

Analisis Stabilitas Lereng Ruas Jalan Sicincin–Malalak Km 31 Kecamatan Malalak, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat

Evansharsal Suedi^{1*}, Raimon Kopa¹, Rusli HAR¹

¹ Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*evansharsalsuedi@gmail.com

Abstract. *Landslide natural disasters are one of the natural disasters that cause fatalities and property. Based on the frequency of events, intensity, and geological conditions, the area of Kabupaten Agam Sumatera is an area that must be aware of the potential for landslides this is shown in the vulnerability map of soil movement by the Dinas Energi dan Sumberdaya Kabupaten Agam Sumatra Barat. Malalak District Agam Regency is one of the zones that has a high vulnerability to soil movement. This is shown in the Agam Regency Landslide Hazard Map which needs to consider slope security because it has many factors triggering landslides, especially in its purpose as road access. This research is classified into applied research. Slope stability in this study will use slope geometry data, physical properties, mechanical properties, Rock Quality Designation (RQD) rock mass classification, Rock mass Rating (RMR) and using the Bishop Simplified method (FK or Safety Factor) supported by software. analysis of avalanche types and security factor analysis. As a result of the research carried out on the Malalak KM 31 road section, it can be concluded the following points. The rock type of the slope compiler is andesite with the value of rock mass classification with a value of RMR of 68 including in the second (II) class rocks with good rock categories. The results of kinematic analysis indicate the potential for Baji avalanches. Ground vibration that is received by the slope affects the stability value with the value of the earthquake vibration based on the Indonesian seismic map of 0.6 g. In determining the value of the actual slope safety factor using security factor analysis software obtained FK value in dry conditions of 4,000, natural conditions of 3,979, saturation conditions of 3,966 this shows the condition of the water in the rock does not significantly affect the value of slope safety factor. Whereas the value of the safety factor with the influence of vibration is obtained in a dry condition is 2,659, the natural condition is 2,642, the saturation condition is 2,638 from the result of the vibration effect on the stability of the slope has a considerable decrease in the safety value of the slope but shows that the slope condition is still stable.*

Keywords: *Slope Stability, Road, Ground Vibration, RMR, Safety Factor*

1. Pendahuluan

Bencana alam longsor merupakan salah satu bencana Alam yang banyak menimbulkan korban jiwa dan harta benda. Berdasarkan frekuensi kejadian, intensitas, dan kondisi geologinya, daerah Kabupaten Agam Sumatera Barat merupakan daerah yang harus diwaspadai terhadap potensi terjadinya longsor hal ini ditunjukkan pada peta kerentanan gerakan tanah oleh Dinas Energi dan Sumberdaya Kabupaten Agam Sumatera Barat.

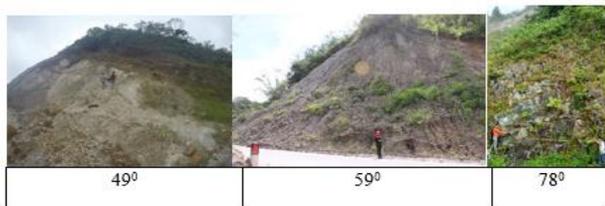
Kelongsoran terjadi karena ketidakseimbangan gaya yang bekerja pada lereng seperti tinggi lereng, sudut lereng, dan kondisi kadar air. Kelongsoran juga dipengaruhi oleh faktor luar seperti getaran yang berasal dari gempa maupun getaran dari aktivitas manusia. Lereng pada ruas jalan merupakan daerah potensial longsor yang

disebabkan tidak seimbangnya gaya yang bekerja dari lereng tersebut. Keadaan lereng yang stabil akan terganggu karena pembuatan akses suatu jalan. Stabilitas lereng menjadi masalah yang membutuhkan perhatian yang lebih bagi suatu jalur akses suatu jalan.

Kecamatan Malalak, Kabupaten Agam merupakan salah satu zona yang memiliki kerentanan gerakan tanah yang tinggi hal ini ditunjukkan pada Peta Rawan Longsor Kabupaten Agam yang mana perlu mempertimbangkan keamanan lereng karena memiliki banyak faktor pemicu kelongsoran terutama dalam tujuan pembuatannya sebagai akses jalan

Pentingnya mengetahui nilai keamanan terhadap lereng ruas jalan Kecamatan Malalak tidak terlepas dari fungsinya sebagai jalur akses bagi masyarakat yang mana ditandai dengan banyaknya aktivitas transportasi,

sehingga resiko materil ataupun korban jiwa dapat diminimalisir. Pemilihan lokasi lereng ruas jalan Kecamatan Malalak sebagai studi kasus pada penelitian ini dilatarbelakangi oleh terjadinya longsor pada tanggal 5 Desember 2016. Setelah penulis melakukan observasi ke lokasi penelitian pada tanggal 27 Mei 2017, penulis menemukan 12 titik longsor di sepanjang ruas jalan Sicincin-Malalak. Titik longsor yang ditemukan memiliki sudut lereng berkisar antara 45° - 60° . Penulis menemukan Lereng di km 31 yang memiliki sudut kemiringan sebesar 78° serta memiliki bidang diskontinuitas, karena memiliki sudut lereng yang curam dan tidak adanya perkuatan pada batuan maka lereng tersebut memiliki potensi untuk runtuh.

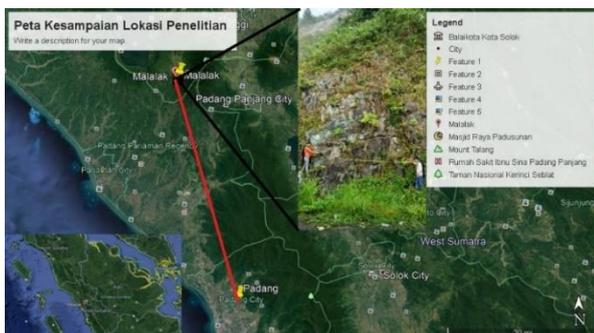


Gambar 1. Kondisi Lereng Kecamatan Malalak

Oleh karena itu untuk mengetahui kestabilan lereng tersebut perlu dilakukan analisis kestabilan lereng untuk mengetahui nilai faktor kermanan dari lereng, nilai faktor keamanan bertujuan untuk memastikan apakah lereng masih dalam keadaan stabil sehingga lereng tersebut aman bagi aktivitas masyarakat sekitar lereng tersebut. Jika lereng diketahui dalam keadaan tidak stabil maka dilakukan analisis kembali untuk menentukan perencanaan pengendalian sebelum longsor terjadi. Sehingga dapat mengurangi resiko yang timbul baik berupa materil maupun korban jiwa.

2. Lokasi Penelitian

Secara geografis lokasi penelitian terletak pada koordinat $S0^{\circ} 22.505' E100^{\circ} 16.950'$ termasuk ke dalam Kecamatan Malalak, Kabupaten Agam. Kabupaten Agam merupakan salah satu dari 19 Kabupaten/Kota yang ada di Provinsi Sumatera Barat yang terletak antara $00^{\circ}01'34''$ – $00^{\circ}28'43''$ Lintang Selatan dan $99^{\circ}46'39''$ – $100^{\circ}32'50''$ Bujur Timur. Luas Wiayah Kabupaten Agam adalah $\pm 2.232,30$ Km². Untuk mencapai lokasi tersebut dapat melalui beberapa alternatif perjalanan yaitu: Jalur darat, melalui rute Padang–Pariaman– Malalak sejauh ± 70 km dan melalui rute Padang–Sicincin–Malalak sejauh ± 60 km.



Gambar 2. Lokasi Penelitaian

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2017. Lokasi penelitian berada pada ruas jalan Sicincin-Malalak KM 31 Kecamatan Malalak, Kabupaten Agam, Sumatera Barat.

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan geostatistik, Penelitian ditujukan untuk mendapatkan nilai keamanan lereng yang dinyatakan dengan Faktor Keamanan (FK) pada lereng yang sebelumnya pernah terjadi longsor di daerah Malalak, Kabupaten Agam, sehingga tergolong dalam penelitian terapan (*applied research*). Penelitian terapan adalah penelitian yang lebih menekankan pada penerapan ilmu, aplikasi, ataupun penggunaan ilmu untuk dan dalam masyarakat, ataupun untuk keperluan tertentu (industri, usaha dll). Penelitian terapan merupakan suatu kegiatan yang sistematis dan logis dalam rangka menemukan sesuatu yang baru atau aplikasi baru dari penelitian – penelitian yang telah pernah dilakukan selama ini^[1].

