perpindahan dan hubungan tegangan-regangannya.
- Menentukan kekakuan dan beban titik nodal ekuivalen setiap elemen menggunakan prinsip usaha atau energi.
- Menurunkan persamaan keseimbangan setiap titik nodal dari diskretisasi kontinum ini sesuai dengan kontribusi elemennya.
- Menyelesaikan persamaan keseimbangan untuk mencari perpindahan titik nodal.
- Menghitung tegangan titik-titik tertentu elemen tersebut.
- Menentukan reaksi perletakkan pada titik nodal yang tertahan bila diperlukan.

Metode elemen hingga ini dapat menangani semua masalah yang tidak terpecahkan oleh cara analisis yang berpegang pada bentuk geometri yang teratur, beban yang seragam dan material yang homogen. Penerapan metode ini dipilih dengan kelebihan, antara lain : bentuk dan ukuran elemen dapat bervariasi, tidak terbatas pada benda dengan bentuk geometri teratur, kondisi batas pembebanan baik *Constant* atau *Gravity* sembarang, dengan sedikit perubahan parameter tertentu, program ini dapat digunakan untuk setiap macam persoalan regangan bidang (*Plane Strain*) maupun pada bentuk rotasi sekitar suatu poros (*Axisymmetry*).

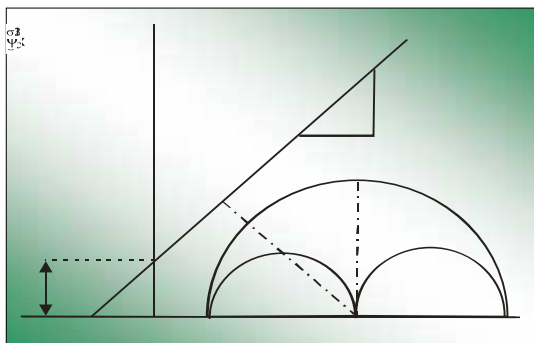
Analisis kemantapan lereng cara konvensional didasarkan pada besarnya angka keamanan yang merupakan perbandingan besarnya gaya yang menahan kelongsoran dibanding dengan gaya yang menyebabkan kelongsoran. Maka hasil analisis kemantapan lereng hanya berupa pengujian stabil atau tidaknya lereng melalui bidang longsor yang ditentukan sebelumnya secara coba-coba, sehingga tidak memungkinkan untuk mengetahui atau menganalisis besarnya tegangan, regangan serta perpindahan pada bagian lereng.

Dengan analisis metode elemen hingga, maka dimungkinkan menganalisis tegangan, regangan serta perpindahan pada bagian lereng, disamping itu dapat dihitung faktor keamanan pada setiap elemen pada lereng. Permodelan Elemen Hingga terdiri atas : pemodelan sistem statika (geometri), pembebanan dan material.

Pemodelan sistem statika merepresentasikan keadaan system struktur penampang batuan di lapangan dengan memperhatikan gaya yang bekerja pada lereng, konfigurasi ketidakhomogenan material, struktur geologi serta geometri lereng. Permodelan statika dibagi menjadi 2 bidang permodelan yaitu : permodelan bidang *diskontinu* menganggap elemen *interface* dan terisi material yang mempunyai modulus elastisitas relatif kecil dibanding modulus elastisitas batuan.

Dalam *phase2* memiliki 4 tipe elemen, (T3) nodal segitiga, (T6) nodal segienam, (Q4) nodal segiempat dan (Q8) nodal segidelapan. T3 diambil untuk melakukan kajian ini dengan tingkat kemudahan dan analisis lebih teliti serta jenis mesh yang tidak seragam (*uniform*) atau dalam bentuk *graded*, sehingga cocok diterapkan pada jenis batuan yang tidak homogen.

Permodelan pembebanan, mengimplementasikan jenis beban sistem statika serta besarnya beban tersebut. Pada kasus kemantapan lereng, jenis beban yang ada diakibatkan oleh beban gravitasi, merupakan fungsi kedalaman dari suatu titik serta besarnya bobot isi. Nilai dari tegangan insitu horizontal dan vertikal dalam suatu perbandingan (*ratio*) juga dimasukkan guna menentukan kekuatan masa batuan tersebut (*body force*).



Gambar 4. Penentuan FK Kriteria Mohr-Coulomb (Koesnaryo, S. 2001)

$FK = a / R$ dimana nilai a dan R dapat dihitung sebagai berikut :

$$a = \frac{\tau_1 + \tau_3}{2} x \sin W + C \cos W$$

$$R = \frac{\tau_1 - \tau_3}{2}$$

- $FK = 1$ kritis
- $FK > 1,35$ aman
- $FK < 1$ tidak mantap (lihat Tabel 1)

Permodelan material, perilaku hubungan tegangan-regangan dari material lereng. Untuk

kepentingan analisis kemantapan maka material lereng dimodelkan dengan model material elastik dan isotrop. Model ini memungkinkan dilakukan analisis dengan cara elastis sampai terjadinya kehancuran elemen di beberapa bagian lereng. Kriteria keruntuhan yang dipakai adalah Mohr-Coulomb, dengan parameter : sudut geser dalam (ϕ), kohesi (C), modulus elastisitas (E), *poisson's ratio* (ν) dan bobot isi batuan (γ). Disamping itu pemodelan ini juga ditentukan oleh pembebanan elemen mula-mula (*initial element loading*) dengan tipe *field stress & body force*, artinya analisis yang dilakukan disamping berdasar atas keadaan tegangan-regangan tiap elemen tapi juga berdasar atas kekuatan batuan. Keuntungan pemakaian kriteria Mohr-Coulomb adalah dapat dilakukan pengecekan secara grafis. Untuk kepentingan analisis kemantapan lereng batuan, maka besarnya kohesi batuan (C) dan sudut geser dalam batuan (ϕ) merupakan parameter nyata (*apparent*) dan puncak (*peak*).

Tabel 1. FK Minimum Kemantapan Lereng (Departemen Pekerjaan Umum, Petunjuk Perencanaan Penanggulangan Longsor)

Resiko *)	Kondisi Beban	Parameter Kuat Geser **)			
		Maksimum		Sisa	
		Teliti	Kurang Teliti	Teliti	Kurang Teliti
Tinggi	Dengan gempa, tanpa gempa	1,50	1,75	1,35	1,50
		1,80	2,00	1,60	1,80
Menengah	Dengan gempa, tanpa gempa	1,30	1,60	1,20	1,40
		1,50	1,80	1,35	1,50
Rendah	Dengan gempa, tanpa gempa	1,10	1,25	1,00	1,10
		1,25	1,40	1,10	1,20

Sumber : Made Astawa Rai, 1999.

