

Analisis Pengaruh Pemasangan Kisi Beton (*Concrete Crib*) Sebagai Perkuatan Lereng Terhadap Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas Di PT. Dairi Prima Mineral Kabupaten Dairi Provinsi Sumatera Utara.

Wiwik Windasari B. Manalu^{*}, Rizto Salia Zakri^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Indonesia

*01wiwikwindasari@gmail.com

**riztoszakri@ft.unp.ac.id

Abstract. PT. Dairi Prima Mineral is a company engaged in the field of mineral mining, this is in the form of zinc ore and black lead minerals whose mining locations are located in Sopokomil Village, Dairi Regency, North Sumatra. the mining system is carried out with an underground mining system. construction activities or preparation for mining activities, the most important thing to do during construction activities is to pay attention to the condition of the mining area, especially slope stability, PT. Dairi Prima Mineral carries out protection activities on the slopes, this is related to the long-term safety of the slope treatment, and plans to build processing plant facilities and other infrastructure under the foot of the slope or the toe which is 10 meters from the slope.

The method used is the boundary equilibrium method (simplified Bishop). As a result of the research, it can be concluded several things, namely the slopes in area 8 in actual conditions using actual slope geometry data in the field as well as laboratory testing to obtain physical and mechanical properties of soil and rock and after that a modeling of the slopes is carried out to see the slope safety factor and simulation on the slopes. when the slope is given a concrete crib, for the actual condition the safety factor for single slopes is **1,271** natural conditions and saturated conditions **1,231**, from the actual conditions the slopes are not stable so it is recommended to use a double bench with natural slope FK **1,429** and saturated **1,393**, from the recommendation FK has not complied with SNI 8470-2017 $FK \geq 1.5$. Furthermore, the double bench slope was given anchor bolt reinforcement for stable slope conditions with FK **1,535** saturated conditions and natural conditions **1,601** with the number of anchors used 24 anchors and the distance between anchors 3 meters with a length of 9 meters, from safe slope modeling or slopes in a stable condition with FK 1.5 for permanent slopes and long term slopes.

After it is known that slope reinforcement with retrofit planning using the previous reinforcement specifications in area 8 is very maximal and economical, it can be seen from slope analysis using the simplified Bishop boundary equilibrium method by getting $FK \geq 1.5$

Keywords: Analysis, Slope Reinforcement, Concrete Crib, Bishop's Method, Slope Geometry.

1. Pendahuluan

PT. Dairi Prima Mineral (PT. DPM) adalah ini. Perusahaan yang bergerak dalam bidang Pertambangan Mineral hal ini berupa Mineral Bijih Seng dan Timah Hitam yang lokasi penambangan-Nya terletak di Desa Sopokomil Kabupaten Dairi Sumatera Utara. Telah mendapatkan Kontrak Kerja (KK) dari Pemerintah Republik Indonesia (PRI) sejak tahun 1998 yang mengeksploitasi mineral di daerah seluas 27,420 Hektar. Untuk saat ini PT. Dairi Prima Mineral masih dalam melakukan tahap konstruksi atau persiapan untuk kegiatan penambangan yang rencananya pada tahun 2022 dilakukan kegiatan penambangan bijih Seng dan Timah Hitam tersebut.

Sistem penambangan yang dilakukan di PT. Dairi Prima Mineral adalah *Underground Mining* (Tambang Bawah tanah) yang bijihnya diangkut ke permukaan dan selanjutnya bijih tersebut akan di konsentratkan di fasilitas yang akan dibangun berdekatan dengan area tambang. Dalam kegiatan aktivitas pada tambang bawah tanah (*underground Mining*) sebelum melakukan kegiatan penambangan bijih atau *ore*, maka terlebih dahulu dilakukan kegiatan konstruksi atau persiapan sebelum dilakukan kegiatan penambangan seperti pembuatan atau pembangunan terowongan, pemasangan penyanggaan, pengembangan areal peruntukan, penarikan bijih mineral hingga ke aktivitas transportasi,

pengolahan, infrastruktur permesinan, serta energi kelistrikan-udara bertekanan dan peralatan bergerak lainnya yang berhubungan pada proses rangkaian aktivitas penambangan. Kegiatan konstruksi atau pembangunan infrastruktur pada kegiatan tambang bawah tanah sangat berhubungan dengan keselamatan operasi dan kesehatan keselamatan kerja dan sistem pelaksanaan awal sebelum melakukan kegiatan pertambangan.

Kegiatan konstruksi atau persiapan kegiatan penambangan hal yang paling penting dilakukan selama kegiatan konstruksi adalah salah satunya memperhatikan kondisi area penambangan terutama kestabilan lereng yang ada pada area yang akan dibangun infrastruktur pembangunan dalam jangka waktu yang cukup panjang pada kegiatan penambangan. Hal terbaik untuk menjaga kestabilan lereng permanen adalah lereng yang mempunyai nilai FK menurut **SNI 8460-2017** adalah $\geq 1,5$ dengan mempertimbangkan nilai keekonomian pada perusahaan sehingga tidak merugikan perusahaan dalam menjaga keamanan lereng, hal ini perlu dilakukan perlindungan dan perkuatan menggunakan *anchor bolt* dengan mempertimbangkan analisis perlindungan dan perkuatan yang digunakan dilapangan.

Konstruksi *anchor* adalah sebuah konstruksi yang diperlukan untuk menahan konstruksi penahan tanah dan batuan lapuk agar kestabilan konstruksi sesuai dengan yang diharapkan (dimensi kekuatan bahan, deflection)

Jangkar batuan (*Rock Anchor*) berfungsi sebagai penguat (*armature*) dan pengikat (*confining*) bastuan. Fungsi utama jangkar batuan lebih kepada memodifikasi gaya normal dan gaya geser yang bekerja pada bidang gelincir, bukan hanya mengandalkan kekuatan geser dari jangkar batuan yang dipasang memotong bidang lemah pada lereng (Mah dan Wyllie, 2004). Istilah jangkar batuan mengacu pada dua jenis jangkar yakni jangkar batang (*bar anchor*) dan jangkar kabel (*cable anchor*) dimana keduanya menggunakan prinsip dan tujuan yang sama.

PT. Dairi Prima Mineral melakukan kegiatan perlindungan pada lereng, hal ini terkait keamanan dalam jangka waktu yang lama dari perlakuan lereng tersebut, dan rencana pembangunan fasilitas pabrik pengolahan dan infrastruktur lainnya yang berada dibawah kaki lereng atau *toe* yang berjarak 10 meter dari lereng tersebut.



Gambar 1. Perencanaan Pembangunan Infrastruktur di Lereng di Area

Berdasarkan hasil pengamatan aktual dilapangan terutama lereng pada area 8 yang penulis amati dengan koordinat $2^{\circ} 47' 7.281''$ LU dan $98^{\circ} 8' 22.091''$ BT dengan material penyusun tanah dan batuan berupa *clay, sandstone* Kondisi aktual lereng yang telah diberikan perlindungan yang masih hanya sebatas *grouting* atau kegiatan penyuntikkan semen pada lubang yang telah dilakukan pemboran dengan diameter 300 milimeter. Kondisi lereng yang telah diberikan perkuatan memiliki tinggi lereng 50 meter dengan sudut kemiringan lereng 45° dengan lebar lereng 127 meter dengan spesifikasi perkuatan *anchor bolt* seperti diameter *anchor bolt* 130 milimeter dengan jarak *anchor* tersebut adalah 3 meter dengan panjang 9 meter, kedalaman lubang 10 meter, dengan ukuran dimensi beton 400 x 400 milimeter (lebar x tinggi) dengan menggunakan spesifikasi baja tulangan Bjt (Bjts) 40 dan memiliki nilai kuat tekan *anchor* (f_y) sebesar 390 N/mm^2 dan nilai kuat Tarik *anchor* (f_yk) 300 N/mm^2 , hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Kondisi Lereng Area 8 PT. Dairi Prima Mineral

Dengan kondisi yang ada saat ini, maka perlu dilakukan kajian mengenai penggunaan perlindungan pada lereng untuk melihat pengaruh perlindungan terhadap kestabilan lereng. Karena hal tersebut kajian ini menjadi sangat penting untuk dikaji karena pemasangan perlindungan yang kurang tepat dapat menimbulkan kerugian secara ekonomi dan potensi longsoran yang mungkin terjadi

1.1 Lokasi Penelitian

PT. Dairi Prima Mineral merupakan perusahaan tambang Indonesia yang bergerak dalam bidang Pertambangan Mineral hal ini berupa Mineral Bijih Seng dan Timah Hitam yang berlokasi di Sopokomil Kabupaten Dairi Sumatera Utara. pada tahun 1997 ditemukannya cadangan *seng* yang memiliki kadar seng tingkat tinggi sehingga dilakukan pemboran di daerah sopokomil dibagian barat sumatera utara pada saat itu dan hasilnya yang sangat baik dari hasil pemboran tersebut. Cadangan tersebut dikenal dengan nama ‘‘Anjing Hitam’’.