3.2 Tahap Pengumpulan Data

Data yang diambil dikelompokkan menjadi^[2]:

3.2.1 Data primer

Hasil pengujian laboratorium yang meliputi sifat fisik batuan penyusun lereng seperti kuat geser, kohesi, kuat tekan, bobot isi. Kadar air yang dimiliki lereng yang akan digunakan untuk analisis menggunakan *software* tambang untuk mencari faktor keamanan dari lereng.

1. Bobot isi kering (*dry density*)

Bobot isi kering (*dry density*) didapat dari hasil uji sifat fisik. Bobot isi kering ini merupakan perbandingan antara berat batuan kering dengan volume total batuan.

2. Bobot Isi Jenuh (*Saturated Density*)

Bobot isi jenuh (*Saturated Density*) didapat hasil uji sifat fisik. Bobot isi jenuh ini merupakan perbandingan antara berat batuan jenuh dengan volume total batuan.

3. Kohesi (*Cohesion*)

Kohesi adalah kuat tarik menarik antara butiran tanah yang dinyatakan dalam satuan berat persatuan luas. Bila kuat gesernya semakin besar, maka semakin besar pula harga kohesi dari tanah tersebut, ini berarti tanah dengan kohesi yang besar dapat dibuat lereng dengan kemiringan yang besar untuk nilai keamanan yang sama. Harga kohesi didapat dari analisis laboratorium, yaitu dengan uji geser langsung.

4. Sudut Geser Dalam (*Friction Angle*)

Sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk dari hubungan tegangan geser dalam material tanah. Sudut geser dalam juga merupakan rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenakan tegangan yang melebihi

tegangan gesernya. Untuk mengetahui besar sudut geser dalam harus dilakukan uji geser langsung.

5. Data Diskontinuitas

Dalam penelitian ini digunakan metode *scanline sampling*. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui orientasi bidang diskontinuitas pada permukaan yang dianggap mewakili orientasi bidang diskontinuitas batuan secara keseluruhan.

6. Geometri Lereng

Geometri lereng atau struktur bentuk lereng yang meliputi tinggi lereng, kemiringan lereng atau sudut miring lereng, dimana perhitungan nilainya didapatkan dari penggunaan metoda klinometer dengan memanfaatkan kompas geologi sebagai alat ukurnya.

3.2.2 Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari perusahaan, penelitian terdahulu dan literatur - literatur terkait yang meliputi:

1. Data curah hujan
2. Peta administrasi daerah
3. Peta topografi lokasi penelitian
4. Peta lokasi kesampaian daerah penelitian
5. Peta zonasi gempa Indonesia

3.3 Tahap Pengolahan Data

Teknik pengolahan data dilakukan setelah data didapatkan di lapangan. Data yang diperoleh diolah dengan menggunakan perhitungan dan analisis dikarenakan penelitian terdiri dari beberapa variabel maka data akan dikelompokkan sesuai tahapan pengerjaan. Kegiatan yang dilakukan. Tahapan ini meliputi pengukuran rekahan dengan metoda *scanline sampling* pengujian sifat fisis batuan untuk menentukan bobot isi natural, bobot isi jenuh dan kering dan pengujian sifat mekanik batuan untuk menentukan nilai kuat geser, kuat tekan dan kuat geser.

3.4 Tahap Analisis Data

Tahap analisis Data dibutuhkan untuk mengolah data yang telah dikumpulkan untuk kebutuhan penelitian agar mendapatkan kesimpulan. Tahapan untuk analisis dan pengolahan data ini meliputi.

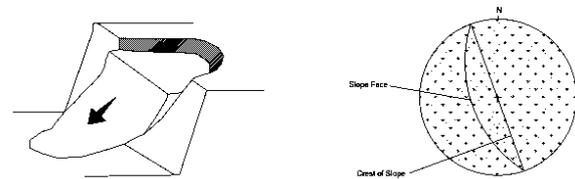
3.4.1 Teori Longsoran

Berdasarkan proses longsornya, longsoran batuan yang umum terjadi pada tambang terbuka dapat dibedakan atas longsoran bidang, longsoran baji, longsoran guling, dan longsoran busur^[5].

3.4.1.1 Longsoran Busur (Circular Failure)

Longsoran busur berbeda dengan tipe longsoran lain yang dikontrol oleh struktur geologi seperti adanya bidang perlapisan dan *joint*. Batuan dengan tingkat alterasi dan pelapukan tinggi serta memiliki orientasi bidang

diskontinu acak cenderung longsor dalam bentuk busur^[3]. Hancuran batuan yang terdapat pada daerah penimbunan dengan dimensi besar juga memiliki kecenderungan longsor dalam bentuk ini [4]. Ilustrasi longsoran busur dapat dilihat pada Gambar 3.

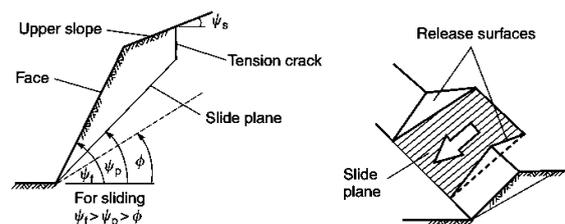


Gambar 3. Longsoran Busur (Circular Failure)

3.4.1.2 Longsoran Bidang (Plane Failure)

Longsoran bidang terjadi jika kondisi-kondisi berikut terpenuhi, perhatikan ilustrasi Gambar 4^[3]:

1. Jurus (*strike*) bidang luncur paralel atau mendekati paralel terhadap jurus bidang permukaan lereng dengan perbedaan maksimal 20°.
2. Kemiringan bidang luncur (ψ_p) harus lebih kecil daripada kemiringan bidang permukaan lereng (ψ_f).
3. Kemiringan bidang luncur (ψ_p) harus lebih besar daripada sudut geser dalam (ϕ).
4. Ujung atas bidang luncur memotong bagian atas lereng atau berakhir pada *tension crack*.
5. Terdapat bidang rilis (*release surfaces*) yang merupakan batas lateral dari massa batuan yang akan longsor.

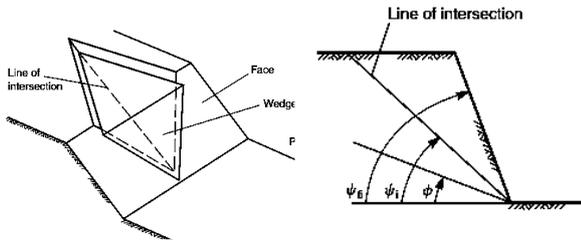


Gambar 4. Geometri Longsoran Bidang (plane Failure)

3.4.1.3 Longsoran Baji (Wedge Failure)

kondisi umum untuk longsoran baji sebagai berikut, perhatikan Gambar 5^[3]:

1. Dua bidang diskontinu berpotongan pada satu garis membentuk baji terhadap lereng.
2. Kemiringan lereng lebih besar dari kemiringan garis potong bidang diskontinu dan lebih kecil daripada sudut geser dalamnya ($\psi_f > \psi_i > \phi$).
3. Kemiringan garis potong bidang diskontinu mengarah keluar muka lereng.

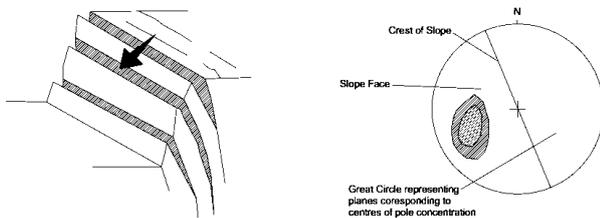


Gambar 5. Longsor Baji (*Wedge Failure*)

3.4.1.4 Longsor Guling (*Toppling Failure*)

Longsor guling umumnya terjadi pada lereng terjal dan batuan keras dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom, perhatikan Gambar 6. Longsor guling pada blok fleksibel terjadi jika [6]:

1. $\beta > 90^\circ + \phi - \alpha$, dimana β = kemiringan bidang lemah, ϕ = sudut geser dalam dan α = kemiringan lereng.
2. Perbedaan maksimal jurus (*strike*) dari kekar (*joint*) dengan jurus lereng (*slope*) adalah 30° .



