

Analisis Kestabilan Lereng *Front IV Pit Limit* Di Area Penambangan Batu Kapur PT. Semen Padang Sumatera Barat

Fuzi Atiqah^{1,*}, and Bambang Heriyadi¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*fuziatiqah14@gmail.com

**bambangh@ft.unp.ac.id

Abstract. PT. Semen Padang is the oldest cement factory in Indonesia which was established on March 18, 1910 under the name NV Nederlandsch Indische Portland Cement Maatschappij (NV NIPCM), which is the first cement factory in Indonesia. The activity of mining in Pit Limit Front IV development area in September 2019 occurred landslides. The landslide that occur is Toppling Failure. The actual slope is 75° , the height is 20 meters, and the width is 8 meters. Based on bishop method the analysis results obtained the value of the slope safety factor (FK) in dry conditions is 1.4 with an angle of 70° , a height of 30.752 meters and a value of the Probability of Failure (PF) is 0%. the results of the analysis obtained value of the slope safety factor (FK) in saturated conditions is 1.0 with an angle of 70° , a height of 30.752 meters and a probability of failure value of 45.7%. The results of the slope design recommendations obtained the value of the slope safety factor (FK) in dry conditions is 1.9 with an angle of 66° , height of 30,752 meters and value of the probability of failure (PF) is 0%. The value of slope Safety factor (FK) in saturated condition is 1.4 with an angle 66° , height of 30.752 meters and value of the probability of failure (PF) is 0%.

Keywords: Slope, Safety of Factor, Probability of Failure, Bishop Method, Toppling Failure

1 Pendahuluan

PT. Semen Padang merupakan pabrik semen tertua di Indonesia yang didirikan pada tanggal 18 Maret 1910 dengan nama NV *Nederlandsch Indische Portland Cement Maatschappij* (NV NIPCM), yang merupakan pabrik semen pertama di Indonesia. PT. Semen Padang tergabung dalam *group* PT Semen Indonesia yang memproduksi semen untuk kebutuhan dalam negeri dan kebutuhan *export* luar negeri.

Penambangan batu kapur di PT. Semen Padang pada lokasi Bukit Karang Putih dilakukan dengan metode *Quarry* yang meliputi kegiatan *land clearing, top soil removal, drilling and blasting, loading dan hauling* material. Ketinggian puncak bukit karang putih saat ini berada pada posisi 550 meter diatas permukaan laut. Dengan adanya kemajuan penambangan pada area *front* kerja, massa batuan lemah yang tersingkap semakin luas sehingga menyebabkan kemungkinan terjadinya ketidakstabilan lereng semakin besar.

Aktifitas pada tambang terbuka dengan metode *quarry* sangat dipengaruhi oleh stabilitas lereng, yang dapat mengakibatkan tidak amannya suatu lahan tambang terbuka yang dikenal sebagai longsoran lereng tambang. Longsoran lereng penambangan pada umumnya disebabkan oleh berbagai faktor, seperti sifat fisik dan mekanik dari bahan galian tersebut, geometri lereng, adanya bidang diskontinuitas, air tanah, getaran peledakan, dan gempa bumi.

Dalam melakukan studi geoteknik, PT. Semen Padang melakukan kerja sama dengan CV. Bilanda Utama pada tahun 2008. Peyelidikan geoteknik dilakukan pada tiap-tiap area front penambangan batukapur. Percontoh batuan diambil juga pada tiap front penambangan guna dilakukan uji sifat fisik dan mekanik batuan yang akan digunakan dalam menganalisis slope stability.

Penambangan pada area *Pit Limit Front IV* terjadi longsoran pada bulan September 2019. Longsoran yang terjadi berupa longsoran jatuhan (Toppling Failure). Pada

keadaan lereng aktual ditemukannya bidang lemah berupa kekar (*joint*) yang dapat mempercepat proses terjadinya longsoran. Pada kondisi keadaan aktual kemiringan lereng adalah 75° , ketinggian 20 meter, dan lebar jenjang 8 meter.

Peristiwa longsor merupakan salah satu bencana yang menyebabkan kerugian dan memberikan dampak negatif bagi perusahaan seperti timbulnya korban jiwa dan rusaknya peralatan tambang. Untuk keamanan dari proses penambangan maka dilakukan evaluasi terhadap kestabilan lereng pada area tersebut karena menyangkut keselamatan kerja. Kondisi lereng front IV Pit Limit dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kondisi Lereng *Front IV Pit Limit*

Oleh karena itu diperlukan kajian mengenai analisis kestabilan lereng berdasarkan topografi aktual bulan September 2019 untuk menghindari potensi terjadinya longsor sehingga mengurangi resiko bahaya yang akan ditimbulkan. Karena kestabilan lereng yang tidak terkendali dapat berdampak pada keselamatan kerja serta kelancaran produksi. Dalam penelitian ini akan membahas nilai Faktor Keamanan (FK) dan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) berdasarkan hasil uji laboratorium sifat fisik-mekanik batuan.