PT. Dairi Prima Mineral mendapatkan Kontrak Kerja (KK) dari pemerintah Republik Indonesia (PRI) pada tanggal 18 Februari 1998. Menurut ketentuan KK PT. Dairi Prima Mineral, PT DPM mengeksplorasi mineral di daerah seluas 27.420 Hektar yang terletak di Provinsi Sumatera Utara dan Nangroe Aceh Darussalam (NAD).

Secara geografis wilayah Penambangan PT. Dairi Prima Mineral terletak pada koordinat $2^{\circ}47'6.840''$ LU dan $97^{\circ}15'17.288''$ BT



Sumber: Aldiss dkk., 1983

Gambar 3. Peta Fisiografi Lembar Sidikalang dan daerah penelitian

1.2 Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia. Lereng yang terbentuk secara alami misalnya: lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain: lereng galian dan timbunan, tanggul serta dinding tambang terbuka (Arief,2007) ^[1]

1. Lereng Alam

Lereng alam (*natural slope*) adalah lereng terbentuk karena fenomena alam yang terjadi akibat dari proses geologi. Dalam konteks perencanaan teknik jalan, lereng alam sering dijumpai pada kawasan dengan topografi berbukit dan pegunungan, dimana posisi badan jalan berada pada elevasi tanah asli (*existing ground*) berada pada di sisi sebuah bukit, atau elevasi badan jalan berada pada lereng bukit yang sebagian digali atau dipotong untuk posisi badan jalan.

2. Lereng Batuan

Lereng batuan (*man made slope*) adalah lereng yang terjadi akibat terbentuknya daerah galian dan atau daerah timbunan pada proses perencanaan geometrik jalan.

1.3 Kestabilan Lereng

Istilah kestabilan lereng dapat didefinisikan sebagai ketahanan blok diatas suatu permukaan miring (diukur dari garis horizontal) terhadap runtuhnya (*collapsing*) dan gelinciran (*sliding*) (Klinche,1999 didalam buku *Irwandy 105:2016*) sedangkan menurut Romana dalam *Irwandy (2016)* menyatakan bahwa lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal, terbentuk secara alami karena proses geologi atau dibuat oleh manusia. Dalam hal ini setiap permukaan tanah tanah yang memiliki kemiringan terhadap garis horizontal disebut lereng, baik alami maupun buatan manusia. karena lereng tidak horizontal, melainkan membentuk sudut, akan timbul suatu gaya penggerak akibat adanya gaya gravitasi dan cenderung membuat blok di atas permukaan miring tersebut bergerak menuruni lereng. Jika gaya penggerak tersebut sangat besar dan kekuatan geser dari material penyusun lereng relatif kecil, dapat terjadi longoran (*Terzaghi and Peck,1967, Irwandy:105:2016*) ^[2]

Kestabilan lereng secara sederhana dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK), yang didefinisikan sebagai berikut:

$$F = \frac{\sum \text{Gaya Penahan}}{\sum \text{Gaya Penggerak}} \dots\dots\dots(1)$$

Misalkan suatu blok terletak diatas suatu bidang miring, maka satu-satunya gaya yang bekerja pada blok yaitu gaya gravitasi atau berat blok. Gaya berat bekerja pada arah vertikal ke bawah dan dapat diuraikan ke

dalam dua komponen gaya, yakni searah dengan kemiringan bidang runtuh dan tegak lurus terhadap bidang runtuh.

1.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

1.4.1 Faktor-faktor Pembentuk Gaya Penahan

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

1.4.2 Faktor-faktor Pembentuk Gaya Penggerak

1. Geometri Lereng
2. Kandungan air tanah (u)
3. Bobot isi

1.4.3 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Gaya Penahan

1. Proses pelapukan
2. Bidang lemah
3. Iklim
4. Air

1.4.4 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Gaya Penggerak

1. Aktivitas tektonik
2. Gempa atau sumber getaran yang lain
3. Penambahan beban akibat penimbunan
4. Penambahan air tanah
5. Pengeringan waduk

1.5 Macam-macam Longsor Pada Lereng Tambang

Berdasarkan proses teradi longsorannya, longoran batuan dapat dibedakan menjadi empat macam, yaitu:

1. Longoran Bidang (Plane Failure)
2. Longoran Baji (Wedge Failure)
3. Longoran Guling (Toppling Failure)

1.6 Penanggulangan Keruntuhan Lereng Batuan

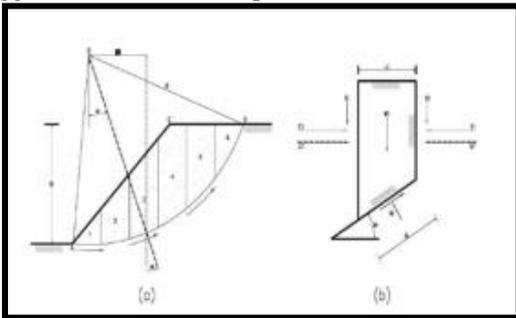
1.6.1 Metoda Penanggulangan Longoran

1. Identifikasi Penyebab
2. Kemungkinan tipe-tipe penanggulangan berdasarkan teknis
3. Kemungkinan pelaksanaan
4. Memilih salah satu pertimbangan berdasarkan faktor ekonomi

1.7 Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

Suatu lereng dikatakan stabil jika lereng tersebut tidak mengalami pergerakan, yaitu apabila besarnya komponen gaya penahan pada lereng lebih besar dibandingkan komponen gaya penggerak lereng. Adapula pendapat dari Christopher, dkk, (1990), mengklasifikasikan yaitu: Struktur timbunan dengan kemiringan lereng < 70° yang lerengnya diperkuat,

disebut lereng tanah bertulang (*Reinforced Soil Slope, RSS*). Dan struktur timbunan dengan kemiringan lereng $>70^\circ$ yang lerengnya diperkuat, disebut struktur dinding tanah distabilisasi secara mekanis (*Mechanically stabilized Earth Wall, MSE-wall*). Di dalam menganalisa stabilitas lereng tidaklah mudah, karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungan. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lainnya. Maka diperlukan ketelitian dalam proses perhitungannya, untuk mencari nilai faktor keamanannya (SF) lereng tanpa perkuatan pada penelitian ini dihitung menggunakan metode bishop.



Sumber: Vitriana Kumalasari (2012)

Gambar 4. Permukaan bidang yang dicoba dan gaya-gaya yang bekerja pada irisan

$$SF = \frac{C \cdot \Delta X + W \tan \phi}{W \sin \phi} \dots \dots \dots (2)$$

$$M = \cos \alpha \left[1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{F} \right] \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

- SF = safety factor (faktor keamanan)
- ϕ = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)
- C = Kohesi Tanah (kN/m^2)
- α = sudut irisan dengan bidang longsor ($^\circ$)
- W = beban irisan tanah ke-n+q (kN/m^2)
- ΔX = panjang irisan ke-n (m)
- F = faktor aman rencana

1.8 Jenis-Jenis Angkur

Angkur (*anchor*) atau dikenal juga dengan dynabolt merupakan suatu material yang dipakai untuk menyatukan dua elemen pada sebuah bangunan. Lain dengan mur baut atau paku, dynabolt mempunyai sistem yang berbeda karena tipe serta jenisnya pun bermacam-macam. Karena angkur dynabolt terdiri atas dua komponen, seperti mur dan baut, tak sedikit yang menyebutnya dengan baut tanam.