Gambar 6. Longsor Guling (*Toppling Failure*)

3.4.2 Pengukuran data diskontinuitas

Dalam penelitian ini digunakan metode *scanline sampling*. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui orientasi bidang diskontinuitas pada permukaan yang dianggap mewakili orientasi bidang diskontinuitas batuan secara keseluruhan. Peralatan yang dipakai berupa tali, kompas, *clip board*, dan penggaris [5][6].

Cara pengambilan data dengan metode *scanline sampling* adalah dengan mencatat semua karakteristik bidang diskontinuitas yang memotong tali yang dibentangkan di sepanjang permukaan batuan dengan batasan 30 centimeter ke atas dan 30 centimeter ke bawah dari garis pengamatan. Arah dari *scanline* ini harus dicatat. Sedapat mungkin arah dari *scanline* sama di semua segmen untuk mengurangi bias pengukuran. Batas toleransi perbedaan arah *scanline* adalah 20° , sehingga perbedaan tersebut masih dapat diabaikan.

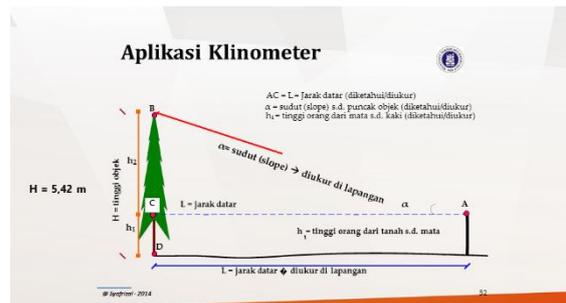
Data-data yang diambil dalam penelitian ini, yang selanjutnya akan digunakan dalam analisis kinematik dan klasifikasi massa batuan, berupa data diskontinuitas baik yang terbentuk secara primer maupun secara sekunder, JRC, SHV, dan kondisi keairan [5][6].

Secara sistematis, teknik pengambilan data dalam penelitian ini meliputi [5][8].

1. Pengukuran panjang, arah kemiringan dan kemiringan *scanline*.
2. Pengukuran arah dan kemiringan lereng.
3. Pengukuran atribut diskontinuitas, yang terdiri dari orientasi diskontinuitas, panjang diskontinuitas, jarak/spasi diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, dan lebar bukaan diskontinuitas.
4. Penentuan kondisi umum keairan (kering, Lembab, basah)
5. Penilaian koefisien kekasaran permukaan diskontinuitas (JRC).

3.4.3 Pengukuran Geometri Lereng

Pengukuran geometri lereng berupa tinggi lereng, sudut kemiringan menggunakan meteran dan kompas *geology* yang memanfaatkan Pembacaan dip pada kompas dengan basis metoda klinometer. Pengukuran tipe ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 . Metoda Klinometer

3.4.4 Pengujian Laboratorium

3.4.4.1 Preparasi Sampel

Sampel batuan dari lapangan dibuat berbentuk silinder atau coring berdiameter 5 cm, sedangkan tinggi sampel *coring* adalah dua kali diameter ($L/D = 2$). Pembuatan sampel coring menggunakan alat. Sampel ini berguna untuk melakukan pengujian sifat fisik dan mekanik. Jumlah sampel yang digunakan untuk mengetahui karakteristik batuan antara lain : 9 sampel *coring* untuk uji sifat fisik dengan 3 macam kondisi, dimana setiap kondisi (asli, setengah jenuh dan jenuh), 3 sampel untuk uji sifat mekanik (Uji Geser) dan 3 sampel untuk uji sifat mekanik (uji *point load indeks*) yang sampel yang digunakan ialah sampel pada keadaan asli. [8]



Gambar 8. preparasi sampel batuan

3.4.4.2 Pengujian Sifat Fisik Batuan

Tahapan pengujian sifat fisik antara lain^[9]:

1. Siapkan peralatan dan bahan untuk uji sifat fisik batuan, yaitu: neraca listrik (ketelitian 0,1 gr), ember, oven, air, dan sampel batuan (*coring*).
2. Timbang sampel batuan/*coring* (berat asli/ W_n)
3. Untuk mengukur berat jenuh batuan (W_w), masukkan sampel batuan/*coring* dalam ember yang berisi air dan biarkan selama 24 jam, setelah itu timbang sampel setelah 24 jam.
4. Untuk mengukur berat setengah jenuh (W_s), timbang lagi sampel di dalam ember yang air dengan kondisi sampel melayang di dalam air.
5. Untuk mengukur berat kering (W_o), keringkan sampel batuan di dalam oven dengan suhu 90 C selama 24 jam, setelah itu keluarkan sampel batuan kemudian timbang sampel tersebut.
6. Hitung sifat-sifat fisik batuan dengan persamaan berikut:

- Bobot isi asli (*Natural Density*)

$$\gamma_{\text{Nat}} = \frac{W_n}{W_w - W_s} \quad (1)$$

- Bobot isi kering (*Dry Density*)

$$\gamma_{\text{Dry}} = \frac{W_o}{W_w - W_s} \quad (2)$$

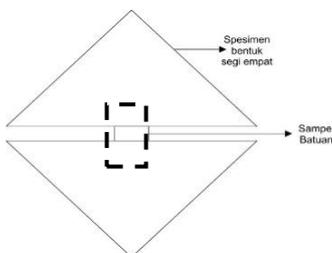
- Bobot isi jenuh (*Saturated Density*)

$$\gamma_{\text{Sat}} = \frac{W_w}{W_w - W_s} \quad (3)$$

3.4.4.3 Uji Kuat Geser Langsung

Tahapan dalam uji kuat geser langsung yaitu^[8]:

1. Siapkan alat dan bahan untuk uji kuat geser langsung, yaitu : satu set alat uji kuat geser langsung, sampel batuan / *coring*, semen, pasir, air.
2. Ukur tinggi (L) dan diameter (D) sampel. Untuk tinggi dari percontonya adalah sebesar 2 x diameter percontonya.
3. Preparasi sampel batuan dengan cara membuat satu spesimen dengan bentuk segiempat (menyesuaikan kedudukan sampel pada alat uji kuat geser langsung) dan sampel yang diuji berada di tengah-tengah segi empat.



Gambar 9. Ilustrasi Spesimen Uji Kuat Geser Langsung

4. Masukkan spesimen ke dalam *box* penyimpanan di alat *shear box*, kemudian beri beban normal sesuai dengan perhitungan.
5. Pasang selang *oil pressure* pada saat posisi maju saat pengukuran maju demikian pula pada saat pengukuran mundur sedang dipindahkan.
6. Pompa beban yang digunakan (3KN, 6KN, 9KN) dan ditahan supaya konstan selama pengujian masih dilakukan.
7. Baca *preassure gauge* sesuai waktu yang diminta sebanyak 12 mm perubahan.
8. Beban yang diberikan jangan sampai berubah apabila berubah maka *preassure gauge* pun akan berubah. Penunjuk keadaan geser spesimen dengan skala 1 strip bernilai 0,5 KN.
9. Pompa untuk menggeser spesimen, digerak-gerakkan selama alat penunjuk geser maju atau mundur itu berputar satu putaran penuh.
10. Setelah satu putaran dicatat data yang dihasilkan dari alat penunjuk kekuatan geser (yang letaknya di dekat pompa yang berfungsi untuk menggeser).
11. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali dengan keadaan menggeser ke arah maju dan kearah mundur.

3.4.4.4 Uji Point Load Indeks

Tahapan dalam uji kuat geser langsung yaitu^[9]:

1. Siapkan alat dan bahan untuk uji *point load*, yaitu alat *point load*, Mistar, *Dial gauge* untuk mengukur beban maksimum.
2. Sampel batuan dengan diameter 5cm
3. Contoh diletakan diantara dua konus penekan alat *point load*, kemudian dongkrak hidrolik diberikan tekanan sehingga kedua ujung konus penekan tepat menekan permukaan contoh yang akan di uji.
4. Catat ukuran mistar pengukuran pada awal kedudukan kedua konus penekan mulai menekan contoh.
5. Pemberian tekanan dilakukan sedikit demi sedikit hingga *specimen* pecah
6. Baca jarum penunjuk pembebanan maksimal (*dial gauge*) yang diberikan alat sehingga percontonya pecah. Catat ukur mistar pada akhir kedudukan, maka akan didapatkan nilai jarak antara dua konus penekan.