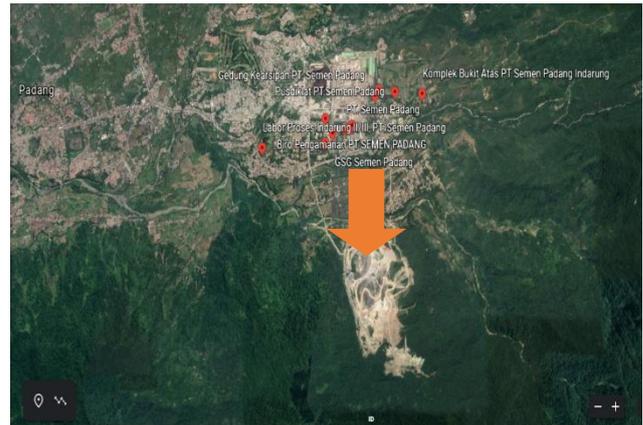
Lereng yang didesain akan terus dievaluasi pada periode tertentu karena apa yang didesain tidak selamanya sesuai dengan kondisi actual di lapangan. Hal ini disebabkan karena faktor-faktor dari luar seperti adanya pelapukan pada dinding lereng yang setiap saat bisa menyebabkan terjadinya kelongsoran.^[1]

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Lokasi Penelitian

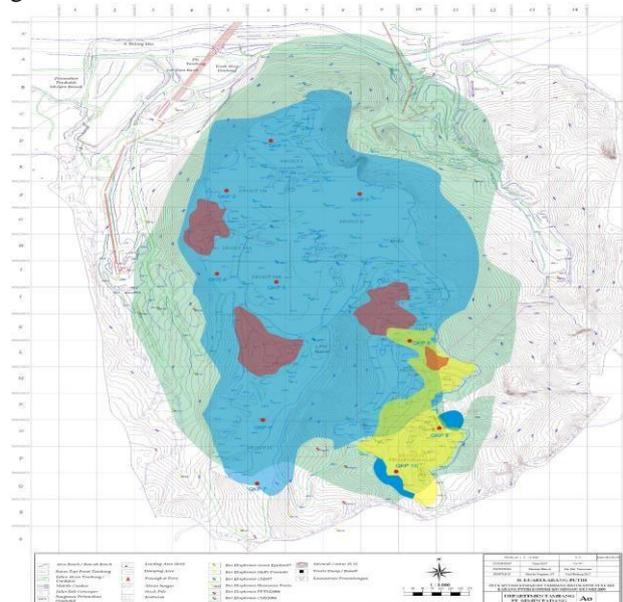
Lokasi tambang PT. Semen Padang berada di Bukit Karang Putih, Indarung, Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat ± 15 KM di sebelah Timur Kota Padang. Secara geografis terletak pada $1^{\circ} 04' 30''$ LS sampai $1^{\circ} 06' 30''$ LS dan $100^{\circ} 15' 30''$ BT sampai $100^{\circ} 10' 30''$ BT. Berbatasan ke arah Barat dengan Kota Padang, ke arah Timur dengan Kabupaten Solok, ke arah Utara dengan Kabupaten Agam dan ke arah

Selatan berbatasan dengan Kabupaten Pesisir Selatan. Lokasi PT. Semen Padang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi PT. Semen Padang

Peta Geologi PT. Semen Padang dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Peta Geologi PT. Semen Padang

2.2 Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng merupakan salah satu permasalahan yang sering dihadapi dalam pekerjaan rekayasa konstruksi pertambangan. Gangguan terhadap kestabilan lereng akan mengganggu keselamatan pekerja, kerusakan lingkungan, kerusakan alat penambangan, mengurangi intensitas produksi dan mengganggu kelancaran pelaksanaan penambangan. Oleh karena itu, analisis kestabilan lereng sangat diperlukan dalam mencegah terjadinya gangguan akibat bahaya longsor tersebut.

Pada kondisi gaya penahan (terhadap longsoran) lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil (aman). Namun, apabila gaya penahan lebih kecil dari gaya penggerak, lereng tersebut tidak stabil dan akan terjadi longsor. Sebenarnya longsoran merupakan suatu proses alami yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru

(keseimbangan baru), dimana gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak.^[2]

Dalam menentukan kestabilan atau kemantapan lereng dikenal istilah **Faktor Keamanan (Safety Factor)** yang merupakan perbandingan antara kekuatan geser yang diperlukan agar setimbang terhadap kekuatan geser yang tersedia. Secara prinsip, pada suatu lereng berlaku dua macam gaya, yaitu gaya penahan dan gaya penggerak. Gaya penahan yaitu gaya yang menahan massa dari pergerakan, sedangkan gaya penggerak adalah gaya yang menyebabkan massa bergerak. Secara sistematis faktor keamanan didefinisikan sebagai:

$$FK = \frac{\text{gaya penahan longsor}}{\text{gaya penyebab longsor}}$$

Nilai-nilai kestabilan suatu lereng dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$FK \geq 1,3$: lereng dalam keadaan stabil

$1 < F < 1,3$: lereng dalam keadaan kritis (akan longsor)

$F < 1$: lereng dalam keadaan tidak stabil

2.3 Klasifikasi Longsoran

Berdasarkan proses longsornya, longsoran batuan yang umum terjadi pada tambang terbuka dapat dibedakan atas longsoran busur, longsoran bidang, longsoran baji, dan longsoran guling.^[3-6]

2.3.1 Longsoran Busur (Circular Failure)

Longsoran busur terjadi pada massa tanah, urugan, atau batuan dengan sistem yang rapat, mempunyai jumlah keluarga kekar dengan orientasi acak. Longsoran jenis ini banyak terjadi pada lereng tanah dan batuan lapuk atau sangat terkekarkan dan di lereng-lereng timbunan. Bentuk bidang gelincir pada longsoran busur, sesuai dengan namanya akan menyerupai busur bila digambarkan pada penampang melintang.

2.3.2 Longsoran Bidang (Plane Failure)

Longsoran bidang merupakan suatu longsoran yang terjadi sepanjang bidang lurus yang dianggap rata. Bidang lurus tersebut dapat berupa sesar, rekahan (*joint*), maupun bidang perlapisan batuan. Longsoran bidang relatif jarang terjadi. Namun, jika ada kondisi yang menunjang terjadinya longsoran bidang, longsoran yang terjadi mungkin akan lebih besar (secara volume) dari pada longsoran lain.