1.9 Metode Perkuatan Lereng

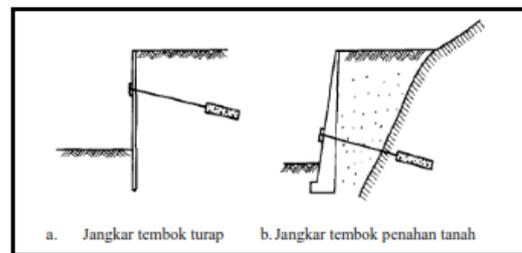
Perkuatan anchor dilakukan dengan mengurangi gaya meruntuhkan yang bekerja dengan menambahkan kekuatan geser tanah atau kombinasi keduanya. Metode yang digunakan untuk perkuatan atau stabilisasi biasanya digunakan adalah ground Anchor. Fungsi perkuatan pada

lereng galian adalah untuk Meningkatkan faktor keamanan pada lereng.

1.9.1 Metode perkuatan anchor

Menurut (Ir. Suyono Sosrodarsono dan Kazuto Nakazawa, 2000), Metode penjangkaran tanah disebut juga dengan nama *Alluvian Anchor, Ground Anchor* atau *Tieback Anchor*, sesuatu yang dikembangkan di Eropa sekitar 20 tahun lampau. Konstruksi anchor adalah sebuah konstruksi yang diperlukan untuk menahan konstruksi penahan tanah agar kestabilan konstruksi sesuai dengan yang diharapkan (dimensi, kekuatan bahan, deflection) Dalam metode ini pengeboran dilakukan dalam arah pondasi yang baik terdiri dari lapisan berpasir, lapisan berkerikil, lapisan berbutir halus ataupun batuan yang lapuk, serta suatu bagian yang menahan gaya tarik seperti campuran semen dengan kabel baja atau semen dengan batang baja dimasukkan ke dalam lubang hasil pengeboran tersebut, kemudian disertai suatu gaya tarik setelahnya untuk memperkuat konstruksinya.

Dalam banyak hal dipergunakan untuk melawan tekanan tanah seperti turap ataupun tembok penahan tanah hal ini terlihat pada gambar 5 berikut.



Sumber: Braja M Das (1995)

Gambar 5. Contoh pemasangan anchor

Konstruksi *anchor* dihubungkan dengan konstruksi dinding penahan tanah / atau balok penahan melalui batang tarik dari baja. Perhitungan dimensi *grouting* untuk tanah lempung, sebagai berikut :

1.10 Metode Pemasangan Ground Anchor

1. Metode pemasangan anchor pada tanah dan batuan adalah sebagai berikut:
2. Metode pemasangan Anchor dengan grouting
3. Metode Pemasangan Anchor dengan tabung bertekanan.
4. Metode pemasangan anchor dengan plat

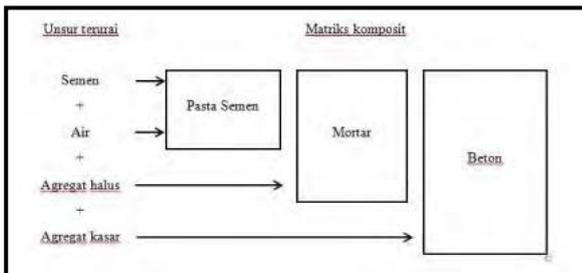
1.11 Analisa Perhitungan Angkur

$$F_k = \frac{\text{momen penahan}}{\text{momen penggerak}} \dots \dots \dots (4)$$

1.12 Beton

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat

dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan.



Sumber: Teknologi Beton dari Material, Pembuatan ke Beton Kinerja Tinggi (Paul Nugraha dan Antoni 2007)

Gambar 6. Unsur-unsur pembuatan beton

Klasifikasi beton berdasarkan massa dan kuat tekan

Tabel 1. Klasifikasi beton berdasarkan massa dan kuat tekan.

Berat Massa Volume Beton (kg/m ³)	Tegangan Beton (MPa)	
<2000	$F_c 28 \leq 20$	Beton ringan pengisi
	$20 \leq f_c 28 \leq 50$	Beton ringan struktural
	$50 \leq f_c 28 \leq 100$	Beton ringan kinerja tinggi
	$F_c 28 \geq 100$	Beton ringan kinerja sangat tinggi
2000-3000	$F_c 28 \leq 20$	Beton normal
	$60 \leq f_c 28 \leq 120$	Beton normal kinerja tinggi
	$120 \leq f_c 28 \leq 200$	Beton normal kinerja sangat tinggi
	$F_c 28 \geq 200$	Beton normal kinerja ultra tinggi
>3000	$F_c 28-340$	Beton berat

Sumber: Manalip, H. 1996

Berdasarkan pada tabel 1 yang merupakan klasifikasi beton berdasarkan massa dan kuat tekan menurut Manalip, H. 1996.

Tabel 2. Klasifikasi Berat Volume Beton

Jenis Beton	Berat Volume Beton (kg/m ³)
Beton ultra ringan	300-1100
Beton ringan	1100-1600
Beton ringan struktural	1450-1900
Beton normal	2100-2550
Beton berat	2900-6100

Sumber: American Concrete Institute (ACI)

Pada tabel 2 diatas klasifikasi berat volume beton menurut American Concrete Institute (ACI)

Tabel 3. Klasifikasi berat volume beton

Jenis Beton	Berat Volume Beton (kg/m ³)
Beton berbobot ringan	<1900
Beton berbobot normal	2200-2500

Sumber: Standar Nasional Indonesia (SNI)

Di tabel 3 merupakan tabel klasifikasi berat volume beton menurut Standar Nasional Indonesia (SNI)

1.12.1 Berat Volume Beton

Berat volume beton adalah perbandingan antara berat beton terhadap volumenya. Berat volume beton tergantung pada berat volume agregat yang membentuk beton tersebut.

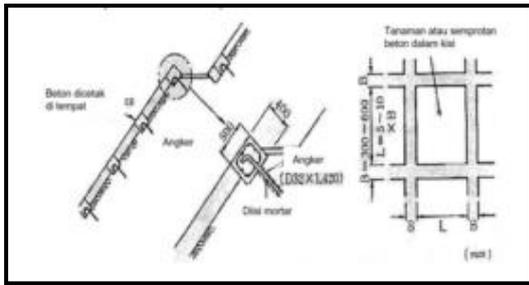
$$\text{Berat volume beton} = \frac{W}{V} (\text{kg/cm}^3) \dots \dots \dots (9)$$

W= berat beton (kg)

V= volume beton (m³)

1.13 Perlindungan Lereng Dengan Pemakaian Kisi Beton (Concrete Crib)

Konstruksi kisi beton dapat digunakan apabila kestabilan lereng jangka panjang diragukan atau apabila bangunan kisi beton pada lereng yang diterapkan pada lereng batuan lunak mungkin akan mengalami keruntuhan ditambah adanya mata air atau lereng. Pekerjaan jenis ini juga memberikan fungsi pendukung apabila batu yang lepas tidak dapat diperbaiki dengan beton semprot karena berada diatas batuan dasar yang memiliki banyak rekahan dan retakan. Selanjutnya pekerjaan ini digabungkan dengan pekerjaan anker tanah untuk mencegah keruntuhan lereng. Kerangka dibuat dari beton bertulang cor di tempat, dan ruang-ruang di dalam kerangka diisi dengan mortar semprot atau soding tergantung pada kondisinya. Konstruksi kisi beton cor di tempat memiliki kuat tekuk yang lebih tinggi daripada bangunan kisi blok beton *precast*, di karenakan struktur baliknya menggunakan besi tulangan.