3.4.5 Klasifikasi masa batuan

Untuk mengetahui kekuatan massa batuan dari hasil penyelidikan geoteknik dan uji contoh massa batuan di laboratorium dapat dilakukan dengan membuat klasifikasi massa batuan, yang dalam hal ini menggunakan sistem RMR (*Rock Mass Rating*). Tabel parameter dan bobot RMR dapat dilihat pada Tabel 1 berikut^[2].

Tabel 1. Rock Mass Rating

Parameter		Selang nilai				Umur nilai yang		
kekuatan	Indek bebatuan	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	kecil dipakai UCS		
1	batuan Point Load(Mpa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	2	1	0
	Utuh Kuat tekan Umukria(Mpa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50			
	Pembobotan	15	12	7	4			
2	RQD (%)	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Pembobotan	20	17	13	8	3		
3	spasi rekahan	> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Pembobotan	20	15	10	5	5		
4	Kondisi rekahan	permukaan sangat kasar tidak memenu, tidak ranggang, tidak lapuk	Agak kasar ranggang < 1 mm, Agak lapuk	Agak Kasar, ranggang < 1 mm, sangat kasar	Sikloessid/ginge < 5 mm, ranggang 1-5 mm, memenu	Gangga lamah, tebal > 5 mm, memenu		
	Pembobotan	30	25	20	10	0		
5	air tanah aliran/ 10 m panjang terowongan(L/min)	tidak ada	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
	Tekanan pori	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	Tag Utama max	Kering	lembab	Basah	Menetes	Mengalir		
	Kondisi umum	15	10	7	4	0		

Berdasarkan hal tersebut membuat klasifikasi massa batuan menjadi 5 kelas seperti Tabel 2 berikut [2]:

Tabel 2. Kualitas Massa Batuan Berdasarkan RMR

Parameter	Bobot				
	81-100	61-80	41-60	21-40	<20
Nilai RMR	81-100	61-80	41-60	21-40	<20
Nomor Kelas RMR	I	II	III	IV	V
Nilai GSI	76-95	56-75	36-55	21-35	<20
Kualitas Massa Batuan	Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk

3.4.6 Analisis Kestabilan Lereng

Kestabilan dari suatu jenjang individual dikontrol oleh kondisi geologi daerah setempat, bentuk keseluruhan lereng pada daerah tersebut, kondisi air tanah setempat, dan teknik penggalian yang digunakan dalam pembuatan lereng. Faktor pengontrol ini jelas sangat berbeda untuk situasi penambangan yang berbeda dan sangat penting untuk memberikan aturan yang umum untuk menentukan seberapa tinggi atau seberapa landai suatu lereng, sehingga dapat dipastikan lereng tersebut akan stabil. Apabila kestabilan dari suatu jenjang dalam operasi penambangan meragukan, maka kestabilannya harus dinilai berdasarkan dari struktur geologi, kondisi air tanah dan faktor pengontrol lainnya yang terjadi pada suatu lereng. Kestabilan lereng pada batuan dipengaruhi oleh geometri lereng, struktur batuan, sifat fisik dan mekanik batuan, serta gaya-gaya luar yang bekerja pada lereng tersebut.

Suatu cara yang umum untuk menyatakan kestabilan suatu lereng batuan adalah dengan faktor keamanan. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor. Secara matematis faktor kestabilan lereng dinyatakan sebagai berikut [7]:

$$F = R/F_p \quad (4)$$

Dimana :

F = faktor kestabilan lereng

R = gaya penahan, berupa resultan gaya-gaya yang membuat lereng tetap stabil

F_p = gaya penggerak, berupa resultan gaya-gaya yang menyebabkan lereng longsor

Nilai faktor keamanan lereng berdasarkan Menurut Departemen Pekerjaan Umum 1987 dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini [10] :

Tabel 3. Faktor Keamanan Menurut Departemen Pekerjaan Umum 1987

Resiko ¹⁾	Kondisi beban	Parameter kekuatan Geser ²⁾			
		Maksimum		Sisa	
		Teliti	Kurang Teliti	Teliti	Kurang Teliti
Tinggi	Dengan Gempa	1.50	1.75	1.35	1.50
	Tanpa Gempa	1.80	2.00	1.60	1.80
Menengah	Dengan Gempa	1.30	1.60	1.20	1.40
	Tanpa Gempa	1.50	1.80	1.35	1.50
Rendah	Dengan Gempa	1.10	1.25	1.00	1.10
	Tanpa Gempa	1.25	1.40	1.10	1.20

3.4.6.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng.

Umumnya stabil atau tidaknya suatu lereng tergantung dari beberapa faktor, antara lain [1][6]. :

1. Geometri Lereng

Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi kestabilannya. Semakin besar kemiringan dan ketinggian suatu lereng, maka kestabilan semakin berkurang [6][7].

2. Struktur Batuan

Struktur batuan yang sangat mempengaruhi kestabilan lereng adalah bidang-bidang sesar, perlapisan dan rekahan. Struktur batuan tersebut merupakan bidang-bidang lemah (*diskontinuitas*) dan sekaligus sebagai tempat merembesnya air, sehingga batuan lebih mudah longsor.

3. Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Sifat fisik batuan yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah bobot isi (*density*), porositas dan kandungan air. Sedangkan sifat mekanik batuan antara lain kuat tekan, kuat tarik, kuat geser dan juga sudut geser dalam batuan.

4. Bobot Isi Batuan

Semakin besar bobot isi suatu batuan, maka gaya penggerak yang menyebabkan lereng longsor juga semakin besar. Dengan demikian kestabilan lereng semakin berkurang.

5. Porositas Batuan

Batuan yang mempunyai porositas besar akan banyak menyerap air. Dengan demikian bobot isinya menjadi lebih besar, sehingga memperkecil kestabilan lereng. Adanya air dalam batuan juga akan menimbulkan tekanan air pori yang akan memperkecil kuat geser batuan. Batuan yang mempunyai kuat geser kecil akan lebih mudah longsor. Kuat geser batuan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\tau = C + (\sigma - \mu) \tan \theta \tag{5}$$

dimana :

- τ = kuat geser batuan (ton/m²)
- C = kohesi (ton/m²)
- σ = tegangan normal (ton/m²)
- θ = sudut geser dalam (angle of internal friction)

6. Kandungan Air Dalam Batuan

Semakin besar kandungan air dalam batuan, maka tekanan air pori menjadi semakin besar juga. Dengan demikian berarti bahwa kuat geser batuanya menjadi semakin kecil, sehingga kestabilannya berkurang.

7. Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Kuat Geser Batuan

Kekuatan batuan biasanya dinyatakan dengan kuat tekan (*confined and unconfined compressive strength*), kuat tarik (*tensile strength*) dan kuat geser (*shear strength*). Batuan yang mempunyai kuat tekan, kuat tarik dan kuat geser besar akan lebih stabil (tidak mudah longsor).

8. Sudut Geser Dalam

Semakin besar sudut geser dalam, maka kuat geser batuan juga akan semakin besar. Dengan demikian batuan (lereng) akan lebih stabil.

9. Gaya dari Luar

Gaya-gaya dari luar yang dapat mempengaruhi atau mengurangi kestabilan suatu lereng adalah :

- Getaran yang diakibatkan oleh gempa, *Seismic* dan pemakaian alat-alat mekanis yang berat didekat lereng.
- Pemotongan dasar (*toe*) lereng
- Penebangan pohon-pohon pelindung lereng

3.4.6.2 Metode kesetimbangan batas

Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang sangat populer dan rutin dipakai dalam analisis kestabilan lereng untuk longoran tipe gelinciran translasional dan rotasional. Metode ini relatif sederhana, mudah digunakan serta telah terbukti kehandalannya dalam praktek rekayasa selama bertahun-tahun.

Dalam perhitungan analisis kestabilan lereng dengan metode ini hanya digunakan kondisi kesetimbangan statik saja serta mengabaikan adanya hubungan regangan tegangan yang ada dalam lereng. Asumsi lainnya yaitu

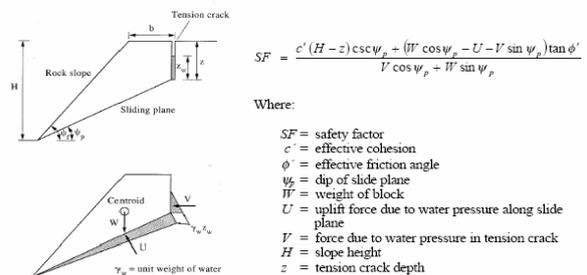
geometri dari bentuk bidang runtuh harus diketahui atau ditentukan terlebih dahulu.