Keterangan : *)

- Resiko tinggi jika ada konsekuensi terhadap manusia cukup besar (ada pemukiman), dan atau bangunan sangat mahal dan atau sangat penting.
- Resiko menengah apabila ada konsekuensi terhadap manusia tetapi sedikit (bukan pemukiman) dan atau bangunan tidak begitu mahal dan atau tidak begitu penting.
- Resiko rendah apabila tidak ada konsekuensi terhadap manusia dan terhadap bangunan (sangat murah).

Keterangan : **)

- Kuat geser maksimum adalah harga puncak dan dipakai bila massa tanah/batuan berpotensi longsor tidak mempunyai bidang diskontinuitas dan belum pernah mengalami pergeseran.
- Kuat geser sisa digunakan bila massa tanah/batuan potensial longsor mempunyai bidang diskontinuitas dan atau pernah bergerak (walaupun tidak mempunyai bidang diskontinuitas).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kondisi Lereng

Lereng yang dianalisis berupa batugamping, dengan ciri warna kuning kecokelatan dan mempunyai banyak kekar, cukup keras dan kompak.

Sifat fisik batuan yang didapatkan :

- Bobot isi asli (W_n) = 1,699 t/m³
- Bobot isi kering (W_o) = 1,679 t/m³
- Bobot isi jenuh (W_w) = 1,944 t/m³
- Apparent S.G. = 1,678
- True S.G. = 2,3

- Kadar air asli (%) = 0,849 %
- Kadar air jenuh (%) = 16,919 %
- Derajat kejenuhan (%) = 5,414 %
- Porositas (%) = 26,514 %
- Angka pori = 0,3667

38	73	353	81	69	334	124	60	30
39	90	347	82	40	360	125	50	32
40	60	286	83	84	335	126	56	357
41	70	278	84	86	10	127	50	359
42	58	76	85	83	347			
43	70	82	86	82	285			

Sumber : Pengukuran Lapangan, 2004.

Tabel 2. Geometri Lereng Blok Z14-BB14

Nama Lereng	Tinggi (m)	Kemiringan (°)	Dipdirection Lereng
Individu 1	6	80	N 353° E
Individu 2	6	65	
Individu 3	6	60	
Individu 4	6	80	
Individu 5	6	70	
Individu 6	6	60	
Individu 7	6	70	
Overall	42	51	

Sumber : Pengukuran-Pemodelan, 2004.

Tabel 3. Hasil Uji Sifat Mekanik Batuan

Hasil uji laboratorium	Nilai yang diperoleh
Kuat tekan (σ) rata-rata	10,714 MPa
Kuat tarik (σ _t) rata-rata	2,171 MPa
Kohesi (C)	1,7 MPa
Sudut geser dalam (φ)	33°
Modulus Elastisitas (E)	363,549 MPa
Poisson's ratio (ν)	0,42
Bobot isi jenuh (γ)	1,944 t/m ³

Sumber : Pengujian Laboratorium, 2004.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Dip Dan Dipdirection

No	Dip		No	Dip		No	Dip	
	°	N..° E		°	N..° E		°	N..° E
1	66	23	44	76	357	87	50	52
2	40	27	45	62	12	88	70	273
3	65	25	46	89	38	89	82	351
4	73	359	47	68	8	90	79	349
5	62	192	48	56	301	91	80	10
6	81	54	49	70	40	92	56	3
7	83	3	50	52	356	93	50	90
8	84	51	51	73	39	94	72	358
9	46	360	52	70	23	95	65	395
10	58	350	53	53	325	96	50	355
11	89	82	54	80	11	97	63	365
12	68	72	55	80	262	98	73	6
13	60	14	56	62	60	99	45	357
14	40	1	57	49	3	100	54	356
15	64	12	58	77	353	101	65	360
16	56	359	59	63	357	102	45	302
17	76	23	60	45	365	103	53	321
18	71	35	61	40	353	104	45	15
19	75	14	62	70	48	105	73	8
20	85	293	63	66	19	106	50	140
21	56	46	64	34	330	107	75	349
22	75	359	65	62	357	108	83	17
23	83	26	66	70	399	109	64	350
24	85	20	67	62	2	110	57	274
25	72	60	68	80	50	111	59	1
26	77	23	69	80	49	112	84	346
27	84	55	70	45	4	113	90	3
28	76	15	71	89	43	114	45	357
29	50	26	72	69	55	115	81	5
30	81	42	73	33	90	116	54	354
31	57	322	74	78	89	117	70	9
32	45	7	75	51	290	118	70	45
33	45	360	76	70	350	119	70	25
34	37	27	77	80	35	120	69	23
35	34	360	78	45	360	121	63	5
36	71	41	79	69	327	122	45	360
37	40	356	80	72	338	123	48	355

Kondisi air pada daerah penelitian menunjukkan kondisi yang mudah jenuh, terutama setelah hujan deras, karena banyaknya rekahan yang berfungsi sebagai tempat masuknya air ke dalam tubuh lereng.

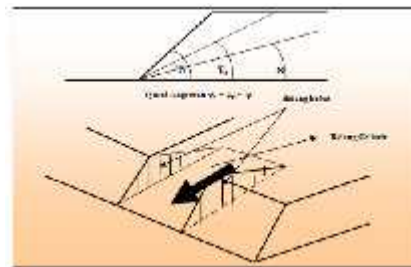
3.2. Analisa Kelongsoran Kinematika

Dari hasil *poleplot* dan *contourplot* menggunakan program Dips Versi 5.0, jenjang 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 serta lereng *overall* secara keseluruhan berpotensi terjadi longsor bidang.

Perbedaan *dipdirection* set bidang kekar N 358,822° E dengan *dipdirection* bidang lereng N 353° E adalah 5,822° (lebih kecil dari 20°), sedangkan kemiringan bidang lereng (51°) lebih besar dari kemiringan set bidang diskontinu (49°). Sehingga longsor bidang mungkin terjadi melalui arah umum bidang kekar.