Sumber: Rudy Febrijanto dan Riyadi Salim (2019)

Gambar 7. Contoh bangunan kisi beton cor

1.14 Analisa Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Kestimbangan Batas

Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang cukup populer dan praktis dalam analisis kestabilan, dengan kondisi kestabilan dinyatakan dalam indeks faktor keamanan, yaitu dengan menghitung kesetimbangan gaya atau kesetimbangan momen, atau keduanya tergantung dari metode perhitungan yang dipakai.

1.14.1 Metode Janbu Yang Disederhanakan (Simplified Janbu Method)

Metode kesetimbangan batas yang dipakai disini yaitu metode *bishop* yang sudah disederhanakan. Diantara metode irisan lainnya, 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 vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan. Sedangkan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal tidak dapat dipenuhi. Faktor keamanan untuk metode ini dirumuskan sebagai berikut.

$$FS = \frac{\sum x / (1 + Y / FS)}{EZ + Q} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

$$X = (c' + (\gamma \cdot h - \gamma_w h_w) \tan \varphi) \frac{\Delta x}{\cos \alpha} \dots \dots \dots (6)$$

$$Y = \tan \alpha \tan \varphi \dots \dots \dots (7)$$

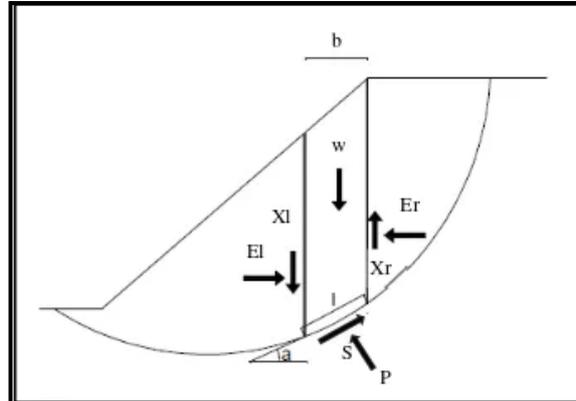
$$Z = \gamma \cdot h \cdot \Delta x \dots \dots \dots (8)$$

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

Keterangan:

- FK = Faktor Keamanan
- γ = Bobot Isi material (ton/m³)
- γ_w = Bobot Isi Air (ton/m³)

- α = Kemiringan Bidang Luncur (°)
- φ = Sudut Geser Dalam (°)
- H = Tinggi Lereng (m)
- hw = Tinggi Leren Jenuh (m)
- c' = Kohesi (Mpa)
- Z = Kedalaman tegangan tarik (m)



sumber: Arif Irwandy: 2016

Gambar 8. Metode Bishop sederhana (hoek-bray, 1981)

2. Metode Penelitian

Kegiatan observasi lapangan dan pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 22 Juni – 22 Juli 2021.. Pengambilan data dilakukan pada PT. Dairi Prima Mineral (PT. DPM). Perusahaan yang bergerak dalam bidang Pertambangan Mineral hal ini berupa Mineral Bijih Seng dan Timah Hitam yang lokasi penambangannya terletak di Desa Sopokomil Kabupaten Dairi Sumatera Utara.

Berdasarkan jenisnya, penelitian ini termasuk kedalam jenis penelitian terapan (applied research) dengan memberikan solusi atas permasalahan yang ada dilapangan dengan menggabungkan antara teori dan data dilapangan untuk pemecahan masalah A. Muri Yusuf (2005).

Penelitian terapan (applied research) yaitu salah satu jenis penelitian yang bertujuan untuk pengaplikasian teori yang didapatkan selama di perkuliahan terhadap kondisi aktual dilapangan. Data yang diambil terdiri dari data primer dan data sekunder.

2.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diambil langsung dari pengamatan di lapangan yaitu:

1. Elevasi dan koordinat lereng
2. Sampel Tanah batuan untuk dilakukan pengujian sifat fisik dan sifat mekanik
3. Data hasil pengujian sifat fisik dan sifat mekanik Tanah dan batuan

2.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang didapat berdasarkan dari literature, berbagai referensi, serta arsip-arsip laporan perusahaan, seperti:

1. Peta Geologi Regional

2. Geometri Lereng Aktual
3. Peta Lokasi Penelitian Hasil Drone
4. Spesifikasi angkur atau anchor
5. Spesifikasi kisi beton (*concrete crib*)

2.3 Data Pengujian Laboratorium

1. Parameter Pengujian Tanah

a. Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat fisik batuan bertujuan untuk mengetahui berapa nilai dari kekuatan alami tanah. Dalam pengujian sifat fisik batuan yang dilaksanakan, didapat nilai sifat fisik tanah, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai kadar air, nilai bobot isi tanah dan lain-lan.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Bobot Isi tanah

No	Berat cincin (gram) (W1)	Berat tanah Natural (gr) (W2)	Berat Kering (gr) (W3)	Bobot isi natural (gr/cm ³)	Bobot isi Kering (gr/cm ³)	Bobot isi jenuh (gr/cm ³)
1	47,45	154,2	122,42	1,82	1,28	2,06
2	48,05	152,85	122,38	1,67	1,18	2,03
3	51,47	159,76	124,80	1,86	1,26	2,15

b. Sifat Mekanik Tanah

Pengujian sifat mekanik tanah ini dilakukan dalam dua bentuk pengujian, yaitu yang pertama pengujian Batas Atterberg seperti batas cair (Liquid Limit) dan batas plastis (Plastis Limit) dan yang kedua pengujian kuat geser langsung tanah. Pengujian sifat mekanik ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pertambangan Universitas Negeri Padang

1) Batas Atterbergh

Uji Batas Atterbergh adalah hasil uji batas yang diterapkan untuk menentukan konsistensi perilaku material dan sifatnya pada tanah kohesif, dimana konsistensi tanah tergantung dari nilai batas cairnya. Disamping itu, nilai batas cair ini dapat digunakan untuk menentukan nilai indeks plastisitas tanah yaitu nilai batas cair dikurangi dengan nilai plastis, berikut merupakan data batas cair dan plastis dari tanah lempung yang telah dilakukan pengujian dilaboratorium seperti pada tabel 5 dibawah ini:

Tabel 5. Hasil Pengujian Batas Cair (Liquid Limit)

Jumlah Pukulan	14	25	35
Berat cawan+tanah basah	38.19	36.23	32.89
Berat cawan+tanah kering	26.80	25.40	23.18
Berat cawan	5.66	5.17	5.30
Berat air	11.39	10.83	9.71
Berat tanah kering	21.44	20.23	17.88
Kadar air(%)	53.12	53.53	54.30
Kadar air rata-rata=56.65%			

Dari pengujian batas cair diatas didapatkan nilai kadar air rata-rata adalah 56.65%.

Tabel 6. Hasil Pengujian Batas Plastis (Plastis Limit)

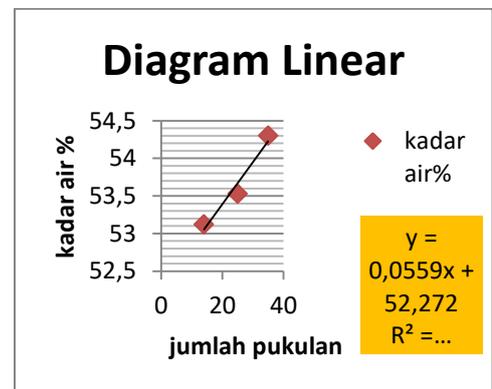
No Sampel	1	2	3
Berat cawan+tanah basah	6.52	7.00	6.55
Berat cawan+tanah kering	6.17	6.53	6.22
Berat cawan	5.34	5.38	5.16
Berat air	0.35	0.47	0.33
Berat tanah kering	0.83	1.15	1.06
Kadar air(%)	42.16	40.86	31.13
Kadar air rata-rata=38.05%			

Dari pengujian batas plastis diatas didapatkan nilai kadar air rata-rata adalah 38.05%.

$$IP=(LL-PL)$$

$$IP=(56.65-38.05)\%$$

$$IP=18.6\%$$



Gambar 9. Grafik hubungan Kadar Air dengan Jumlah Ketukan.