2.3.3 Longsoran Baji (Wedge Failure)

Longsoran baji dapat terjadi pada suatu batuan apabila terdapat lebih dari satu bidang lemah yang saling berpotongan. Sudut perpotongan antara bidang lemah tersebut harus lebih besar dari sudut geser dalam batuan tetapi lebih kecil dari kemiringan lereng,

dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom. Persyaratan yang harus terpenuhi untuk terjadinya longsoran baji adalah bila sudut yang dibentuk garis potong kedua bidang lemah tersebut dengan bidang horizontal lebih kecil dari sudut lerengnya

2.3.4 Longsoran Guling (Toppling Failure)

Longsoran guling ini terjadi apabila bidang-bidang lemah yang terdapat pada lereng mempunyai kemiringan yang berlawanan dengan kemiringan lereng. Longsoran guling umumnya terjadi pada lereng yang terjal dan pada batuan yang keras, dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom.

2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng bervariasi sepanjang waktu. Hal ini disebabkan oleh adanya perubahan tekanan air pori, tegangan geser, dan pembebanan pada lereng yang mengakibatkan perubahan kekuatan geser material. Perubahan tersebut umumnya oleh adanya perubahan musim dan adanya proses pelapukan.

2.4.1 Faktor-Faktor Pembentuk Gaya Penahan^{[7] [15]}

1. Jenis batuan
2. Kekuatan Batuan
3. Penyebaran Batuan

2.4.2 Faktor-Faktor Pembentuk Gaya Penggerak

Parameter-parameter penting dalam pembentuk gaya penggerak adalah:

1. Sudut Lereng Dan Tinggi Lereng (Geometri Lereng)
2. Bobot Isi
3. Kandungan Air Tanah (u)

2.4.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Gaya Penahan

1. Proses Pelapukan
2. Bidang Lemah
3. Iklim
4. Air

2.4.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Gaya Penggerak

1. Aktivitas Tektonik
2. Gempa atau Sumber Getaran Lain
3. Penambahan Air Tanah
4. Pengeringan Waduk

2.5 Metode Kestimbangan Batas

2.5.1 Metode Bishop yang Disederhanakan

Metode Bishop yang disederhanakan merupakan metode yang paling populer dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu besarnya gaya geser antar-irisan sama dengan nol ($X=0$) dan bidang runtuh berbentuk sebuah busur lingkaran. Kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi oleh metode ini adalah kesetimbangan gaya dalam arah vertical untuk setiap irisan dan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan, sedangkan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal tidak dapat dipenuhi. Untuk menghitung nilai faktor keamanan dapat menggunakan persamaan berikut: [8-10]

$$FK = \frac{\left(\sum X / \left(1 + \frac{Y}{F}\right)\right)}{\left(\sum Z + Q\right)}$$

Keterangan:

$$X = (c' + (\gamma \cdot h - \gamma_w \cdot h_w) \tan \theta) \frac{\Delta x}{\cos \alpha}$$

$$Y = \tan \alpha \tan \theta$$

$$Z = \gamma \cdot h \cdot \Delta x \cdot \sin \alpha$$

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot Z^2 \left(\frac{\alpha}{R}\right)$$

FK = faktor keamanan

γ = bobot isi material (ton/m^3)

γ_w = bobot isi air (ton/m^3)

α = kemiringan bidang lurus ($^\circ$)

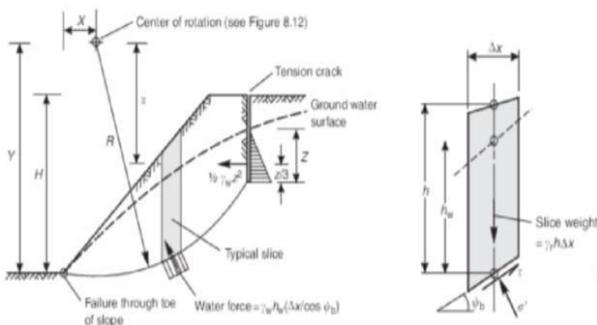
θ = sudut geser dalam ($^\circ$)

h = tinggi lereng (m)

h_w = tinggi lereng jenuh (m)

c' = kohesi (Mpa)

Z = kedalaman tegangan tarik (m)



Gambar 4. Metode Bishop yang Disederhanakan

2.5.2 Analisis Probabilistik Monte Carlo

Fungsi distribusi probabilitas menggambarkan penyebaran suatu variabel acak yang digunakan untuk memperkirakan nilai probabilitas kemunculan suatu parameter. Dalam metode kesetimbangan batas dapat menunjukkan beberapa nilai yaitu SF (*Safety of Factor*), PF (*Probability Failure*), dan RI (*Reability Index*).

Probabilitas kelongsoran dapat didefinisikan sebagai rasio antara jumlah lereng longsor hasil analisis ($FK < 1$) dengan jumlah total analisis (sampel atau simulasi) yang dinyatakan dalam persen. [11-12]

$$PK = \frac{\text{numfailed} (FK < 1)}{\text{numtotal}} \times 100\%$$

atau $PK = P[FK < 1] \times 100\%$

2.5.2.1 PF (Probabiliti of Failure)

Probabilitas Kelongsoran (PK) didefinisikan sebagai rasio antara jumlah lereng longsor hasil analisis ($FK < 1$) dengan jumlah total analisis (sampel atau simulasi) yang dinyatakan dalam persen.