Syarat longsor bidang = $f > p > \phi$ dimana :

- f = kemiringan muka lereng
- p = kemiringan bidang kekar
- ϕ = sudut geser dalam



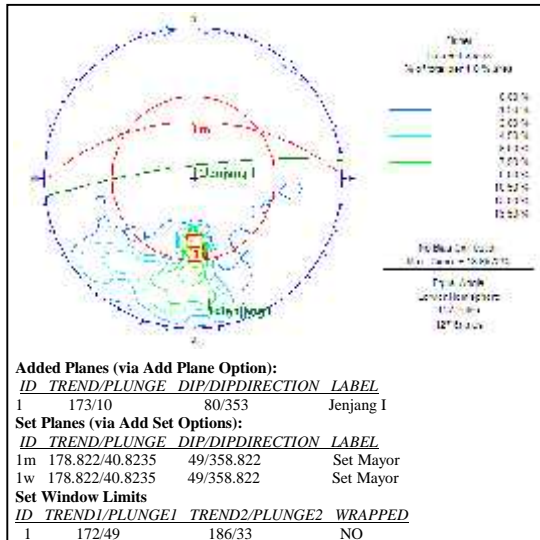
Gambar 6. Bentuk Longsor Bidang (Hoek, Evert, Bray J, 1981)

Tabel 5. Longsoran Bidang Lereng Blok Z14-BB14

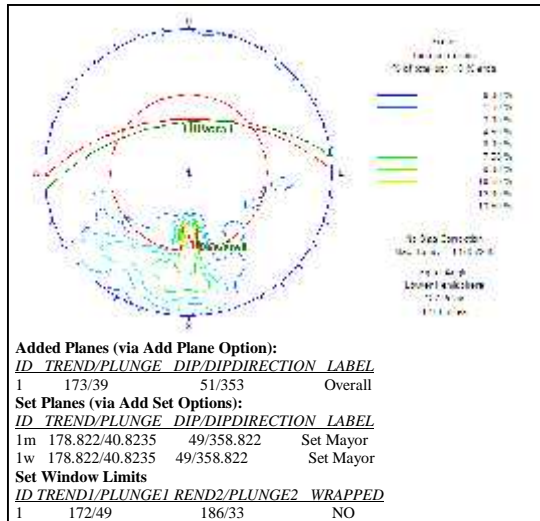
Lereng	Nama Lereng	f	p	φ	Syarat Longsoran
Blok Z14-BB14	Jenjang 1	80	49	33	Memenuhi
	Jenjang 2	65	49	33	Memenuhi
	Jenjang 3	60	49	33	Memenuhi
	Jenjang 4	80	49	33	Memenuhi
	Jenjang 5	70	49	33	Memenuhi
	Jenjang 6	60	49	33	Memenuhi
	Jenjang 7	70	49	33	Memenuhi
	Lereng Overall	51	49	33	Memenuhi

Sumber : Pengukuran-Analisa Laboratorium, 2004

Jadi jenjang I-VII serta lereng *Overall* tidak mantap secara kinematika. Kemungkinan longsoran bidang mengarah ke utara dari posisi lereng tersebut dan yang merupakan area kegiatan penambangan.



Gambar 5. Analisa Longsoran Bidang Jenjang I
 (Analisa Parameter Diskontinu-DIPS, 2004)



Gambar 6. Analisa Longsoran Lereng Overall
 (Analisa Parameter Diskontinu-DIPS, 2004)

3.3. Analisa Kemantapan Lereng

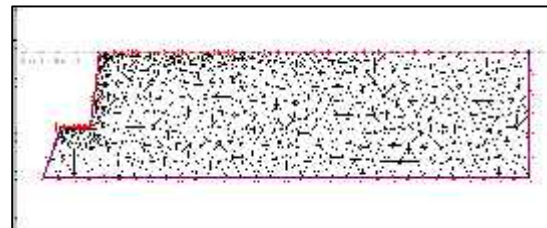
Dalam metode elemen hingga dengan program *Phase2* perhitungannya menggunakan parameter modulus elastisitas (E), poisson's ratio (ν), bobot isi jenuh (γ), sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (C) yang paling rendah dengan harapan akan diperoleh faktor keamanan minimal. Dalam hal ini faktor keamanan minimal yang digunakan seharga 1,35 untuk lereng individual maupun lereng overall.

Adapun model lereng keseluruhan mempunyai kondisi batas sebagai berikut :

- Pada batas kiri dan kanan dari model dianggap tidak terjadi perpindahan horizontal (*restraints x*) (yang diperbolehkan hanya perpindahan vertikal).
- Pada batas bawah dari model dianggap tidak terjadi perpindahan vertikal dan horizontal (*restraints x,y*).

1. Lereng Blok Z14-BB14 Jenjang I

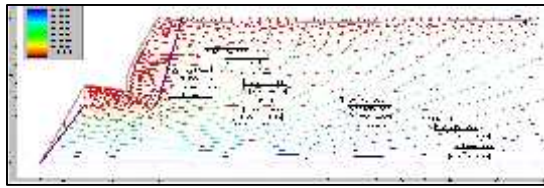
Jenjang I terdiri dari batugamping dengan sifat fisik dan mekanik dari batuan dapat dilihat pada Tabel 3. Gambar 7. memperlihatkan model dari jenjang I. Dari hasil eksekusi dengan tinggi jenjang 6 m, kemiringan lereng 80° dan bobot isi batuan dalam kondisi jenuh (γ) $0,01907 \text{ MN/m}^3$ tidak terdapat elemen yang hancur ($FK < 1$) dan elemen kritis ($FK = 1$). Faktor keamanan terkecil diperoleh 3,83052 pada koordinat $x = 8,444$; $y = 6,901$ dan faktor keamanan terbesar 8,67857 pada koordinat $x = 9,44$; $y = 9,761$ (berdasarkan kontur total perpindahan). Untuk bobot isi kering (γ) $0,01647 \text{ MN/m}^3$, didapat faktor keamanan terkecil 4,39048 pada koordinat $x = 8,444$; $y = 6,901$ dan terbesar 9,94839 pada koordinat $x = 9,44$; $y = 9,761$. Eksekusi dengan bobot isi asli (γ) $0,01666 \text{ MN/m}^3$ diperoleh faktor keamanan terkecil 4,35569 pada koordinat $x = 8,444$; $y = 6,901$ dan terbesar 9,84219 pada koordinat $x = 9,44$; $y = 9,761$. Total perpindahan terbesar (kondisi jenuh) dari elemen-elemen terjadi pada koordinat $x = 8,4$; $y = 8,595$ yaitu $9,64782e-005 \text{ m}$ (lihat Gambar 8). Sehingga dari beberapa eksekusi dengan bobot isi yang berbeda diatas maka jenjang I secara keseluruhan dalam kondisi aman. Lihat Tabel 6.