Tabel 7. Indeks plastisitas tanah lempung

IP	SIFAT	MACAM TANAH	KOHESI
0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesif
<7	Plastis Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
Jul-17	Plastis Sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
>17	Plastis Tinggi	Lempung	Kohesif

Dari tabel 11 tersebut dapat dilihat bahwa indeks plastisitas >17 artinya tanah lempung tersebut mempunyai sifat plastis tinggi dengan kohesi kohesif

2) Kuat Geser Langsung

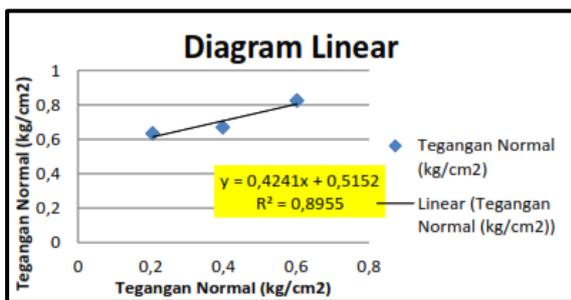
Pengujian kuat geser langsung ditujukan untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (Φ). Perhitungan nilai kuat uji geser langsung tanah membutuhkan data uji labor yang didapat dari pembacaan dial alat kuat geser

langsung. Hasil pengujian kuat geser langsung sampel batuan dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini:

Tabel 8. Hasil Pengujian Kuat Geser Langsung

No	Tegangan Normal (kg/cm ²)	Tegangan Normal (Kn/m ²)	Tegangan Normal (kg/cm ²)	Tegangan Geser (kN/m ²)
1	0,2060	20,20	0,6339	62,16
2	0,3987	39,09	0,6698	65,27
3	0,6022	59,05	0,8240	80,80

Dari hasil perhitungan berdasarkan tabel 8 diatas, diperlukan kembali perhitungan untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) pada tanah dapat dilihat pada gambar 15 dibawah ini:



Gambar 10. Grafik Hasil Uji Kuat Geser

Dari grafik di atas sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk antara tegangan geser dan tegangan normal yaitu 22.98° dan nilai kohesi nya adalah 22.98 kPa.

2. Parameter Pengujian Batuan

a. Sifat Fisik Batuan

Pengujian sifat fisik batuan bertujuan untuk mengetahui berapa nilai dari kekuatan alami batuan. Dalam pengujian sifat fisik batuan yang dilaksanakan, didapat nilai sifat fisik batuan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai bobot isi asli, bobot isi kering dan nilai bobot isi jenuh batuan. hasil pengukuran bobot isi batuan seperti tabel 9 dibawah ini:

Tabel 9. Data Hasil Analisis Sifat Fisik Batuan Sandstone

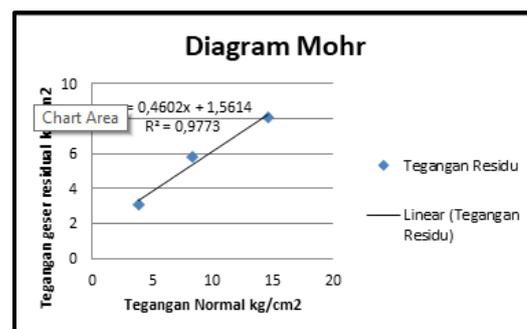
kode Sampel	Berat Asli (Wn) (gr)	Berat Jenuh (Ww) (gr)	Berat Melayang (Ws) (gr)	Berat Kering (Wo) (gr)	Bobot isi asli (gr/cm ³)	Bobot isi kering (gr/cm ³)	Bobot isi jenuh (gr/cm ³)
W-I	55.16	55.71	31.74	55.10	2.30	2.29	2.32
W-II	55.10	55.15	30.88	55.05	2.37	2.28	2.29
W-III	48.42	49.22	29.98	48.32	2.10	2.51	2.58
Rata-rata					2.25	2.36	2.39

b. Sifat Mekanik Batuan

Pengujian sifat mekanik batuan ini dilakukan dalam dua bentuk pengujian, yaitu kuat geser langsung batuan. Pengujian sifat mekanik ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pertambangan Universitas Negeri Padang.

Tabel.10 Hasil Uji Geser Langsung

No Sampel	Tegangan Normal (kg/cm ²)	Tegangan Geser Residual (kg/cm ²)
I	3.85	3.08
II	8.33	5.83
III	14.58	8.09

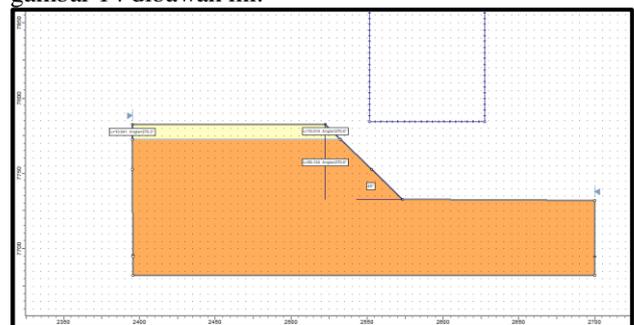


Gambar 11 . Diagram Uji Geser Langsung

Dari diagram tersebut didapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam dimana nilai kohesi batu pasir (sandstone) 0.143 Mpa dan nilai dan sudut geser dalam (Φ) adalah 24.71°

3. Permodelan Lereng

Pemodelan lereng pada area 8. dilakukan untuk mengetahui kemantapan lereng yang didesain berdasarkan data parameter geoteknik yang didapatkan dari pengujian sampel tanah dan batuan pada daerah penelitian yang berguna untuk mengetahui kondisi aktual dari lereng tersebut. Pemodelan 2D dari kondisi geometri aktual lereng pada daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 14 dibawah ini.



Gambar 12. Geometri Aktual Lereng Area 8 PT. Dairi Prima Mineral

2.4. Data Spesifikasi Anchor Bolt

Data hasil spesifikasi *Anchor Bolt* yang dipergunakan di area 8 secara aktual berdasarkan hasil survei penulis adalah dapat dilihat pada tabel 11. Berikut.

Tabel 11. Spesifikasi Anchor Bolt

Spesifikasi Anchor Bolt	Nilai
Jarak antar lubang	3 m
Diameter anchor Bolt	0.13 m
kedalaman bolt	0.13 m
nilai kuat tekan standar (Fy)	390N/mm ²
Panjang anchor bolt	9 m
nilai kuat tarik (Fyk)	300 N/mm ²
Kelas Baja Tulangan (anchor bolt)	bjtp (Bjts 40)

2.5 Data Spesifikasi Kisi Beton (Concrete Crib)

Data hasil spesifikasi Beton Kisi (*concrete crib*) yang dipergunakan di area 8 secara aktual berdasarkan kebutuhan di area 7 maka dari itu berdasarkan hasil survei penulis di lapangan dapat dilihat pada tabel 12. Berikut.