2.5.2.2 RI (Releability Index)

Cara lain menilai keamanan lereng dalam analisis probabilitas adalah dengan menghitung nilai indeks reliabilitasnya. RI merupakan ukuran seberapa jauh nilai FK hasil hitung terhadap nilai kritisnya ($FK=1$). Dari persamaan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Untuk tingkat keyakinan yang baik RI harus lebih besar atau sama dengan tiga ($RI = 3$).
- $RI = 0$ menunjukkan nilai rata-rata faktor keamanan sama dengan satu ($FK_{mean}=1$).
- RI negatif menunjukkan rata-rata nilai FK kurang dari satu ($FK_{mean} < 1$).

2.6 Rocscience Slide

Rocscience Slide adalah salah satu *software* geoteknik yang mempunyai spesialisasi sebagai *software* perhitungan kestabilan lereng. Pada dasarnya *Rocscience Slide* adalah salah satu program di dalam paket perhitungan geoteknik *Rocscience* yang terdiri dari *Swedge*, *Roclub*, *Phase2*, *RocPlane*, *Unwedge*, dan *RocData*. Secara umum langkah analisis kestabilan lereng dengan *Rocscience Slide* adalah pemodelan, identifikasi metode dan parameter perhitungan, identifikasi material, penentuan bidang gelincir, *running/kalkulasi*, dan interpretasi nilai *FoS* dengan *software* komplemen *Slide* bernama *Slide Interpret*. [1] [13]

2.7 Dasar Hukum Geoteknik Tambang

Dasar hukum dalam kestabilan lereng berpedoman terhadap Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018

3 Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada lereng area *Front IV Pit Limit* penambangan batu kapur PT. Semen Padang. Penelitian dilaksanakan pada tanggal 30 September 2019 sampai dengan tanggal 22 November 2019.

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini lebih terarah ke penelitian terapan (*Applied Research*), yaitu salah satu jenis penelitian yang bertujuan untuk mengaplikasikan teori yang didapat dibangku perkuliahan terhadap kondisi aktual dilapangan. Dalam melaksanakan penelitian permasalahan ini, penulis menggabungkan antara teori dengan data-data lapangan, sehingga dari keduanya diperoleh pendekatan penyelesaian masalah.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dimulai dengan studi literatur yaitu pencarian bahan pustaka terhadap masalah yang akan dibahas meliputi studi tentang analisis mengenai produksi penambangan melalui berbagai percobaan, buku-buku, jurnal atau laporan studi yang sudah ada.

Selanjutnya yaitu observasi lapangan yang dilakukan selama satu minggu guna melihat kondisi lapangan secara langsung dan permasalahan aktual yang ada di lapangan.

Selanjutnya yaitu tahapan pengambilan data meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yang diambil yaitu pengukuran geometri lereng dan sampel batuan. Data sekunder berupa peta lokasi penelitian, data curah hujan, peta kesampaian daerah lokasi penelitian, peta geologi daerah penelitian, peta dan desain rencana penambangan.

Tahapan selanjutnya yaitu tahapan pengolahan data. Pada tahapan ini dilakukan perhitungan dan penggambaran, yang selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel, grafik atau rangkaian perhitungan dalam menyelesaikan suatu proses tertentu. Adapun kegiatan pengolahan data berupa pembuatan model lereng, dan analisis statistik deskriptif data sifat fisik dan mekanik batuan yang diperoleh dari hasil uji laboratorium yang diolah dengan menggunakan bantuan Microsoft Excel.

3.3 Teknik Analisis Data

Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu metode bishop yang disederhanakan (*Bishop Simplified*). Penyelesaian perhitungan dibantu dengan perangkat lunak software Roscience Slide 6.0, dengan batasan nilai faktor keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) mengacu pada Kepmen ESDM No. 1827 Tahun 2018.

3.4 Kesimpulan

Kesimpulan diperoleh setelah dilakukan korelasi antara hasil pengamatan di lapangan, pengolahan data dan analisis permasalahan yang diteliti untuk memberikan alternatif pada lereng yang kritis dan tidak stabil dengan faktor kemananan yang sesuai.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Penelitian

4.1.1 Kondisi Lereng

Pada area *Pit Limit front IV section A-A'* terjadi kelongsoran pada bulan September tahun 2018 yang diakibatkan ketidakstabilan lereng yang dipengaruhi oleh bidang-bidang lemah yang terdapat pada lereng, serta kondisi alamiah seperti iklim dan proses pelapukan yang terjadi pada material penyusun lereng.

Jenis longsoran diidentifikasi sebagai longsor busur, karena longsor terjadi pada batuan yang mengalami pelapukan. Untuk menghindari terulangnya longsor maka dilakukannya evaluasi terhadap geometri lereng yang ada dengan melakukan analisis kestabilan lereng.



Gambar 5. Kondisi Lereng

4.1.2 Data Hasil Ujilaboratorium

Pengujian sampel batuan di laboratorium bertujuan untuk mendapatkan nilai sifat fisik dan sifat mekanik batuan. Uji laboratorium dilakukan di laboratorium mekanika batuan teknik pertambangan Universitas Negeri Padang dengan membawa sampel dari *front IV* penambangan batu kapur PT. Semen Padang. Pengujian dilakukan pada bulan Desember tahun 2019.

Pengujian sampel di laboratorium mekanika batuan Universitas Negeri Padang meliputi uji: Sifat fisik batuan meliputi bobot isi asli, bobot isi jenuh, bobot isi kering, kadar air asli, kadar air jenuh, derajat kejenuhan, dan porositas. Sifat mekanik batuan meliputi uji geser langsung, kohesi, dan sudut geser dalam.