Kondisi kestabilan lereng dalam metode kesetimbangan batas dinyatakan dalam indek faktor keamanan. Faktor keamanan dihitung menggunakan kesetimbangan gaya atau kesetimbangan momen, atau menggunakan kedua kondisi kesetimbangan tersebut tergantung dari metode perhitungan yang dipakai.

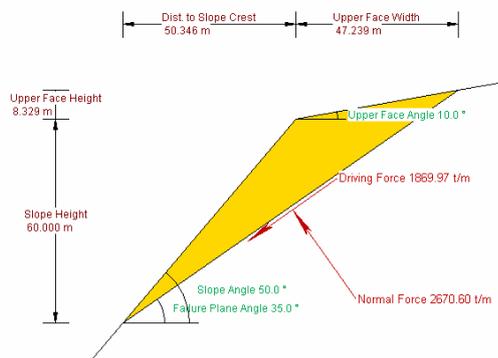
Secara teoritis apabila nilai faktor keamanan lebih besar dari satu maka lereng berada dalam kondisi aman, apabila nilai faktor keamanan sama dengan satu maka lereng berada dalam kondisi tepat setimbang^[6].

1. Analisis Longoran Tipe Translasiional

Metode kesetimbangan batas telah digunakan secara meluas dalam analisis kestabilan lereng yang dikontrol oleh adanya bidang takmenerus, yang berupa bidang planar atau baji yang dihasilkan oleh perpotongan dua buah bidang planar. Longoran diasumsikan terjadi sepanjang bidang planar atau baji tersebut dan diasumsikan blok massa tidak mengalami rotasi. Faktor keamanan lereng dihitung dengan membandingkan kekuatan geser material dengan gaya geser yang bekerja sepanjang bidang runtuh^[5].

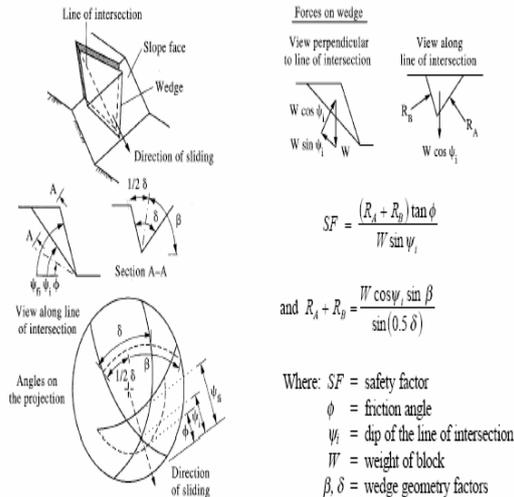


Gambar 10. Metode Kesetimbangan Batas untuk Bidang Runtuh Planar



Factor of Safety	1.64
Driving Force	1869.97t/m
Resisting Force	3061.26t/m
Wedge Weight	3260.20t/m
Wedge Volume	1207.48m ³ /m
Shear Strength	3061.26t/m ²
Normal Force	2670.60t/m
Plane Waviness	0.0°

Gambar 11. Perhitungan Analisis Bidang Runtuh Planar



Gambar 12. Metode Kesetimbangan Batas untuk Bidang Runtuh Baji

Geometry				
	Dip (deg)	Dip Direction (deg)	Cohesion (t/m2)	Friction Angle (deg)
Joint Set 1	45	105	2	20
Joint Set 2	70	235	5	30
Upper Face	12	195		
Slope Face	65	185		

Tension Crack	
Dip (deg)	70
Dip Direction (deg)	165
Trace Length (m)	12

Slope Height	33
Unit Weight (t/m3)	2.6

Safety Factor = 1.65523
Wedge volume = 6149.12 m³
Wedge weight = 15987.7 tonnes
Driving force = 8281.23 tonnes
Resisting force = 13707.3 tonnes
Failure Mode: Sliding on intersection line (joints 1&2)

Gambar 12. Contoh Perhitungan Analisis Bidang Runtuh Baji

2. Analisis Longsoran Tipe Rotasional

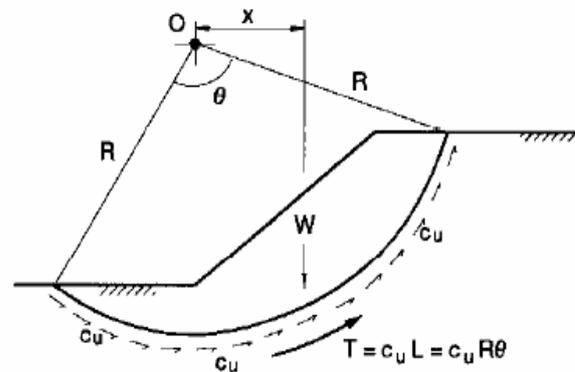
Untuk lereng tanah atau lereng batuan lemah pada umumnya longsoran terjadi karena kekuatan geser material sepanjang bidang runtuh tidak mampu menahan gaya geser yang bekerja. Pada kasus ini, biasanya bidang runtuh berupa sebuah busur lingkaran atau berupa bidang lengkung. Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang sangat populer untuk tipe longsoran tersebut.

Secara umum metode untuk menganalisis longsoran tipe rotasional dapat dibagi dua yaitu: metode massa dan metode irisan [6].

1) Metode Massa

Pendekatan yang digunakan dalam metode ini yaitu massa di atas bidang runtuh dianggap sebagai sebuah benda kaku dan bidang runtuh dianggap berupa sebuah busur lingkaran. Asumsi lainnya yang digunakan yaitu parameter kekuatan geser hanya ditentukan oleh kohesi saja. Metode ini cocok sekali digunakan pada lereng lempung. Faktor keamanan lereng merupakan perbandingan antara momen penahan dan momen guling, yang dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut [6].

$$F = \frac{\text{Momen Penahan}}{\text{Momen Guling}} = \frac{c_u R^2 \theta}{Wx} \quad (6)$$



Gambar 13. Metode Massa

2) Metode Irisan

Metode irisan merupakan metode paling populer dalam analisis kestabilan lereng dengan tipe keruntuhan rotasional. Salah satu karakteristik dari metode irisan yaitu geometri dari bidang gelinciran harus ditentukan atau diasumsikan terlebih dahulu. Untuk menyederhanakan perhitungan, bidang runtuh biasanya dianggap berupa sebuah busur lingkaran, gabungan busur lingkaran dengan garis lurus, atau gabungan dari beberapa garis lurus. Sketsa model lereng untuk bidang runtuh yang berupa sebuah busur lingkaran dan bidang runtuh gabungan diperlihatkan pada Gambar 14 dan Gambar 15.

Setelah geometri dari bidang runtuh ditentukan kemudian massa di atas bidang runtuh dibagi ke dalam sejumlah irisan tertentu. Tujuan dari pembagian tersebut adalah untuk mempertimbangkan adanya variasi kekuatan geser dan tekanan air pori sepanjang bidang runtuh. Langkah selanjutnya adalah menghitung data-data untuk setiap irisan. Dengan menggunakan data-data pada setiap irisan besarnya faktor keamanan dapat dihitung menggunakan persamaan kesetimbangan [6].

Metode yang tidak memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen, misalnya metode irisan biasa, metode *Bishop* yang disederhanakan (*simplified Bishop method*) dan metode Janbu yang disederhanakan (*simplified Janbu method*).

Metode yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen, misalnya metode *Spencer*, metode *Bishop rigorous*, metode *Morgenstern-Price*, dan metode *Sarma*

Tabel 6. Kondisi Kesetimbangan yang Dipenuhi Untuk Berbagai Metode Irisan

Metode	Kesetimbangan Gaya		Kesetimbangan Momen
	Vertikal	Horizontal	
<i>Ordinary method of slices</i> (Fellenius)	Tidak	Tidak	Ya
<i>Simplified Bishop</i>	Ya	Tidak	Ya
<i>Bishop rigorous</i>	Ya	Ya	Ya
<i>Simplified Janbu</i>	Ya	Ya	Tidak
<i>Janbu generalized</i>	Ya	Ya	Tidak
<i>Lowe & Karafiath</i>	Ya	Ya	Tidak
<i>Corps of Engineers</i>	Ya	Ya	Tidak
<i>Spencer</i>	Ya	Ya	Ya
<i>Morgenstern-Price</i>	Ya	Ya	Ya
<i>Sarma</i>	Ya	Ya	Ya

Tabel 6 di atas membandingkan kondisi kesetimbangan yang dipenuhi untuk masing-masing metode irisan. Asumsi yang digunakan untuk masing-masing metode di atas ditampilkan pada Tabel 7.