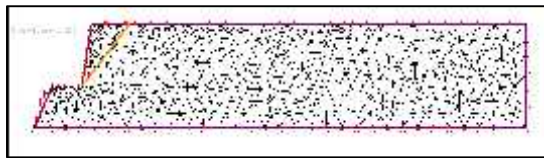
Gambar 7. Model Lereng Jenjang I
 (Hasil Pemodelan Phase2, 2004)

Jenjang dengan distribusi kekar pada kemiringan 49° dan spasi kekar 0,01 m yang berpotensi terjadinya longsor bidang dieksekusi pula dengan parameter yang sama dan bobot isi yang berbeda (Gambar 9). Hasil eksekusi dengan parameter bobot isi jenuh (γ) disepanjang bidang gelincir didapat nilai FK terkecil 3,90991 pada koordinat $x = 7,86$; $y = 6$ dan FK terbesar 15,08464 koordinat $x = 12,894$; $y = 12$, bobot isi kering (γ) diperoleh FK terkecil 4,36187 pada koordinat $x = 7,86$; $y = 6$ dan FK terbesar 17,38838 koordinat $x = 12,894$; $y = 12$, dan untuk bobot isi asli (γ) diperoleh FK terkecil 4,32407 pada koordinat $x = 7,86$; $y = 6$ dan FK terbesar 17,19561 koordinat $x = 12,894$; $y = 12$. Grafik nilai FK dari 3 kondisi bobot isi yang berbeda ini terhadap jarak pengukuran dapat dilihat pada Gambar 9. Total perpindahan terbesar (kondisi jenuh) dari elemen-elemen terjadi pada koordinat $x = 9,185$; $y = 7,579$ yaitu $8,37175e-005 \text{ m}$ (lihat Gambar 10). Dari beberapa eksekusi disepanjang bidang gelincir diatas tidak terdapat adanya elemen yang hancur ($FK < 1$) dan elemen yang kritis ($FK = 1$),

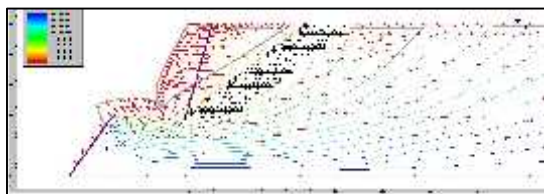
sehingga kondisi lereng dalam keadaan aman.
 Lihat Tabel 7.



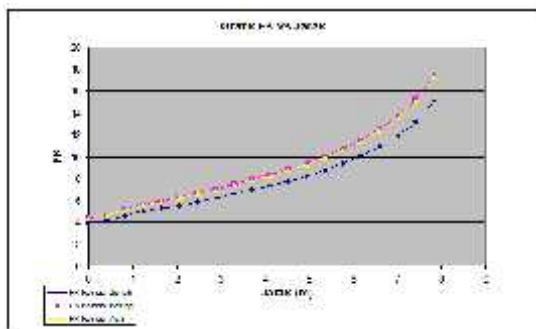
Gambar 8. Total Displacement Jenjang I
 (Hasil Pemodelan Program Phase2, 2004)



Gambar 9. Model Lereng Jenjang I ; kekar 49°
 (Hasil Pemodelan Phase2, 2004)



Gambar 11. Total Displacement Jenjang I ; kekar 49°
 (Hasil Pemodelan Phase2, 2004)



Gambar 10. Grafik FK ; Jenjang I
 (Analisis Data FK, 2004)

Tabel 6. FK Lereng Jenjang I

X	Y	Kondisi Batuan Jenuh Air				
		Sigma 1	Sigma 3	a	b	FK
8.40	8.60	0.05	0.00	0.15	0.02	6.40
8.58	7.98	0.06	0.00	0.16	0.03	5.26
8.64	7.39	0.08	0.01	0.16	0.04	4.50
8.44	6.90	0.10	0.01	0.17	0.04	3.83
9.44	9.76	0.04	0.00	0.15	0.02	8.68
10.80	9.08	0.05	0.01	0.16	0.02	7.59
11.35	8.35	0.07	0.02	0.16	0.02	7.05
11.55	7.72	0.08	0.03	0.17	0.02	6.87
11.79	7.10	0.09	0.04	0.18	0.03	6.75
11.66	6.44	0.10	0.05	0.18	0.03	6.76
11.55	5.85	0.11	0.06	0.19	0.03	6.80
11.31	5.34	0.12	0.06	0.19	0.03	6.88
11.06	4.86	0.13	0.07	0.19	0.03	6.95
15.63	6.48	0.11	0.06	0.18	0.02	8.12
15.86	5.89	0.12	0.07	0.19	0.02	8.03
15.90	5.32	0.13	0.08	0.20	0.02	7.90
15.99	4.72	0.14	0.09	0.20	0.03	7.81
18.70	5.23	0.13	0.08	0.20	0.02	8.52
19.47	4.68	0.14	0.09	0.20	0.02	8.62
19.91	4.04	0.15	0.10	0.21	0.02	8.55
20.28	3.40	0.16	0.11	0.21	0.03	8.52
20.06	2.66	0.17	0.12	0.22	0.03	8.45
X	Y	Kondisi Batuan Kering				
		Sigma 1	Sigma 3	a	b	FK