4.1.2.1 Pengujian Sifat Fisik Batuan

Pengujian sifat fisik batuan terdiri atas nilai bobot isi kering (*dry density*) dan bobot isi jenuh (*saturated density*) serta bobot isi asli (*natural density*). Hasil pengujian sifat fisik batuan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Batuan

No	Sampel	Lithology	Bobot isi Asli (kN/m ³)	Bobot Isi Kering (kn/m ³)	Bobot Isi Jenuh (kN/m ³)
1	Sampel 1	Limestone	28.1	28.3	28.1
2	Sampel 2	Limestone	26.5	26.7	26.5
3	Sampel 3	Limestone	26.5	26.6	26.5

4.1.2.2 Pengujian Uji Geser Lansung

Nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (\emptyset) diperoleh dari pengujian laboratorium yaitu pengujian kuat geser langsung (*direct shear strength test*). Hasil pengujian kuat geser langsung (*direct shear strength test*) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Uji Geser Langsung

No.	Sampel	Lithology	Kohesi (c)	Sudut geser dalam (\emptyset)
1	Sampel 1	Limestone	119	29.38
2	Sampel 2	Limestone	118	29.11
3	Sampel 3	Limestone	111	30.5

4.1.3 Beban Dinamis

Dalam permodelan ini, beban yang bekerja dianggap hanya gaya yang disebabkan oleh getaran peledakan. Beban dinamik berupa getaran yang disebabkan oleh adanya aktivitas peledakan. Berdasarkan hasil dari pengukuran getaran peledakan dijadikan sebagai salah satu parameter dalam melakukan analisis kestabilan lereng. Berdasarkan hasil Monitoring ground vibration and blast yang dilakukan oleh PT. Semen Padang beban dinamik yang disebabkan oleh aktivitas peledakan dapat dilihat pada tabel 3

Tabel 3. Getaran peledakan

No.	Lokasi Monitoring	amaks
1	LSC3A/B	0.051
2	LSC3A/B	0.040
3	LSC3A/B	0.066
4	LSC3A/B	0.051
5	LSC3A/B	0.058

Berdasarkan Tabel 3. Untuk analisis statistik seismik dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Statistik Getaran Peledakan

Parameter Statistik		Hasil
Statistik	N	5
	Mean	0.0532
	Variance	0.00009
	STD	0.00962
	Minimum	0.04
	Maximum	0.066

4.1.4 Statistik Deskriptif Material Properties

Analisis *statistik deskriptif* dilakukan terhadap parameter yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Parameter tersebut berupa nilai bobot isi, kohesi, dan sudut geser dalam (*Phi*).

4.1.4.1 Statistik Deskriptif Hasil Uji Sifat Fisik

Analisis statistik deskriptif hasil uji sifat fisik batuan dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Statistik Deskriptif Hasil Uji Sifat Fisik

Parameter Statistik		Material
		<i>Limestone</i>
Bobot Isi Asli	<i>Mean</i>	26
	<i>Standar Deviation</i>	0.9
	<i>Range</i>	1.58
	<i>Skewness</i>	1.72
	<i>Maximum</i>	27.57
	<i>Minimum</i>	25.99
	N	3

4.1.4.2 Statistik Deskriptif Hasil Uji Geser Langsung

Analisis statistik deskriptif hasil geser langsung dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5. Statistik Deskriptif Hasil Uji Sifat Fisik

Parameter Statistik		Material
		<i>Limestone</i>
Kohesi	<i>Mean</i>	116
	<i>Standar Deviation</i>	4.35
	<i>Range</i>	8
	<i>Skewness</i>	-1.6
	<i>Maximum</i>	119
	<i>Minimum</i>	111
	N	3
Sudut Geser Dalam	<i>Mean</i>	29.66
	<i>Standar Deviation</i>	0.425

	Range	1.39
	Skewness	1.47
	Maximum	30.5
	Minimum	29.11
	N	3

4.2 Pemodelan Lereng

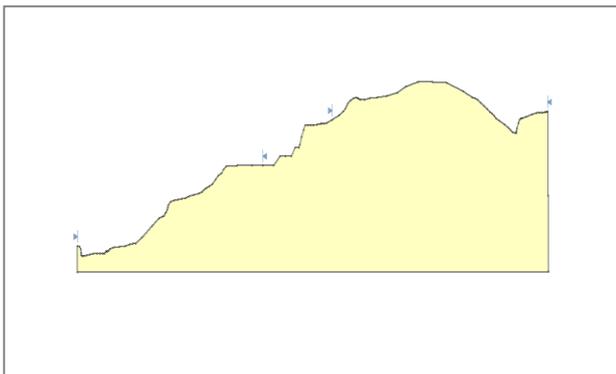
Pemodelan lereng tambang yang akan dianalisis dengan memasukkan faktor-faktor geometri, jenis batuan, sifat fisik dan mekanik batuan, tegangan insitu, sehingga dapat menggambarkan dan mewakili keadaan lereng tambang mendekati keadaan sebenarnya di lapangan. Geometri model lereng tambang meliputi ketinggian dan kemiringan lereng keseluruhan (*Overall*).

Dalam penelitian ini, pemodelan dan analisis kemandapan lereng menggunakan pemodelan kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) dan analisis probabilitas dengan metode monte carlo. Analisis probabilitas dilakukan untuk menentukan nilai probabilitas kelongsoran suatu lereng. Nilai probabilitas kelongsoran (PK) = 5% digunakan untuk menilai stabilitas model lereng yang dapat diterima yang merujuk kepada Kepmen 1827K tahun 2018. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak (*software*). Analisis kemandapan lereng menggunakan metode bishop yang disederhanakan (*Bishop simplified*) dengan bantuan *Software*.