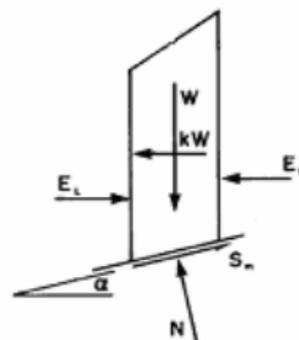
Perbedaan asumsi dan kondisi kesetimbangan yang dipenuhi menjadikan peruntukan dan nilai hasil perhitungan faktor keamanan (FK) untuk masing-masing metode berbeda. Beberapa metode irisan yang populer digunakan dalam analisis kestabilan lereng dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut.

Tabel 7. Asumsi-asumsi yang Digunakan untuk Beberapa Metode Irisan

Metode	Asumsi
<i>Ordinary Method of Slices</i> (OMS/Fellenius)	Resultan gaya antar irisan sama dengan nol dan bekerja sejajar dengan permukaan bidang runtuh.
<i>Simplified Bishop</i>	Gaya geser antar irisan sama dengan nol ($x=0$).
<i>Simplified Janbu</i>	Gaya geser antar irisan sama dengan nol ($x=0$). Faktor koreksi (f_0) digunakan sebagai faktor empiris untuk memasukkan efek dari gaya geser antar irisan.
<i>Lowe-Karafiath</i>	Inklinasi gaya antar irisan, $Y = \frac{1}{2} (\alpha + \beta)$
<i>Corps of Engineers</i>	Inklinasi gaya antar irisan, (1) paralel dengan <i>ground surface</i> ($Y = \beta$) atau (2) sama dengan rata-rata kemiringan bidang runtuh.
<i>Spencer</i>	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal antar irisan adalah sama untuk semua irisan.
<i>Morgenstern-Price</i>	Kemiringan gaya geser antar irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan.
Kesetimbangan Batas Umum	Sudut gaya antar irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan.

- Metode *Bishop* yang Disederhanakan (*simplified Bishop Method*)

Simplified Bishop menggunakan asumsi bahwa besarnya gaya geser antar irisan adalah nol ($x=0$) dan bidang runtuh berbentuk busur lingkaran. Metode ini memenuhi kondisi kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan, sedangkan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal tidak dapat dipenuhi^[6]. Gambar 16 memperlihatkan gaya-gaya yang bekerja di tiap irisan.



Gambar 16. Gaya-gaya yang Bekerja pada Masing-masing Irisan

Kesetimbangan gaya dalam arah vertikal menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$N \cos \alpha + S_m \sin \alpha - W = 0 \quad (7)$$

S_m menyatakan besar tahanan geser yang diperlukan agar lereng dalam kondisi tepat setimbang dan dirumuskan sebagai berikut:

$$S_m = \frac{s \beta}{FK} = \frac{(c' + (\sigma_n - u) \tan \phi') \beta}{FK} = \frac{c' \beta + (N - u \beta) \tan \phi'}{FK} \quad (8)$$

Substitusi persamaan (7) ke persamaan (8) akan menghasilkan persamaan untuk gaya normal total (N) sebagai berikut:

$$N = \frac{W - \frac{c' \beta \sin \alpha - u \beta \sin \alpha \tan \phi'}{FK}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{FK}} \quad (9)$$

Merujuk pada Gambar 16 di atas, kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^n (WR \sin \alpha + kW(R \cos \alpha - h_c)) - \sum_{i=1}^n (S_m R) + Aa = 0 \quad (10)$$

Dimana h_c adalah tinggi pusat massa irisan dari titik tengah pada dasar irisan. Gaya geser antar irisan diabaikan karena resultan momen dari gaya-gaya tersebut saling menghilangkan.

Dengan substitusi persamaan (8) ke dalam persamaan di atas, diperoleh persamaan untuk menghitung faktor keamanan (FK) sebagai berikut:

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^n [c' \beta + (N - u \beta) \tan \phi']}{\sum_{i=1}^n [W \sin \alpha + kW \left(\cos \alpha - \frac{h_c}{R} \right)] + A \frac{a}{R}} \quad (11)$$

Dimana N dihitung menggunakan persamaan (9). Pada persamaan (11), variabel FK terdapat pada kedua sisi persamaan sehingga perhitungan faktor keamanan harus dihitung dengan aproksimasi berulang (iterasi). Iterasi dilakukan sampai perbedaan nilai FK pada kedua sisi persamaan lebih kecil dari nilai toleransi yang diberikan. Toleransi yang digunakan umumnya 0,005.

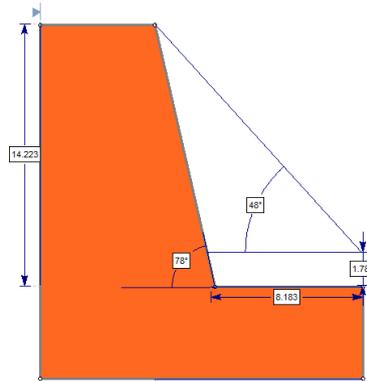
Simplified Bishop merupakan metode yang paling baik untuk menganalisis bidang runtuh busur lingkaran (*circular failure*), karena lebih simpel dengan hasil cukup teliti, perbedaan hasil perhitungan dengan metode ini tidak lebih dari 5% jika dibandingkan dengan metode yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan [9]

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Penyelidikan Lapangan

Penyelidikan lapangan yang telah dilakukan meliputi Beberapa kegiatan, yakni :

Pengukuran geometri lereng menggunakan metoda klinometer dengan menggunakan perhitungan dip pada kompas dapat dilihat pada Gambar 17 di bawah ini.



Gambar 17. Geometri Lereng

$$d = 180^\circ - 90^\circ - 78^\circ \quad f = 180^\circ - 78^\circ \quad e = 180^\circ - 102^\circ - 48^\circ$$

$$d = 12^\circ \quad f = 102^\circ \quad e = 30^\circ$$

$$\frac{8,183}{\sin e} = \frac{g}{\sin 48} \quad \frac{c}{\sin 78} = \frac{g}{\sin 90}$$

$$g = \frac{8,183 \times \sin 48}{\sin 30} \quad c = \frac{7,7 \times \sin 78}{\sin 90}$$

$$g = 12,72 \text{ m} \quad c = 12,443 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi lereng} = c + 1,78 \text{ m} = 12,443 + 1,78 = 14,223 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil pengukuran, lereng mengarah kepada $N 106^\circ / 78^\circ$. Pengukuran geometri lereng aktual yang dilakukan, didapat data geometri lereng sebagaimana yang terlihat di Tabel 8 berikut :

Tabel 8. Data Geometri Lereng

Lokasi	Koordinat			Lithologi	Geometri Lereng	
	X	Y	Z (mdpl)		Tinggi (m)	Sudut (°)
Malalak km 31	S0° 22.505'	E100° 16.950'	1147	Andesit	14.23	78

4.1.1 Survei diskontinuitas

Survei diskontinuitas ialah kegiatan yang dimaksudkan untuk menganalisis pola-pola atau orientasi diskontinuitas yang dapat menyebabkan ketidakstabilan lereng batuan dan berperan sebagai langkah awal dalam menganalisis bentuk atau tipe longsoran yang mungkin terjadi.



Gambar 18. Kegiatan Survei diskontinuitas

Pegamatan dan pencatatan terhadap orientasi diskontinuitas dilakukan dengan secara seksama dan sistematis dengan menggunakan metoda *scanline sampling*. Dalam metoda ini, pencatatan metoda diskontinuitas dilakukan sepanjang garis pengamatan dengan batasan 30cm ke bagian bawah dan atas dari garis pengamatan. Diskontinuitas yang dicatat dan diobservasi adalah diskontinuitas yang memotong garis pengamatan. Salah satu garis pengamatan menjadi datum dalam pengukuran diskontinuitas. Hal-hal yang perlu dicatat.