8.40	8.60	0.04	0.00	0.15	0.02	7.33
8.58	7.98	0.05	0.00	0.16	0.03	5.99
8.64	7.39	0.07	0.01	0.16	0.03	5.13
8.44	6.90	0.08	0.01	0.16	0.04	4.40
9.44	9.76	0.03	0.00	0.15	0.02	9.95
10.80	9.08	0.05	0.01	0.16	0.02	8.67
11.35	8.35	0.06	0.02	0.16	0.02	8.00
11.55	7.72	0.07	0.03	0.17	0.02	7.77
11.79	7.10	0.08	0.03	0.17	0.02	7.60
11.66	6.44	0.09	0.04	0.18	0.02	7.57
11.55	5.85	0.10	0.05	0.18	0.02	7.61
11.31	5.34	0.10	0.06	0.18	0.02	7.68
11.06	4.86	0.11	0.06	0.19	0.02	7.74
15.63	6.48	0.09	0.05	0.18	0.02	9.09
15.86	5.89	0.10	0.06	0.18	0.02	8.96
15.90	5.32	0.11	0.07	0.19	0.02	8.80
15.99	4.72	0.12	0.08	0.19	0.02	8.68
18.70	5.23	0.11	0.07	0.19	0.02	9.49
19.47	4.68	0.12	0.08	0.19	0.02	9.56
19.91	4.04	0.13	0.09	0.20	0.02	9.45
20.28	3.40	0.14	0.10	0.20	0.02	9.40
20.06	2.66	0.15	0.10	0.21	0.02	9.31
X	Y	Kondisi Batuan Asli				
		Sigma 1	Sigma 3	a	b	FK
8.40	8.60	0.05	0.00	0.15	0.02	6.21
8.58	7.98	0.05	0.00	0.16	0.03	5.93
8.64	7.39	0.07	0.01	0.16	0.03	5.08
8.44	6.90	0.08	0.01	0.16	0.04	4.36
9.44	9.76	0.03	0.00	0.15	0.02	9.84
10.80	9.08	0.05	0.01	0.16	0.02	8.58
11.35	8.35	0.06	0.02	0.16	0.02	7.92
11.55	7.72	0.07	0.03	0.17	0.02	7.69
11.79	7.10	0.08	0.03	0.17	0.02	7.53
11.66	6.44	0.09	0.04	0.18	0.02	7.50
11.55	5.85	0.10	0.05	0.18	0.02	7.54
11.31	5.34	0.10	0.06	0.18	0.02	7.61
11.06	4.86	0.11	0.06	0.19	0.02	7.68
15.63	6.48	0.09	0.05	0.18	0.02	9.01
15.86	5.89	0.10	0.06	0.18	0.02	8.88
15.90	5.32	0.11	0.07	0.19	0.02	8.72
15.99	4.72	0.12	0.08	0.19	0.02	8.61
18.70	5.23	0.11	0.07	0.19	0.02	9.41
19.47	4.68	0.12	0.08	0.20	0.02	9.48
19.91	4.04	0.13	0.09	0.20	0.02	9.37
20.28	3.40	0.14	0.10	0.20	0.02	9.33
20.06	2.66	0.15	0.10	0.21	0.02	9.24

Sumber : Perhitungan-Analisis Data, 2004.

Tabel 7. FK Lereng Jenjang I Dengan Pengaruh Kekar

X	Y	Kondisi Batuan Jenuh				
		Sigma 1	Sigma 3	a	b	FK
7.86	6.00	0.14	0.05	0.19	0.05	3.91
8.13	6.32	0.13	0.04	0.19	0.04	4.21
8.39	6.63	0.12	0.04	0.18	0.04	4.59
8.66	6.95	0.11	0.04	0.18	0.04	4.99
8.92	7.26	0.10	0.03	0.17	0.03	5.25
9.19	7.58	0.09	0.03	0.17	0.03	5.55
9.45	7.90	0.08	0.02	0.17	0.03	5.87
9.72	8.21	0.07	0.02	0.17	0.03	6.21
9.98	8.53	0.07	0.02	0.16	0.02	6.60
10.25	8.84	0.06	0.02	0.16	0.02	6.98
10.51	9.16	0.06	0.01	0.16	0.02	7.34
10.77	9.47	0.05	0.01	0.16	0.02	7.75
11.04	9.79	0.05	0.01	0.16	0.02	8.22
11.30	10.11	0.05	0.01	0.16	0.02	8.77
11.57	10.42	0.04	0.01	0.15	0.02	9.38
11.83	10.74	0.04	0.01	0.15	0.02	10.09
12.10	11.05	0.03	0.01	0.15	0.01	10.93
12.36	11.37	0.03	0.00	0.15	0.01	11.96
12.63	11.68	0.02	0.00	0.15	0.01	13.24
12.89	12.00	0.02	0.00	0.14	0.01	15.08

X	Y	Kondisi Batuan Kering				
		Sigma 1	Sigma 3	a	b	FK
7.86	6.00	0.12	0.04	0.18	0.04	4.36
8.13	6.32	0.11	0.04	0.18	0.04	4.71
8.39	6.63	0.10	0.03	0.18	0.03	5.14
8.66	6.95	0.09	0.03	0.17	0.03	5.61
8.92	7.26	0.08	0.03	0.17	0.03	5.91
9.19	7.58	0.08	0.02	0.17	0.03	6.26
9.45	7.90	0.07	0.02	0.16	0.02	6.64
9.72	8.21	0.06	0.02	0.16	0.02	7.04
9.98	8.53	0.06	0.02	0.16	0.02	7.49
10.25	8.84	0.05	0.01	0.16	0.02	7.93
10.51	9.16	0.05	0.01	0.16	0.02	8.35
10.77	9.47	0.05	0.01	0.16	0.02	8.83
11.04	9.79	0.04	0.01	0.15	0.02	9.38
11.30	10.11	0.04	0.01	0.15	0.02	10.02
11.57	10.42	0.04	0.01	0.15	0.01	10.72
11.83	10.74	0.03	0.01	0.15	0.01	11.55
12.10	11.05	0.03	0.00	0.15	0.01	12.54
12.36	11.37	0.02	0.00	0.15	0.01	13.74
12.63	11.68	0.02	0.00	0.15	0.01	15.23
12.89	12.00	0.02	0.00	0.14	0.01	17.39

X	Y	Kondisi Batuan Asli				
		Sigma 1	Sigma 3	a	b	FK
7.86	6.00	0.12	0.04	0.18	0.04	4.32
8.13	6.32	0.11	0.04	0.18	0.04	4.67
8.39	6.63	0.10	0.03	0.18	0.03	5.09
8.66	6.95	0.09	0.03	0.17	0.03	5.56
8.92	7.26	0.09	0.03	0.17	0.03	5.86
9.19	7.58	0.08	0.02	0.17	0.03	6.20
9.45	7.90	0.07	0.02	0.16	0.02	6.58
9.72	8.21	0.06	0.02	0.16	0.02	6.97
9.98	8.53	0.06	0.02	0.16	0.02	7.42
10.25	8.84	0.05	0.01	0.16	0.02	7.85
10.51	9.16	0.05	0.01	0.16	0.02	8.27
10.77	9.47	0.05	0.01	0.16	0.02	8.74
11.04	9.79	0.04	0.01	0.15	0.02	9.28
11.30	10.11	0.04	0.01	0.15	0.02	9.91
11.57	10.42	0.04	0.01	0.15	0.01	10.61
11.83	10.74	0.03	0.01	0.15	0.01	11.43
12.10	11.05	0.03	0.00	0.15	0.01	12.41
12.36	11.37	0.02	0.00	0.15	0.01	13.59
12.63	11.68	0.02	0.00	0.15	0.01	15.06
12.89	12.00	0.02	0.00	0.14	0.01	17.20

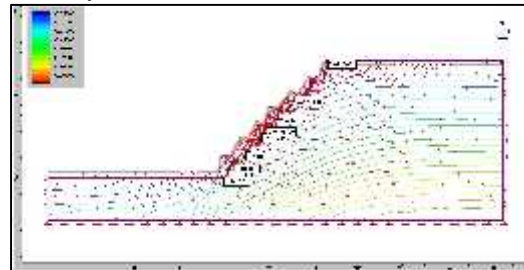
Sumber : Perhitungan-Analisis Data, 2004.