Properties material dalam pemodelan lereng section A-A' yang dapat dilihat pada gambar 6 meliputi bobot isi asli, bobot isi jenuh, kohesi (c), dan sudut geser dalam (θ). Nilai properties material penyusun lereng dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Material Properties

Material	Bobot Isi Asli (kN/m ³)	Bobot Isi Jenuh (kN/m ³)	Kohesi (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam (°)
Limestone	26	27	119	30.5



Gambar 6. Penampang Lereng Section A-A'

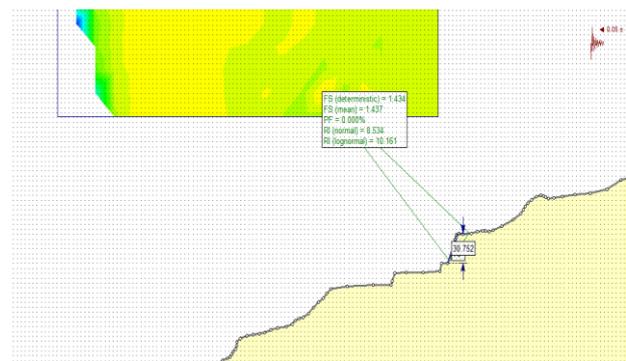
4.2.1 Analisis Kestabilan Lereng Section A-A' Pit Limit Front IV

Analisis kestabilan lereng dilakukan berdasarkan topografi actual bulan September 2019 yang telah di desain oleh Departemen Tambang PT. Semen Padang, apabila hasil analisis berada dalam kondisi tidak aman sehingga harus memodelkan kembali atau membuat rekomendasi geometri lereng baru dengan nilai yang lebih optimal. Analisa kestabilan lereng dilakukan dengan metode kesetimbangan batas yaitu dengan metode bishop yang disederhanakan. Sebelum menganalisis kestabilan lereng peneliti memberikan beberapa pendekatan dalam analisis lereng yaitu sebagai berikut:

- Material penyusun lereng diasumsikan homogen.
- Kekuatan geser material (c dan ϕ) yang digunakan dalam analisis adalah kekuatan geser puncak (*material peak*)
- Penampang geoteknik dalam analisis merupakan penampang yang

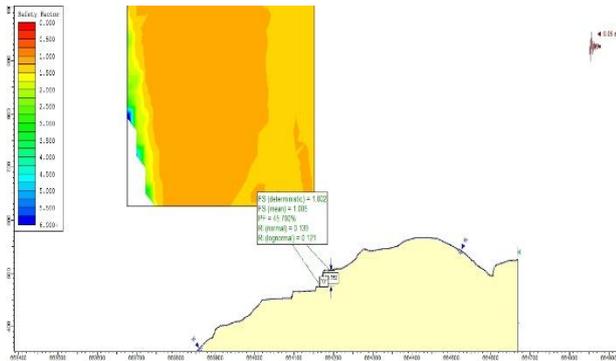
Analisa dilakukan terhadap topografi lereng Section A-A' bulan September 2019 dengan tujuan untuk mencari nilai Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK). Analisis dilakukan pada section A-A' serta berdasarkan parameter material properties yang diperoleh dari data hasil uji laboratorium.

Hasil analisis lereng dalam kondisi kering yang diberi getaran gempa 0.05 didapatkan nilai faktor keamanan lereng (FK) dalam kondisi kering sebesar 1.4 dengan sudut 70°, tinggi 30.752 meter dan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) adalah 0% (Gambar 6)



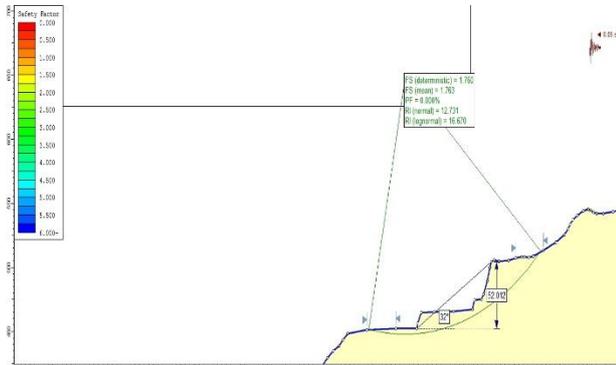
Gambar 6. Faktor keamanan lereng section A-A' dalam kondisi kering.

Hasil analisis lereng dalam kondisi jenuh dengan beban gempa 0.05 didapatkan nilai faktor keamanan lereng (FK) dalam kondisi jenuh adalah sebesar 1.0 dengan sudut 70°, tinggi 30.752 meter dan nilai probabilitas kelongsoran sebesar 45.7% (Gambar 7).



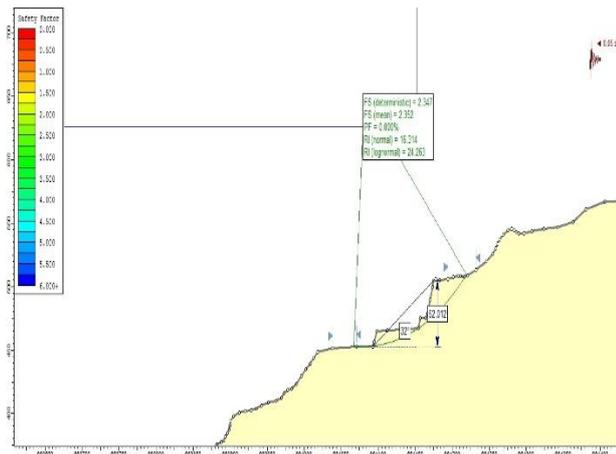
Gambar 7. Faktor keamanan lereng section A-A' dalam kondisi jenuh

Berdasarkan hasil analisis dari seluruh penampang lereng section A-A' didapatkan nilai faktor keamanan (FK) lereng secara keseluruhan (*overall slope*) dalam kondisi jenuh sebesar 1.7 dengan sudut 32°, tinggi 52.012 meter dan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) adalah 0%. Analisis menunjukkan penampang A-A' dalam kondisi aman (Gambar 8).