Tabel 9. Data Lokasi Survey Diskontinuitas

No	Lokasi Lereng	Koordinat	Arah Umum Lereng		
			Strike	Dip	Dip Direction
1	Sicincin- malalak km 31	S0° 22.505' E100° 16.950' Z 1147	N 106° E	78°	196°

4.1.2 Hasil Rock Quality Designation (RQD)

Berdasarkan hasil survey diskontinuitas yang juga mendapatkan nilai spasi pada antar *joints* rata-rata sebesar 0,118155 dan nilai λ rata-rata sebesar 8,5789696, maka dapat pula diketahui nilai RQD rata-rata sebesar 78.54 %.

4.1.3 Karakteristik Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Karakteristik sifat fisik dan mekanik batuan yang dibutuhkan untuk pemodelan menggunakan perangkat lunak ialah dengan prinsip Mohr Coulumb adalah kohesi (*cohesion*), sudut geser dalam (*friction angle*) dan bobot isi (*unit weight*). Data-data tersebut didapatkan dari hasil pengujian sampel batuan.

Jenis material beserta karakteristik fisik dan mekanik yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 10 :

Tabel 10. Data karakteristik fisik

Lokasi	Material	Karakteristik Batuan					
		Bobot Isi		Kohesi		Sudut Geser Dalam	UCS
		gr/cc	kN/m ³	kg/cm ²	kN/m ²	(°)	MPa
Sicincin- Malalak km 31	Andesit	2,930	29,35	0.3084	308,4	28.39	141

4.2 Analisis Kinematik

Setelah melakukan pengumpulan data survei diskontinuitas dengan metode *scanline sampling*, maka langkah selanjutnya adalah melihat penyebaran orientasi bidang diskontinuitas pada bidang stereonet. Untuk mempermudah prosesnya digunakan program semacam stereonet. Tujuan pengeplotan orientasi bidang diskontinuitas pada stereonet adalah mendapatkan arah

umum dari orientasinya. Dari hasil pengeplotan didapatkan bahwa orientasi umum diskontinuitas terutama rekahan sangat dipengaruhi oleh arah tegasan utama utara-selatan. Rekahan-rekahan tersebut memiliki arah umum utara-selatan, barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya. Berdasarkan arah dari rekahan yang dikaitkan dengan arah tegasan utama, maka rekahan-rekahan yang berarah utara-selatan dikelompokkan pada *extension joints* dan pasangan kekar berarah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya merupakan *shear joints*.

Penentuan kelompok diskontinuitas dilakukan berdasarkan penyebaran orientasi bidang diskontinuitas pada bidang stereonet. Bidang-bidang diskontinuitas yang membentuk satu kelompok dapat dikelompokkan dalam satu set diskontinuitas. Kemudian, setelah terbentuk kelompok-kelompok diskontinuitas pada masing-masing plot data diskontinuitas lereng dapat ditentukan tipe atau jenis longsor yang mungkin terjadi berdasarkan karakteristik masing-masing jenis longsor.

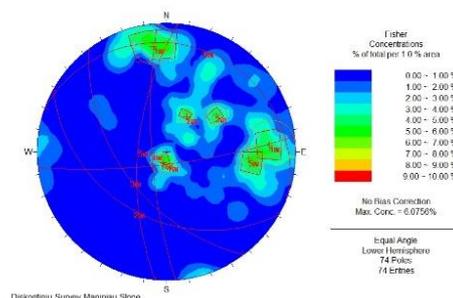
Analisis kinematik pada lereng dengan garis *scanline* sepanjang 10 m ditunjukkan oleh Gambar 19 di bawah ini.



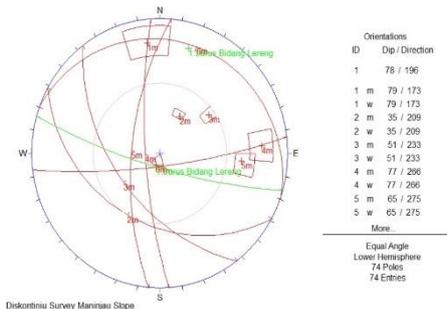
Gambar 19. Pengukuran Diskontinuitas Lereng

Berdasarkan pola-pola diskontinuitas yang muncul dan kedudukan lereng dikelompokkan dalam 4 set diskontinuitas yaitu 1w (*weighted*), 2w, 3w dan 4w dengan tingkatan *fisher concentrations* $\geq 4\%$ pada analisis *countour plot*.

Selanjutnya berdasarkan analisis *majour planes* didapatkan kemungkinan longsorannya ialah baji atau *wedge failure* karena pada *wedge sliding zone* terdapat pertemuan tiga *planes* pembentuk kemungkinan longsor baji yaitu *planes slope angle*, 1w, 2w dan 3w. Analisis kinematik lereng *front I* secara *countour plot* dan *majour planes* ditunjukkan oleh Gambar 20 dan 21 di bawah ini :



Gambar 20. Analisis *Countour Plot* Lereng



Gambar 21. Analisis *Majour Planes* Lereng

4.3 Analisis Menggunakan Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan dilakukan pada masing-masing lereng yang terdapat disetiap *front* pada kumpulan *front existing*. Dari hasil klasifikasi massa batuan didapatkan nilai RMR (*Rock Mass Rating*) *Mass Rating*) adalah sebagai berikut :

Hasil pembobotan nilai massa batuan secara RMR pada lereng disajikan pada Tabel 11 berikut ini.

Tabel 11. Penentuan Nilai RMR

Parameter	Pengamatan	Range of Value	Rating RMR
Kuat Tekan Batuan Utuh (UCS)	141 MPa	100-250 MPa	12
RQD (%)	78.54 %	75-90 %	13
Jarak Kekar	0.06-0.2m ($\pm 0.17m$)		8
Kondisi Kekar	Agak kasar, pemisahan <1 mm, dinding agak lapuk		25
Air Tanah	Lembab		10
Total RMR			68

4.4 Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan bantuan perangkat lunak (*software*) menggunakan metode kesetimbangan dengan data-data masukkan sesuai dengan pembahasan sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 12 dibawah ini :

Tabel 12. Parameter Geomekanik Analisis Kestabilan Lereng 78°

No	Parameter	Data	
1	Sudut Lereng ($^{\circ}$)	78	
2	Tinggi Lereng (m)	14,23	
3	Bobot Isi (kN/m ³)	Jenuh	29,3
		Natural	29,24
		Kering	29
4	Kohesi (kPa)	308,4	
5	Sudut Geser Dalam ($^{\circ}$)	28,39	
6	Gempa (g)	0.6	

Hasil analisis nilai kestabilan lereng dalam sudut aktual 78° dalam kondisijenuh, natural dan kering serta dengan parameter gempa menggunakan metoda *Bishop simplified* dengan bantuan *software* analisis faktor keamanan ditunjukkan oleh Tabel 13 dibawah ini :

Tabel 13. Nilai Faktor Keamanan Lereng

	kondisi	Fk	Keterangan
Jenuh	Tanpa gempa	3,966	Aman
	Gempa	2,638	Aman
Kering	Tanpa gempa	4,001	Aman
	Gempa	2,659	Aman
Natural	Tanpa gempa	3,979	Aman
	Gempa	2,642	Aman

Dari hasil pengolahan data menggunakan *software* tambang (analisis kestabilan lereng) menunjukkan keadaan lereng aktual (78°) pada ruas jalan sicincin malalak Km 31 Kecamatan Malalak Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat masih dalam keadaan aman dengan nilai pengolahan data terendah dalam kondisi jenuh pada parameter gempa sebesar 2,638 dalam standar FK 1,5 KEPMEN PU 1987

4.5 Penanggulangan Kerutuntuhan Lereng

Dalam hasil klasifikikasi masa batuan didapatkan nilai RMR (*Rock mass Rating*) Batuan sebesar 63 yang menunjukkan batuan berada pada kelas batuan II serta dalam pengolahan data menggunakan *software* tambang (analisis kestabilan lereng) diketahui FK lereng aktual jenuh sebesar 3,966 dan 2,638 dengan memasukan parameter *ground vibration* (getaran gempa).