2. Lereng Blok Z14-BB14 Overall

Lereng Overall dengan sifat fisik dan mekanik dapat diperlihatkan pada Tabel 3. Dari hasil eksekusi dengan tinggi jenjang 42 m, kemiringan lereng 51° dan bobot isi batuan dalam kondisi jenuh (s) $0,01907 \text{ MN/m}^3$ tidak terdapat elemen yang hancur ($FK < 1$) dan elemen kritis ($FK = 1$). Faktor keamanan terkecil diperoleh 1,5064 pada koordinat $x = 62,829$; $y = 17,731$ dan faktor keamanan terbesar 3,71988 pada koordinat $x = 129,22$; $y = 3,24$ (berdasarkan kontur total perpindahan). Untuk bobot isi kering (o) $0,01647 \text{ MN/m}^3$, didapat faktor keamanan terkecil 1,6576 pada koordinat $x = 62,829$; $y =$

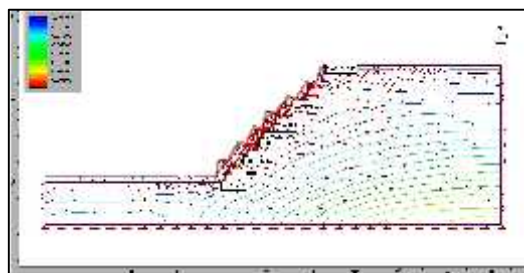
17,731 dan terbesar 3,85774 pada koordinat $x = 129,22$; $y = 3,24$. Eksekusi dengan bobot isi asli (n) $0,01666 \text{ MN/m}^3$ diperoleh faktor keamanan terkecil 1,64494 pada koordinat $x = 62,829$; $y = 17,731$ dan terbesar 3,84619 pada koordinat $x = 129,22$; $y = 3,24$. Total perpindahan terbesar (kondisi jenuh) dari elemen-elemen terjadi pada koordinat $x = 70,156$; $y = 26,439$ yaitu $0,00306549 \text{ m}$. Sehingga dari beberapa eksekusi dengan bobot isi yang berbeda diatas maka lereng Overall secara keseluruhan dalam kondisi aman. Lihat Tabel 8.

Jenjang dengan distribusi kekar pada kemiringan 49° dan spasi kekar 0,01 m yang berpotensi terjadinya longsor bidang dieksekusi pula dengan parameter yang sama dan bobot isi yang berbeda. Dari hasil eksekusi dengan parameter bobot isi jenuh (s) disepanjang bidang gelincir didapat nilai FK terkecil 1,61577 pada koordinat $x = 61,855$; $y = 17,211$ dan FK terbesar 29,16449 koordinat $x = 95,24$; $y = 57$, bobot isi kering (o) diperoleh FK terkecil 1,75103 pada koordinat $x = 61,855$; $y = 17,211$ dan FK terbesar 33,64777 koordinat $x = 95,24$; $y = 57$ dan untuk bobot isi asli (n) diperoleh FK terkecil 1,73972 pada koordinat $x = 61,855$; $y = 17,211$ dan FK terbesar 33,27333 koordinat $x = 95,24$; $y = 57$.



Gambar 11. Model Lereng Overall Blok Z14-BB14 (Sigma 1 - Pemodelan Phase2, 2004)

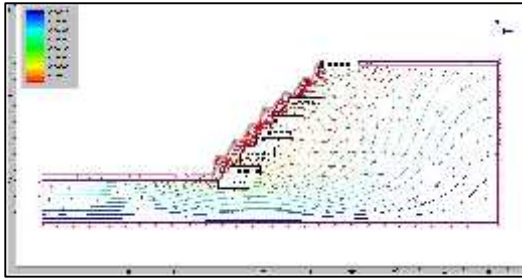
Grafik nilai FK dari 3 kondisi bobot isi yang berbeda ini terhadap jarak pengukuran dapat dilihat pada Gambar 14. Total perpindahan terbesar (kondisi jenuh) dari elemen-elemen terjadi pada koordinat $x = 69,274$; $y = 26,053$ yaitu $0,0030828 \text{ m}$ (lihat Gambar 13). Dari beberapa eksekusi disepanjang bidang gelincir diatas tidak terdapat adanya elemen yang hancur ($FK < 1$) dan elemen yang kritis ($FK = 1$), sehingga kondisi lereng dalam keadaan aman. Lihat Tabel 9.



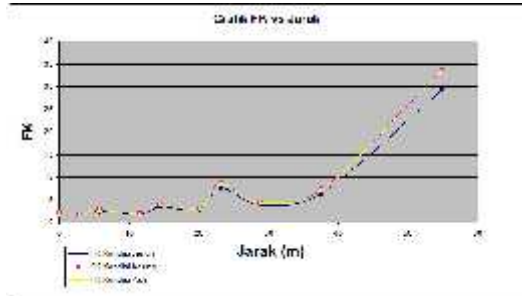
Gambar 12. Model Lereng Overall Blok Z14-BB14

(Sigma 3 - Pemodelan Phase2, 2004)

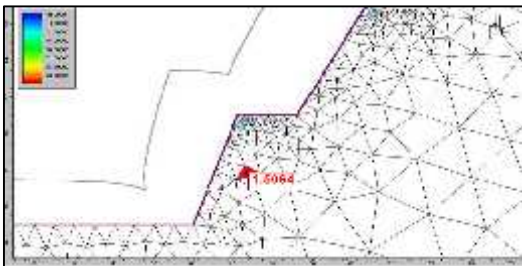
Faktor keamanan terkecil pada lereng secara keseluruhan diperoleh 1,5064 pada koordinat x = 62,829 ; y = 17,731, sehingga titik tersebut akan menjadi titik kritis yang menjadi titik permulaan terjadi longsoran bidang pada lereng. Jika elemen pada titik tersebut mengalami deformasi (perpindahan) baik horizontal maupun vertikal maka secara domino elemen-elemen lain yang memiliki kuat geser yang lemah juga ikut mengalami deformasi sesuai busur keruntuhan (Circular Failure) yang terbentuk pada lereng. (lihat Gambar 15).