Gambar 8. Faktor keamanan lereng (*overall slope*) section A-A' dalam kondisi jenuh

Berdasarkan hasil analisis dari seluruh penampang lereng section A-A' didapatkan nilai faktor keamanan (FK) lereng secara keseluruhan (*overall slope*) dalam kondisi kering sebesar 2.3 dengan sudut 32°, tinggi 52.012 meter dan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) adalah 0%. Analisis menunjukkan penampang A-A' dalam kondisi aman (Gambar 9).



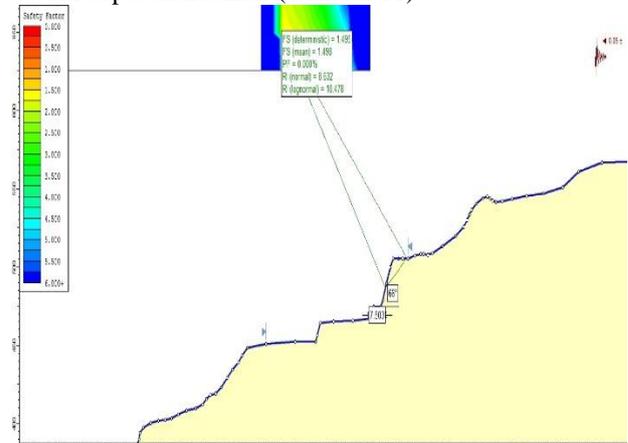
Gambar 9. Faktor keamanan lereng (*overall slope*) section A-A' dalam kondisi kering

4.2.2 Rekomendasi Desain Geometri Lereng Tunggal dan Lereng Secara Keseluruhan

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng *Pit Limit Front IV* section A-A' didapatkan nilai faktor keamanan (FK) untuk lereng tunggal (*single slope*) dalam kondisi jenuh adalah 1 dan nilai probabilitas kelongsoran (PK) sebesar 45.7%. Nilai tersebut menunjukkan lereng dalam keadaan kritis (akan longsor).

Untuk penanggulangan keruntuhan lereng tambang penulis akan melakukan modifikasi/perubahan pada geometri lereng, seperti sudut lereng dan tinggi lereng yang aman untuk mencegah terjadinya longsor. Untuk rekomendasi lereng tunggal berpatokan kepada *section A-A'* karena desain penampang ini sudah fase desain *final pit*.

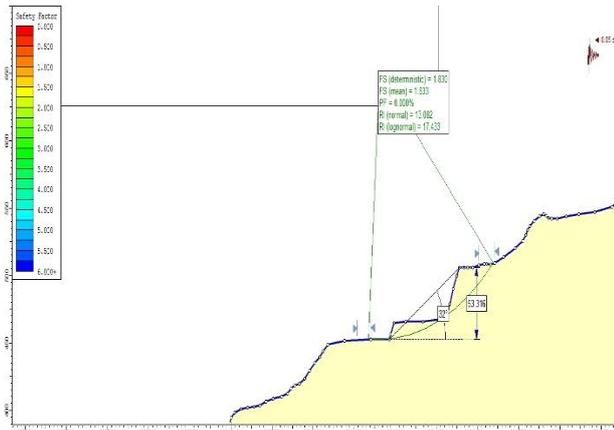
Berdasarkan hasil analisis dari desain rekomendasi section A-A' didapatkan nilai faktor keamanan (FK) lereng secara dalam kondisi jenuh sebesar 1.4 dengan sudut 66°, tinggi 30.752 meter, lebar jenang 7.5 meter dan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) adalah 0%. Analisis menunjukkan penampang A-A' dalam kondisi aman dan nilai *reability index* 8.6 dengan keterangan desain dapat diandalkan (Gambar 11).



Gambar 11. Modifikasi FK tunggal (*singlet slope*) section A-A' dalam kondisi jenuh

Probabilitas Kelongsoran (PK) adalah 0%. Analisis menunjukkan penampang A-A' dalam kondisi aman dan nilai *reability index* 16.2 dengan keterangan desain dapat diandalkan yang dapat dilihat pada Gambar 12.

Untuk modifikasi lereng secara keseluruhan (*overall slope*) dalam kondisi jenuh, berdasarkan hasil analisis dari desain rekomendasi section A-A' didapatkan nilai faktor keamanan (FK) lereng secara dalam kondisi jenuh sebesar 1.8 dengan sudut 32°, tinggi 53.3 meter, dan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) adalah 0%. Analisis menunjukkan penampang A-A' dalam kondisi aman dan nilai *reability index* 13 dengan keterangan desain dapat diandalkan yang dapat dilihat pada Gambar 13



Gambar 13. Modifikasi FK keseluruhan (*overall slope*) section A-A' dalam kondisi jenuh