Tabel 12. Spesifikasi Beton Kisi (*Concrete Crib*)

Spesifikasi Perlindungan Beton Kisi	Nilai
Ukuran dimensi kisi beton	(40 x 40)cm
Luas penampang beton	0.16 m ²
Jenis Semen Yang Digunakan	Portland
Tingkat Kekuatan Semen	42.5 Mpa
Kuat Tekan Beton	32.58 Mpa
Masa Jenis Beton Bertulang	2400 kg/m ³
rasio air dan semen grouting	0.50:1
tekanan pada semen	1Mpa

3. Hasil dan Pembahasan

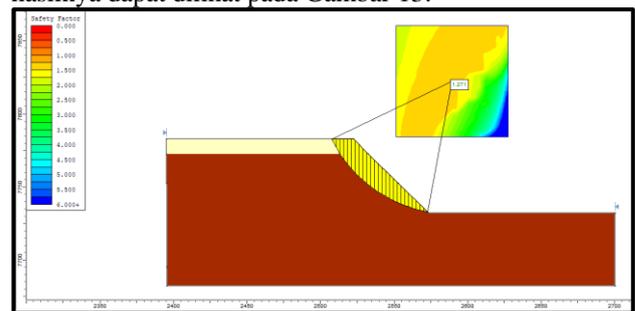
3.1 Analisis Kestabilan Lereng Aktual

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada bulan Juli 2021, diketahui geometri aktual lereng Area 8 PT. Dairi Prima Mineral memiliki ketinggian lereng tunggal (*single slope*) yaitu 50 m dengan sudut kemiringan sebesar 45⁰. Hasil analisis lereng dalam keadaan natural menggunakan metode *Simplified Janbu* nilai faktor keamanan (FK) didapat sebesar 1,271 kondisi natural dan kondisi jenuh didapatkan faktor keamanan (FK) sebesar 1.232. Hasil pengolahan analisis lereng dengan menggunakan software *Rocscience Slide V.06* untuk lereng dalam keadaan natural dan kering dapat dilihat pada gambar 13 dan 14 dibawah ini.

3.1.1 Analisis Kestabilan Lereng Aktual

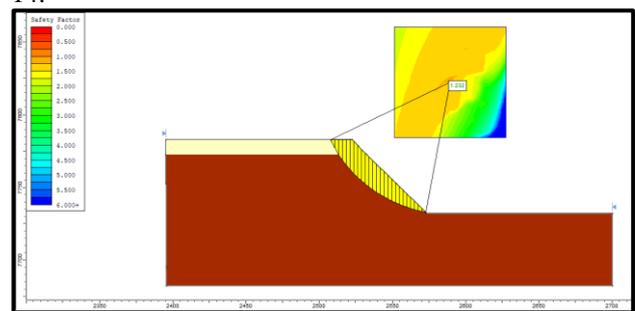
Berikut merupakan kondisi awal lereng tanpa menggunakan perkuatan atau kondisi lereng aktual di lokasi penelitian dengan data parameter geoteknik hasil uji laboratorium sebagai berikut. Untuk melihat keamanan dari lereng untuk kondisi natural dan kondisi jenuh, berikut merupakan hasil yang dimodelkan dengan menggunakan *software* untuk kondisi lereng tersebut, analisis tersebut dengan menambahkan *bench* pada lereng dengan merubah sudut pada lereng dengan tujuan keamanan terhadap lereng.

Berdasarkan Bobot isi yang digunakan dalam menganalisis yaitu bobot isi natural. Hasil analisis faktor keamanan lereng tersebut adalah 1,271 yang artinya lereng tersebut berada dalam kondisi tidak stabil dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil Analisis Lereng Aktual Kondisi Natural Menurut Metode *Simplified Janbu*

Selanjutnya Bobot isi yang digunakan dalam menganalisis yaitu bobot isi jenuh. Hasil analisis faktor keamanan lereng tersebut adalah 1,232 yang artinya lereng tersebut juga masih berada dalam kondisi tidak aman atau kritis. dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Hasil Analisis Lereng Aktual Kondisi Jenuh Menurut Metode *Simplified Janbu*

Dari hasil analisis kestabilan lereng berikut merupakan nilai Faktor Keamanan lereng aktual dilapangan dapat dilihat pada tabel 13 berikut.

Tabel 13. Faktor Keamanan Aktual

Tinggi Lereng	Sudut Lereng	Nilai Faktor Keamanan	
		Natural	Jenuh
50 m	45°	1,271	1,232

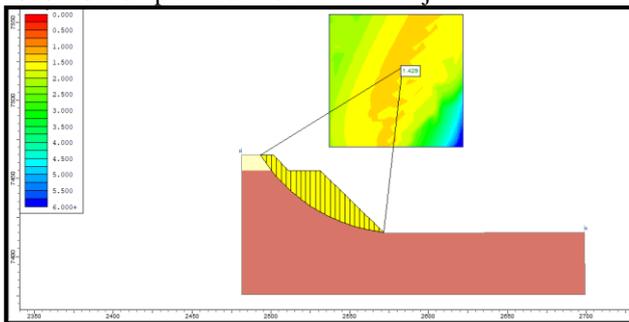
Dari tabel 13 diatas dalam kondisi Natural dan kondisi jenuh, faktor keamanan pada lereng aktual memiliki nilai $FK \leq 1.5$ artinya lereng dalam kondisi

aktual belum stabil dan masih dalam kondisi kritis, artinya lereng tersebut perlu dianalisis lebih lanjut dengan merubah geometri lereng, baik itu menambahkan *bench* pada lereng ataupun dengan memberi perkuatan pada lereng agar lebih aman dan stabil.

3.2 Rekomendasi Geometri Lereng

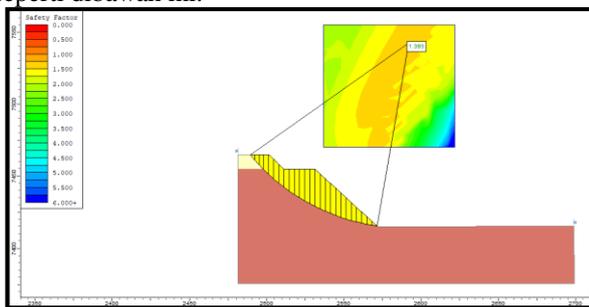
Dilihat pada kondisi lereng aktual yang mempunyai nilai $FK = 1,271$ dengan kondisi natural dan $FK = 1,232$ pada kondisi jenuh yang berarti lereng tersebut dalam keadaan belum aman atau belum stabil, maka dari itu penulis merekomendasikan lereng dengan model *double bench* yang diharapkan akan menjadi solusi untuk membuat lereng menjadi aman

Berikut merupakan gambar 15 dan 16 lereng *double bench* pada kondisi natural dan jenuh.



Gambar 15. Hasil Analisis Lereng *Double Bench* Dalam Kondisi Natural

Selanjutnya hasil analisis dengan kondisi jenuh dengan $FK 1,393$ dengan material lempung (*clay*) dan batupasir (*sandstone*) dengan lebar bench (1) 20 meter dan tinggi 10 meter, dan lebar bench (2) 127 meter dan tinggi 40 meter dan sudut *overall* 45° . Hasil input data dengan kondisi kering pada lereng dapat dilihat pada gambar 16 seperti dibawah ini.



Gambar 16. Hasil Analisis Lereng *Double Bench* Dalam Kondisi Jenuh.

Dilihat dari model lereng secara *overall slope* dengan parameter geoteknik tanah dan batuan yang sudah diuji di laboratorium maka didapatkan nilai Faktor keamanan lereng kondisi natural $1,429$ dan kondisi jenuh $1,393$ hal ini dapat disimpulkan lereng dalam kondisi belum stabil atau kritis dengan jangka panjang menurut **SNI 8470-2017**, maka dari itu perlu dilakukan perkuatan untuk $FK \geq 1.5$ untuk lereng permanen dan digunakan jangka panjang untuk mengantisipasi lereng berpotensi kelongsoran.