Gambar 13. Model Lereng Overall Blok Z14-BB14 (Total Displacement - Pemodelan Phase2, 2004)



Gambar 14. Grafik FK ; Lereng Overall (Analisis Data FK, 2004)



Gambar 15. Posisi Titik Kritis Lereng (Analisis Data FK, 2004)

Tabel 8. FK Lereng Overall

X	Y	Kondisi Batuan Jenuh				
		Sigma 1	Sigma 3	a	b	FK
73.29	30.33	0.11	0.00	0.17	0.06	3.07
70.16	26.44	0.11	0.00	0.17	0.06	3.00
67.40	22.93	0.22	0.01	0.20	0.11	1.93
62.83	17.73	0.29	0.00	0.22	0.15	1.51
78.31	35.84	0.11	0.00	0.17	0.05	3.21
83.57	32.33	0.27	0.07	0.23	0.10	2.32
87.96	28.20	0.39	0.13	0.28	0.13	2.17
90.60	24.81	0.47	0.18	0.32	0.15	2.18
95.99	21.42	0.57	0.25	0.36	0.16	2.24
99.38	17.41	0.67	0.32	0.41	0.18	2.31
102.13	14.02	0.75	0.38	0.45	0.18	2.46
144.55	19.54	0.69	0.36	0.43	0.17	2.52
115.18	16.03	0.76	0.41	0.46	0.17	2.64

114.93	12.52	0.82	0.47	0.49	0.18	2.77
112.79	9.38	0.88	0.52	0.52	0.18	2.87
111.79	6.38	0.93	0.57	0.55	0.18	3.01
132.86	13.15	0.83	0.51	0.51	0.16	3.13
133.23	7.13	0.94	0.62	0.56	0.16	3.52
129.22	3.24	1.00	0.68	0.60	0.16	3.72
X	Y	Kondisi Batuan Kering				
		Sigma 1	Sigma 3	a	b	FK
73.29	30.33	0.10	0.00	0.17	0.05	3.47
70.16	26.44	0.10	0.00	0.17	0.05	3.39
67.40	22.93	0.19	0.01	0.20	0.09	2.14
62.83	17.73	0.25	0.00	0.21	0.13	1.66
78.31	35.84	0.10	0.00	0.17	0.05	3.62
83.57	32.33	0.23	0.06	0.22	0.09	2.54
87.96	28.20	0.33	0.11	0.26	0.11	2.34
90.60	24.81	0.41	0.16	0.29	0.13	2.33
95.99	21.42	0.50	0.21	0.33	0.14	2.36
99.38	17.41	0.58	0.27	0.37	0.15	2.43
102.13	14.02	0.65	0.33	0.41	0.16	2.58
144.55	19.54	0.60	0.31	0.39	0.15	2.65
115.18	16.03	0.66	0.36	0.42	0.15	2.76
114.93	12.52	0.71	0.40	0.44	0.15	2.89
112.79	9.38	0.76	0.45	0.47	0.16	2.99
111.79	6.38	0.80	0.49	0.49	0.16	3.13
132.86	13.15	0.72	0.44	0.46	0.14	3.27
133.23	7.13	0.81	0.54	0.51	0.14	3.66
129.22	3.24	0.86	0.58	0.53	0.14	3.86
X	Y	Kondisi Batuan Asli				
		Sigma 1	Sigma 3	a	b	FK
73.29	30.33	0.10	0.00	0.17	0.05	3.43
70.16	26.44	0.10	0.00	0.17	0.05	3.36
67.40	22.93	0.20	0.01	0.20	0.09	2.13
62.83	17.73	0.26	0.00	0.21	0.13	1.64
78.31	35.84	0.10	0.00	0.17	0.05	3.59
83.57	32.33	0.23	0.06	0.22	0.09	2.53
87.96	28.20	0.34	0.11	0.26	0.11	2.33
90.60	24.81	0.41	0.16	0.30	0.13	2.32
95.99	21.42	0.50	0.22	0.34	0.14	2.34
99.38	17.41	0.59	0.28	0.37	0.15	2.42
102.13	14.02	0.65	0.34	0.41	0.16	2.57
144.55	19.54	0.61	0.31	0.39	0.15	2.64
115.18	16.03	0.66	0.36	0.42	0.15	2.75
114.93	12.52	0.72	0.41	0.45	0.16	2.88
112.79	9.38	0.77	0.45	0.47	0.16	2.98
111.79	6.38	0.81	0.49	0.50	0.16	3.12
132.86	13.15	0.73	0.45	0.46	0.14	3.25
133.23	7.13	0.82	0.54	0.51	0.14	3.65
129.22	3.24	0.87	0.59	0.54	0.14	3.85

Sumber : Perhitungan-Analisis Data, 2004.

Tabel 9. FK Lereng Overall Pengaruh Kekar

X	Y	Kondisi Batuan Jenuh				
		Sigma 1	Sigma 3	a	b	FK
60.00	15.00	0.44	0.12	0.29	0.16	1.81
61.86	17.21	0.39	0.06	0.26	0.16	1.62
63.71	19.42	0.18	0.01	0.19	0.09	2.24
65.56	21.63	-	-	-	-	-
67.42	23.84	0.23	0.01	0.20	0.11	1.85
69.27	26.05	0.10	0.00	0.17	0.05	3.37
71.13	28.26	-	-	-	-	-
72.98	30.47	0.12	0.00	0.17	0.06	2.73
74.84	32.68	0.04	0.00	0.15	0.02	7.44
76.69	34.90	-	-	-	-	-
78.55	37.11	0.09	0.01	0.17	0.04	3.87
80.40	39.32	-	-	-	-	-
82.26	41.53	-	-	-	-	-
84.11	43.74	0.06	0.01	0.16	0.03	6.25
85.97	45.95	-	-	-	-	-
87.82	48.16	-	-	-	-	-
89.68	50.37	-	-	-	-	-
91.53	52.58	-	-	-	-	-
93.39	54.79	-	-	-	-	-
95.24	57.00	0.01	0.00	0.14	0.00	29.16
X	Y	Kondisi Batuan Kering				
		Sigma 1	Sigma 3	a	b	FK
60.00	15.00	0.38	0.10	0.27	0.14	1.95