Ketidakpastian dalam perhitungan dikarenakan faktor seperti lapisan penutup lereng yang bersifat larut air dan ditemukannya batuan-batuan lepas yang berada pada lereng, sehingga perlu dilakukanya upaya penanggulangan dan pencegahan agar dapat meminimalisir resiko.

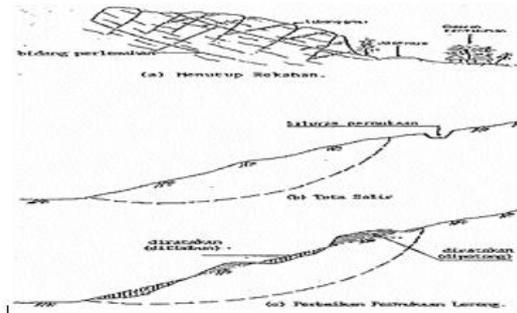
Beberapa penanggulangan lereng yang cocok untuk masalah lereng pada ruas jalan malalak km 31 ini adalah:

4.5.1 Mengendalikan Air permukaan

Mengendalikan air permukaan merupakan langkah awal dalam setiap rencana penanggulangan longsoran. Pengendalian air permukaan akan mengurangi berat massa tanah yang bergerak dan menambah kekuatan material pembentuk lereng. Dua hal yang harus diperhatikan adalah air permukaan yang akan mengalir pada permukaan lereng dan air yang akan meresap masuk

ke dalam tanah. Setiap upaya yang harus dilakukan untuk mencegah air permukaan yang menuju daerah longsor. Mengendalikan air permukaan dapat dilakukan dengan berbagai cara (Gambar 22) seperti:

1. Menanam tumbuhan
2. Membuat saluran terbuka
3. Menutup rekahan
4. Perbaikan permukaan lereng
5. Menanam tumbuhan

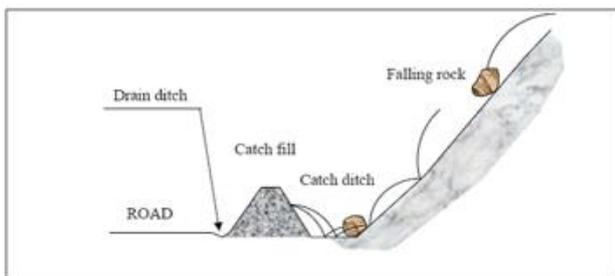


Gambar 22. Macam-macam Penanggulangan Longsor Dengan Mengendalikan Air Permukaan

4.5.2 Catch Fill dan Catch Ditch

Pembuatan tembok penahan runtuh dimaksudkan untuk menahan runtuh batuan untuk tidak jatuh ke jalan yang mana dapat mengakibatkan resiko terganggunya akses dari jalan serta runtuh yang mengenai pengguna jalan dan material runtuh yang mengenai berserakan dapat mengakibatkan kecelakaan lalu lintas.

Untuk mengurangi resiko tersebut perlu dibuatnya tembok penahan dan paritan agar dapat menahan runtuh batuan serta menampung batuan sehingga meghindarkan jalan dari batuan yang jatuh dari lereng ruas jalan Sicincin-Malalak Km 31 Kecamatan Malalak Kabupaten Agam.



Gambar 23. Catch Fill dan Ditch

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Geometri dan model kelongsoran :

Geometri aktual lereng berdasarkan perhitungan dari hasil penggunaan metoda klinometer di lapangan yaitu tinggi lereng 14,23, sudut lereng 78°. Berdasarkan analisis kinematik dengan metoda *scanline sampling* pada lereng menunjukkan bahwa lereng berpotensi untuk membentuk longsor baji.

2. Berdasarkan perhitungan nilai diskontinuitas didapat nilai RQD sebesar 78,75 % dengan pembobotan RMR sebesar 68 termasuk dalam kategori batuan baik. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan perhitungan didapat nilai sudut geser dalam sebesar $(\Phi) = 28,39^\circ$, kohesi $(c) = 308,4 \text{ kPa}$, bobot isi $= 29,30 \text{ KN/cm}^3$. Nilai kestabilan lereng menggunakan metoda bishop dibantu dengan *software* tambang (analisis kestabilan lereng) pada keadaan aktual kondisi lereng jenuh aman dengan nilai faktor keamanan sebesar 3,966, kondisi lereng natural aman dengan nilai faktor keamanan sebesar 3,979, kondisi lereng kering aman dengan nilai faktor keamanan sebesar 4,000.

Nilai kestabilan lereng menggunakan metoda *bishop* dengan inputan nilai *ground vibration* (getaran gempa) dibantu dengan *software* tambang pada keadaan aktual kondisi lereng jenuh aman dengan nilai faktor keamanan sebesar 2,638, kondisi lereng natural aman dengan nilai faktor keamanan sebesar 2,642, kondisi lereng kering aman dengan nilai faktor keamanan sebesar 2,659.

3. Nilai faktor keamanan lereng aktual terendah menunjukkan lereng masih dalam keadaan stabil namun pada lereng ditemukanya batuan lepas yang mana perlu diantisipasi agar tidak jatuh ke badan jalan dan mengakibatkan resiko materil dan non materil. Penanggulangan keruntuhan yang cocok untuk lereng ruas jalan Sicincin-Malalak Km 31 adalah pengendalin aliran air permukaan dan pembuatan *catch fill* dan *catch ditch*.

5.2 Saran

1. Setiap Perbaikan dan pembuatan lereng di jalan

Sicincin-Malalak.perlu mempertimbangkan keamanan lereng karena memiliki banyak faktor pemicu di sepanjang ruas jalan, hal ini untuk meminimalisir resiko materil dan non materil.

2. Perlunya adanya pegukuran muka air tanah yang bersifat saintis dan informatif bagi penelitian selanjutnya dan untuk instansi pemerintah setempat .

3. Perlunya dilakukan analisis pada lereng dengan metoda lain sebagai dalam penilaian kestabilan lereng yang berada pada ruas jalan Sicincin-Malalak Kecamatan Malalak, Kabupaten Agam.

6. Daftar Pustaka

- [1]M. yusuf A. Metodologi Penelitian (Dasar-Dasar Penyelidikan Ilmiah.Padang :UNP Press (2005).
- [2]Bieniawski, Z.T.*Engineering Rock Mass Classification*. Canada: John Wiley & Sons (1989).
- [3]D. C Wyllie. & Christopher W. Mah. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*. 4rd. (ed). New York: Spoon Pres (2004)

- [4] E. Hoek and Bray, J.W. *Rock Slope Engineering. Revised 3rd Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London*, 341-351 (1981).
- [5] Arif, Irwandy. *Geoteknik Tambang Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Jakarta :PT. Gramedia Pustaka Utama (2016)
- [6] Arief, Saifuddin. “*Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan*”. *Buku kompilasi tidak diterbitkan* (2008).
- [7] M. Prasetya Fauzi.. *Penggunaan Metoda Analitic Hierarchy Process (AHP) Untuk Pemetaan Potensi Longsoran Berdasarkan Kestabilan Lereng Pada Penambangan Terbuka Bukit Karang Putih PT. Semen Padang* . Padang : Program Sarjana Teknik Pertambangan FT UNP (2016).
- [8] E. Setiawan, *Rancangan Geometri Lereng Berdasarkan Analisis Probabilitas Pit “S” Blok Kananai 1 Pt Multi Tambangjaya Utama, Kecamatan Gunung Bintang Awai, Barito Selatan, Kalimantan Tengah*. Padang : Program Sarjana Teknik Pertambangan FT UNP (2016).
- [9] R. Noerman. *Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan Karakteristik Batuan dan Kondisi Hidrogeologi Di Wilayah IUP PT Bukit Asam (Persero) Tbk Unit Penambangan Ombilin (Studi Kasus : Lereng Bekas Tambang Terbuka PT BA UPO Di Wilayah Kandi Sawahlunto* . Padang : Program Sarjana Teknik Pertambangan FT UNP (2017).
- [10] Departemen Pekerjaan Umum. *Petunjuk Perencanaan Penanggulangan Longsoran*, SKBI – 2.3.06., Yayasan Badan Penerbit PU (1987).
- [11] M. Astawa Rai, dkk. *Mekanika Batuan*. Bandung : ITB (2012).
- [12] Sharma, Sunil.. *Slope Stability Concepts (Chap. 6)*. New York: John Wiley & Sons (2002)