Berikut merupakan tabel analisis simulasi nilai faktor keamanan (FK) pada lereng model tunggal 1 dan 2

Tabel 14. Faktor Keamanan Aktual

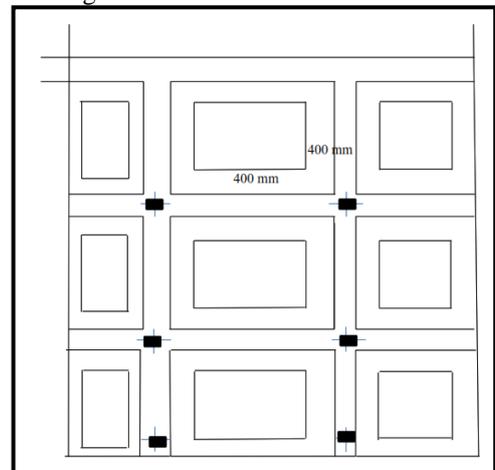
materials	ketinggian	Sudut lereng	Lereng	Nilai Faktor Keamanan	
				Natural	Jenuh
Tunggal 1	10 m	45°	Tunggal 1	1,394	1,355
Tunggal 2	40 m	45°	Tunggal 2	1,273	1,239
<i>Overall Materials</i>	50	36°	<i>Overall slope</i>	1,429	1,393

Dilihat dari tabel diatas, apabila dengan ketinggian lereng 10 m dengan material tanah lempung dengan sudut 45° maka $FK = 1,355$ pada kondisi jenuh yang berarti lereng tersebut dalam kondisi kritis atau tidak stabil, sedangkan untuk ketinggian 40 meter dengan material batupasir dengan sudut 45° maka $FK = 1,239$ pada kondisi jenuh. Untuk membuat desain lereng yang lebih aman maka perlu membuat desain lereng dengan model *double bench*, dari analisis *double bench* tersebut didapatkan nilai $FK = 1,393$ dari analisis tersebut FK lereng *double bench* belum memenuhi syarat untuk Faktor keamanan menurut **SNI 8470-2017** dengan $FK \geq 1,5$, maka dari itu perlu dilakukan perkuatan pada lereng tersebut dengan rekomendasi lereng *double bench* untuk lereng lebih aman dengan lereng permanen.

3.3 Analisis Faktor Keamanan Lereng Setelah Diberi Anchor Bolt dan Kisi Beton (*Concrete Crib*)

3.3.1 Perhitungan Kisi Beton (*Concrete Crib*)

1. Perhitungan Berat Beton dan Massa Jenis Beton bertulang



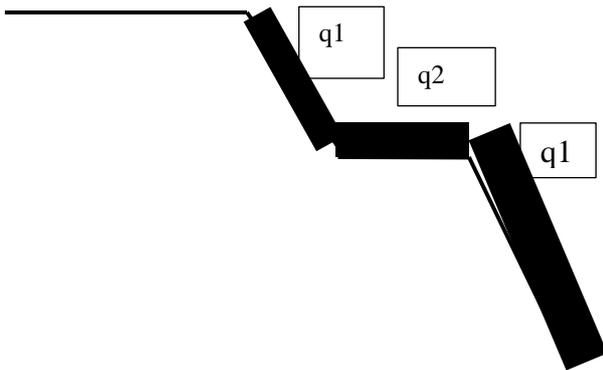
Gambar 17. Contoh Kisi Beton pada lereng

a. Volume Balok

$$\text{Volume Balok} = 0.4 \times 0.4 \times 1 = 0.16 \text{ m}^3$$

b. Berat Balok Beton $= 0.16 \text{ m}^3 \times 2,400 \text{ kg/m}^3 = 384 \text{ kg}$

2. Perhitungan Berat Beton Pada Lereng



Gambar 18. Contoh kisi beton pada lereng

Maka dari itu berat beton pada lereng:

$$q1 = 384 \text{ kg/m} \times \sin 45^\circ / 0,4 \text{ m}^2$$

$$q1 = 384 \text{ kg/m} \times 0,707 / 0,4 \text{ m}^2$$

$$q1 = 678,72 \text{ kg/m}^2 \text{ atau } 6,78 \text{ kN/m}^2$$

$$q2 = 384 \text{ kg/m} / 0,4 \text{ m}^2$$

$$q2 = 960 \text{ kg/m}^2 \text{ atau } 9,6 \text{ kN/m}^2$$

- Kuat Tarik Anchor Bolt yang Tersisa Atas Beban Yang didapatkan Pada Lereng

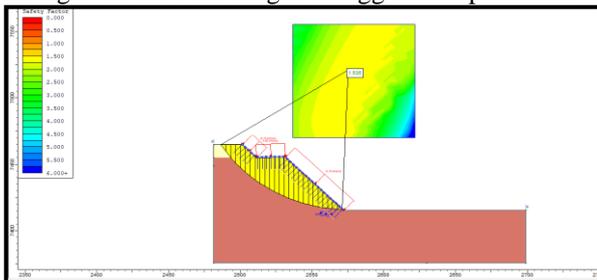
$$\sigma_p = 605,453.0462 \text{ N/m}^2 - 300,000 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_p = 305,453.04 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_p = 305,45 \text{ Kn/m}^2$$

3.3.1 Perhitungan Kisi Beton (Concrete Crib)

Berikut merupakan gambar lereng dalam kondisi jenuh dan tabel nilai faktor keamanan (FK) analisis lereng *double bench* dengan menggunakan perkuatan.



Gambar 4. Faktor Keamanan *Double Bench* Setelah diberi Perkuatan

Dari gambar diatas lereng *double bench* setelah diberi perkuatan nilai FK nya bertambah menjadi **1,535** pada kondisi jenuh, hal ini sudah lebih aman dibandingkan sebelum menggunakan perkuatan dengan panjang angkur 9 meter dan jarak angkur 3 meter. Berikut merupakan tabel hasil simulasi nilai FK menggunakan perkuatan.

Tabel 15. Tabel Simulasi Nilai FK Menggunakan Perkuatan

materials	ketinggian	Beban	Sudut lereng	Lereng	Nilai Keamanan	
					Natura 1	Jenuh
Tunggal 1	10 m	6,78 kN/m ²	45°	Tunggal 1	3,098	2,098
Tunggal 2	40 m	6,78 kN/m ²	45°	Tunggal 2	1,504	1,458
<i>Overall Materials</i>	50	6,78, 9,86 kN/m ²	36°	<i>Overall slope</i>	1,601	1,535

3.4 Optimasi Penggunaan Angkur Setelah diberi Perlindungan

Setelah diketahui perlindungan lereng dengan perencanaan perlindungan dengan menggunakan spesifikasi perlindungan sebelumnya pada area 8, ternyata perlindungan pada lereng sudah dalam keadaan stabil dan sangat aman untuk lereng dalam jangka panjang dan lereng permanen, dengan panjang angkur 9 meter dan jarak antar angkur 3 meter dengan FK Pada lereng kondisi jenuh yang dianalisis menggunakan *double bench* dengan FK **1,393**

Dengan melihat kondisi model lereng dalam kondisi aman dan telah sesuai dengan **SNI 8460-2017** dengan faktor keamanan lereng adalah $\geq 1,5$, Maka penulis merekomendasikan untuk lereng area 8 menggunakan panjang angkur 9 m dan jarak antar angkur 3m dengan jumlah angkur 24, dari analisis dan rekomendasi perusahaan untuk penggunaan angkur di area 8 menurut penulis sudah aman dan spesifikasi dapat diterapkan pada area 8.

Tabel 4. Perbandingan FK sebelum diberi perkuatan dan sesudah diberi perkuatan

Faktor Keamanan (FK) sebelum diberi Perkuatan	Faktor Keamanan (FK) setelah diberi perkuatan
<i>Double Bench</i>	<i>Double Bench</i>
1,393	1,535

3.5 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik dan mekanik sampel tanah dan batuan pada lereng area 8 PT. Dairi Prima Mineral diketahui Data sifat fisik yang didapatkan dari pengujian sampel tanah lempung di laboratorium adalah adalah bobot isi natural 17,47 kN/m³ dan bobot isi kering 12,15 kN/m³ dan bobot isi jenuh 20,38 Kn/m³. Kemudian untuk data sifat mekanik yang didapatkan adalah nilai kohesi (c) 53,459 kPa dan sudut geser dalam (σ) adalah 22.98°. Data sifat fisik yang didapatkan

dari pengujian sampel batu pasir di laboratorium adalah bobot isi natural 22.2 kN/m^3 , bobot isi kering 2.36 kN/m^3 dan bobot isi jenuh 2.39 kN/m^3 . Kemudian untuk data sifat mekanik yang didapatkan adalah nilai kohesi (c) 0.143 Mpa dan sudut geser dalam (ϕ) adalah 24.71° .