61.86	17.21	0.34	0.06	0.25	0.14	1.75
63.71	19.42	0.16	0.01	0.19	0.07	2.50
65.56	21.63	-	-	-	-	-
67.42	23.84	0.20	0.01	0.20	0.10	2.05
69.27	26.05	0.09	0.00	0.16	0.04	3.81
71.13	28.26	-	-	-	-	-
72.98	30.47	0.11	0.00	0.17	0.05	3.08
74.84	32.68	0.04	0.00	0.15	0.02	8.51
76.69	34.90	-	-	-	-	-
78.55	37.11	0.08	0.01	0.16	0.04	4.38
80.40	39.32	-	-	-	-	-
82.26	41.53	-	-	-	-	-
84.11	43.74	0.05	0.01	0.15	0.02	7.12
85.97	45.95	-	-	-	-	-
87.82	48.16	-	-	-	-	-
89.68	50.37	-	-	-	-	-
91.53	52.58	-	-	-	-	-
93.39	54.79	-	-	-	-	-
95.24	57.00	0.01	0.00	0.14	0.00	33.65
X	Y	Kondisi Batuan Asli				
		Sigma 1	Sigma 3	a	b	FK
60.00	15.00	0.39	0.10	0.27	0.14	1.94
61.86	17.21	0.34	0.06	0.25	0.14	1.74
63.71	19.42	0.16	0.01	0.19	0.07	2.47
65.56	21.63	-	-	-	-	-
67.42	23.84	0.20	0.01	0.20	0.10	2.03
69.27	26.05	0.09	0.00	0.16	0.04	3.77
71.13	28.26	-	-	-	-	-
72.98	30.47	0.11	0.00	0.17	0.06	3.05
74.84	32.68	0.04	0.00	0.15	0.02	8.42
76.69	34.90	-	-	-	-	-
78.55	37.11	0.08	0.01	0.16	0.04	4.33
80.40	39.32	-	-	-	-	-
82.26	41.53	-	-	-	-	-
84.11	43.74	0.05	0.01	0.16	0.02	7.05
85.97	45.95	-	-	-	-	-
87.82	48.16	-	-	-	-	-
89.68	50.37	-	-	-	-	-
91.53	52.58	-	-	-	-	-
93.39	54.79	-	-	-	-	-
95.24	57.00	0.01	0.00	0.14	0.00	33.27

Sumber : Perhitungan-Analisis Data, 2004.

4. Kesimpulan

1. Hasil analisa metode elemen hingga (Phase2), kondisi lereng secara keseluruhan kondisi aman. Jenjang I-VII dan lereng *overall* tidak terdapat elemen yang hancur ($FK < 1$), semua elemen dalam kondisi mantap ($FK > 1,35$).
2. Analisis kinematika dengan *dipdirection* bidang kekar lereng N 358,822⁰ E dan *dipdirection* lereng N 353⁰ E, maka setiap jenjang berpotensi terjadinya longsor bidang (arah longsor ke utara), syarat longsor $f > p > \phi$. Penentuan stabilitas lereng ditentukan melalui analisis metode elemen hingga (Phase2).
3. Bahwa kadar air batuan berpengaruh terhadap stabilitas material pembentuk lereng. Semakin banyak kadar air maka tegangan air pori meningkat dan tegangan normal berkurang, kemampuan massa batuan untuk menahan tegangan longsor yang terjadi (kuat geser kecil) berkurang. Jika kuat geser kecil maka nilai FK yang diperoleh akan kecil, dimana nilai FK pada kondisi bobot isi jenuh

(kuat geser kecil) akan lebih kecil dibandingkan nilai FK kondisi bobot isi asli dan keringnya.

4. Metode elemen hingga (analisis kestabilan lereng) dipakai untuk menentukan titik kritis dari elemennya (titik pemicu terjadinya longsor). Dari titik pemicu ini akan dapat ditentukan busur dari longsor, yang pada kesimpulannya menjadi pembeda antara metode elemen hingga dengan penggunaan metode kesetimbangan batas.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada rekan-rekan di Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta dan rekan di Magister Teknik Pertambangan UPN Veteran Yogyakarta atas bantuan saran dan masukan.

Daftar Pustaka

- Gian Paolo Giani (1992), *Rock Slope Stability Analysis*, Tehnical University Of Turin, A.A. Balkema, Rotterdam, 1–6.
- Hoek, Evert, Bray J (1981), *Rock Slope Engineering*, Third Edition, Institute Of Mining and Metallurgy, London, 22–203.
- Koesnaryo,S (2001), *Mekanika Batuan Untuk Rekayasa Pertambangan*, Jurusan Teknik Pertambangan, UPN "Veteran" Jogjakarta, Jogjakarta, 6–44.
- Made Astawa Rai, (1999), *Diklat Perencanaan Tambang Batubara Dengan Tambang Terbuka Secara terintegrasi (Design Integrated Open Pit Coal Mining)* Balikpapan, Kalimantan Timur, Tim Dana Pengembangan Dan Keterampilan Sub Sektor Pertambangan Umum, Lembaga Pengabdian Kepada Masyarakat-ITB, Jurusan Teknik Pertambangan FTM-ITB, Bandung, I-2–I-5.
- Moh. Bambang Sugeng, (1994) *Diklat Pemantapan Lereng Angkatan I, Sangatta Kalimantan Timur, Metoda Analisis Beban Dinamik*, Tim Pengelola IWPL, Pertambangan Umum, Lembaga Pengabdian Kepada Masyarakat-ITB, Jurusan Teknik Pertambangan FTM-ITB, Bandung, 2-4.
- Rahmad dkk (1991), *Eksplorasi Tambahan Bahan Mentah Semen Di Daerah Temandang Kecamatan Merakurak Kabupaten Tuban Propinsi Jawa Timur*, Buku I, Kerjasama PT. Semen Gresik (Persero) dengan Direktorat Sumber Daya Mineral Bandung, Bandung, 5-45.
- Rockscience Inc. (2001), *Aplication of the Finite Element Method to Slope Stability*, Toronto, 1-5.

S.L. Crouch, A.M. Starfield (1983), *Boundary Element Methods In Solid Mechanics*, Department Of Civil And Mineral Engineering, University Of Minnesota, Minneapolis, Minnesota USA, 8-24.

William Weaver, JR, Paul R. Johnston (1993), *Elemen Hingga Untuk Analisis Struktur*, PT. Eresco Bandung, Bandung, 1-74.