5 Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan hasil analisa yang dilakukan pada area *Pit Limit Front IV Section A-A'* di pertambangan PT. Semen Padang, dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Nilai Faktor Keamanan (FK) berdasarkan nilai parameter uji sifat fisik-mekanik dalam kondisi natural sebesar 1.4, dan pada kondisi jenuh sebesar 1.0.
2. Nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) berdasarkan nilai parameter geoteknik dalam kondisi kering sebesar 0%, dan pada kondisi jenuh sebesar 45,7%.
3. Rekomendasi geometri lereng dalam kondisi jenuh berpedoman pada topografi aktual bulan September 2019 yang diberikan oleh departemen tambang, dilakukan analisis dari topografi aktual bulan September 2019 dimana dari hasil analisis lereng berada pada kondisi kritis (akan longsor), sehingga peneliti membuat rekomendasi desain dengan tinggi Lereng Tunggal 30.752 meter dan sudut kemiringan lereng tunggal 66° dengan FK 1.4. Tinggi lereng keseluruhan 53.3 meter dan sudut kemiringan lereng keseluruhan 32° di peroleh FK = 1.8 dan PK = 0%

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Perubahan Geometri Lereng
Hal ini dilakukan dengan memperbaiki geometri lereng yang ada dengan mengikuti rekomendasi desain yang telah dibuat untuk menjaga kestabilan lereng dengan nilai FK > 1.3
2. Perlunya ketelitian pada saat melakukan pengujian sampel di laboratorium agar hasil yang didapatkan lebih akurat.
3. Langkah pemeliharaan, pemantauan, dan

penanganan pada lereng tambang sangat diperlukan untuk menjaga agar lereng tetap dalam kondisi aman

Daftar Pustaka

- [1] Rahim, A., Heriyadi, B., & Anaperta, Y. M. (2015). ANALISIS KESTABILAN LERENG UNTUK MENENTUKAN GEOMETRI LERENG PADA AREA PENAMBANGAN PIT MUARA TIGA BESAR SELATAN PT. BUKIT ASAM (PERSERO) TBK, TANJUNG ENIM, SUMATERA SELATAN. *Bina Tambang*, 2(1), 271-284.
- [2] Irwandi Arif. Geoteknik Tambang. (2016)
- [3] Irawan, M., Heriyadi, B., & Octova, A. (2018). Kajian Kestabilan Lereng RKAP 2018 Lokasi Penambangan Muara Tiga Besar Utara PT. Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan. *Bina Tambang*, 3(4), 1566-1576
- [4] Muntaha, M. (2016). Studi Kestabilan Lereng Alam Tambang Terbuka (Studi kasus: lereng tambang batu kapur Lamongan dan Madura). *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 14(1), 1-8
- [5] Zuhri, M. A., Trihatmanto, H., Saleh, I., Yusran, Y., Trides, T., & Bassmantra, A. (2017, September). KAJIAN PROBABILITAS KEMANTAPAN LERENG PADA HIGHWALL, UNTUK REKOMENDASI OPTIMALISASI PIT PELIKAN PT. KALTIM PRIMA COAL SITE SANGATTA, KABUPATEN KUTAI TIMUR, PROVINSI KALIMANTAN TIMUR. In *PROCEEDING, SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN KE-10 PERAN PENELITIAN ILMU KEBUMIHAN DALAM PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR DI INDONESIA 13-14 SEPTEMBER 2017; GRHA SABHA PRAMANA*.
- [6] Kosim, G. G. (2015). *Analisis Balik Longsoran Low Wall Pit B3 di Tambang Batubara PT. BJA Menggunakan Metode Probabilistik Monte Carlo* (Doctoral dissertation, Fakultas Teknik (UNISBA)).
- [7] Anaperta, Y. M. (2017). Evaluasi kestabilan lereng tambang di pit tambang air laya (tal) barat sekuen januari 2017 penampang c-c'pt. Bukit asam (persero) tbk. Tanjung enim, sumatera selatan. *JTIP: Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan*, 10(1), 60-70.
- [8] Panji Kusuma Wiradani. *Analisis Probabilitas Kelongsoran Menggunakan Metode Monte Carlo Pada Highwall Pit SB-II BK-14 PT. Turbaindo Coal Mining, Site Melak, Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur*. *Jurnal Bina Tambang*, 3. 4 (2018).
- [9] Masagus Ahmad, A. Z. I. Z. I. (2012). Analisis Risiko Kestabilan Lereng Tambang Terbuka (Studi Kasus Tambang Mineral X). In *Prosiding Simposium dan Seminar Nasional Geomekanika ke-1 Tahun 2012: Menggagas Masa Depan Rekayasa Batuan dan Terowongan di Indonesia* (pp. 4-19). Program Studi Teknik Pertambangan FTM UPN" Veteran" Yogyakarta. Masagus Azizi dan Rr Harminuke Eko Handayani. *Karakterisasi Parameter Masukan Untuk*

Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus Di PT. Tambang Batubara Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Paper. Prosiding Seminar AVoER Ke-3 (2011)

- [10] Halimah, H., & Octova, A. (2018). Analisis Ground Vibration Untuk Mendesain Lereng Yang Stabil Pada Penambangan Batu Gamping Cv Tekad Jaya Halaban Kabupaten 50 Kota Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 3(4), 1784-1792.
- [11] Ir, D. (2018). ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN SOFTWARE ROCSCIENCE SLIDE.
- [12] R. Andy Erwin Wijaya dan Dianto Isnawan. *Aplikasi Software Silde Untuk Menganalisis Stabilitas Lereng Pada Tambang Batu Gamping Di Daerah Gunung Judo Kabupaten Gunung Kidul.* Jurnal Teknologi Informasi , **9**. 33 (2016)
- [13] Fredj, M., Hafsaoui, A., Khedri, Y., Boukarm, R., Nakache, R., Saadoun, A., & Menacer, K. (2017, July). Study of Slope Stability (Open Pit Mining, Algeria). In *International Congress and Exhibition " Sustainable Civil Infrastructures: Innovative Infrastructure Geotechnology"* (pp. 1-11). Springer, Cham.