Hasil analisis Nilai FK berdasarkan parameter uji sifat fisik (bobot isi) dan sifat mekanik (kohesi dan sudut geser dalam) tanah dan batuan dengan geometri lereng aktual sebelum diberikan perlindungan dengan kondisi Natural 1.271 dan kondisi Jenuh 1.232 menurut metode *Simplified Janbu*.

Rekomendasi lereng dengan menggunakan *double bench* memiliki nilai faktor keamanan dengan lereng jenuh dengan FK **1,393** selanjutnya Nilai FK berdasarkan parameter uji sifat fisik (bobot isi) dan sifat mekanik (kohesi dan sudut geser dalam) tanah dan batuan, dengan rekomendasi geometri lereng *double bench* setelah diberikan perkuatan dengan FK lereng *double bench* adalah **1,535** artinya $FK \geq 1.5$ dari panjang angkur 9 meter dan jarak angkur 3 meter dan optimasi penggunaan angkur berdasarkan analisis menggunakan metode kesetimbangan batas mendapatkan FK dengan jumlah angkur 24, penggunaan angkur sudah sangat aman dengan lereng pada area 8.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan hasil analisa yang dilakukan pada lokasi penelitian area 8 PT. Dairi Prima Mineral, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 4.1.1 Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik Tanah
1. Pengujian sifat fisik Tanah
 - a. Nilai rata-rata bobot isi asli yaitu sebesar $17,47 \text{ Kn/m}^3$
 - b. Nilai rata-rata bobot isi kering yaitu sebesar 10.09 kN/m^3 $12,15 \text{ kN/m}^3$
 - c. Nilai rata-rata bobot isi jenuh yaitu sebesar $20,38 \text{ kN/m}^3$
 2. Pengujian sifat mekanik Tanah
 - a. Nilai indeks plastisitas tanah lempung adalah $17,3\%$
 - b. Nilai kohesi (c) adalah $53,459 \text{ kPa}$
 - c. Nilai sudut geser dalam (ϕ) adalah 22.98°
- 4.1.2 Hasil Pengujian sifat fisik an mekanik batuan
1. Pengujian sifat fisik batuan
 - a. Nilai rata-rata bobot isi asli yaitu sebesar $22,5 \text{ kN/m}^3$
 - b. Nilai rata-rata bobot isi kering yaitu sebesar $23,6 \text{ kN/m}^3$
 - c. Nilai rata-rata bobot isi jenuh yaitu sebesar $23,9 \text{ kN/m}^3$
 - 4.1.2.1 Pengujian sifat mekanik batuan
 - a. Nilai kohesi (c) adalah 0.143 Mpa

b. Nilai sudut geser dalam (ϕ) adalah 24.71°

- 4.1.3 Hasil analisis kestabilan lereng aktual dengan ketinggian lereng yaitu 50 meter dan kemiringannya 71° didapat nilai faktor keamanan (FK) aktual lereng dalam keadaan Natural menurut metode *Simplified Janbu* yaitu sebesar $1,271$ dan nilai faktor keamanan (FK) aktual lereng dalam keadaan jenuh menurut metode *Simplified Janbu* yaitu sebesar 1.232 dan lereng masih dalam keadaan kritis.
- 4.1.4 Hasil analisis nilai FK lereng dengan menggunakan *double bench* memiliki nilai faktor keamanan dengan lereng jenuh dengan FK **1,393**
- 4.1.5 dengan menggunakan perkuatan lereng dan gaya pada beban maka didapatkan faktor keamanan lereng dengan FK 1.535 dengan kondisi jenuh dengan panjang angkur 9 m dan jarak angkur 3 m, artinya dari faktor keamanan lereng tersebut setelah diberi perkuatan, hal ini telah sesuai dengan SNI 8470-2017 dengan FK lereng permanen ≥ 1.5

4.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini, yaitu:

- 4.2.1 Agar hasil lebih akurat perlunya ketelitian saat pengujian di laboratorium.
- 4.2.2 Perlunya langka pemeliharaan, pemantauan dan penanganan pada lereng permanen untuk menjaga agar lereng tetap dalam kondisi aman dan stabil

Daftar Pustaka

- [1] Abidin, H.Z. dan Utoyo, H. (2014): Mineralization of Selected Base Metal Deposits In Barisan Range, Sumatera, Indonesia (Case Study At Lokop, Dairi, Latong Tanjung Balit and Tuboh). Indonesia Mining Jurnal, v. 17, no.1, 122-133.
- [2] Agnes T, Mandagi Dkk, (2019) . Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan soil nailing menggunakan software slide 6.0 (studi kasus: ruas jalan Manado-Tomohon). Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [4] Aldiss, D. T., Whandoyo, R., Ghazali, S. A., dan Kusyono (1983): The Geology of the Sidikalang Quadrangle, Sumatera, Geological Research and Development Centre, Bandung, 43.
- [5] Arif Irwandi. 2016. Geoteknik Tambang. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [6] Barber, A. J., Crow, M. J., dan Milsom, J. (2005): Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution, The Geological

- Society, London, 290. Cut Slopes in Weak Rock Units in Ohio. Environmental and Engineering Geoscience.
- [7] Ermitha Ambun RD, Edgard Londong Allo Dkk, 2020, Studi Perkuatan Lereng Terhadap Kelongsoran Pada Ruas Jalan Tamba Narang, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Toraja
- [8] Felisa Octaviani Lomboan, Ellen J. Kumaat Dkk Pengujian Kuat Tekan Mortar dan Beton Ringan Dengan Menggunakan Agregat Ringan Batu Apung dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [9] Rudy Febrijanto, Riyadi Salim, 2019. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Performance Of Concrete Crib Construction On Soft Rock Slope, Manokwari, Papua Barat.
- [10] Joar Tistel Dkk, Testing and modeling of cyclically loaded rock anchors. Department of Civil and Transport Engineering, Faculty of Engineering, Science and Technology, Norwegian University of Science and Technology (NTNU).
- [11] Laras Laila Lestari, Analisa Kestabilan Tower Sutt PLN Dan Perencanaan Perkuatan Talud Disekitar Tower (Studi Kasus Tower Sutt T.09 Segoromadu-Petrokimia Gresik) Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya. Robert Travolta Butar-Butar, (2013), Evaluasi kestabilan lereng pada tambang terbuka di tambang batu barat Jurusan teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha Bandung
- [12] Laras Laila Lestari. 2016. Thesis: *Analisis Kestabilan Tower SUTT PLN Dan Perencanaan Perkuatan Talud Disekitar Tower (Studi Kasus Tower Sutt T.09 Segoromadu-Petrokimia Gresik)* Surabaya Institut Teknologi Sepuluh November
- [13] M.C. Dia et al. (2007). Optimal evaluation of rock slope stability and design at an Antaibao open coal mine, China. Institut Teknik Geoteknik, Universitas Pertambangan dan Teknologi China (Beijing), Jalan D11 Xuyuan, Distrik Haidian, Beijing 100083.
- [14] Mehmet Yalcın Koca Dkk, Anchor Application In Karatepe Andesite Rock Slope, , jurusan teknik geologi dan sipil, Turkey Ege University,
- [15] Santi, P., 2006, Field methods for characterizing weak rock for engineering, Environmental and Engineering Geoscience, The Geological Society of America, Vol. 12, No. 1, p. 1. Shakoor, A. and Admassu Y. 2016. A Durabilitybased Approach For Designing
- [16] Thyac Korah, (2014). Analisis kestabilan lereng dengan metode janbu (studi kasus : kawasan citraland). Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [17] Vitriana Kumalasari. 2012. Analisis Stabilitas Lereng dengan perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Geoslope. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- [18] Zakri, R. S. (2020). REKOMENDASI KOMPOSISI MATERIAL INJEKSI PENGISI REKAHAN BATUAN, UNTUK MENINGKATKAN KEKUATAN GESER BATUAN BERKEKAR. Sumber, 1(1), 1.
- [20] Zakri, R. S., Prengki, I., & Saldy, T. G. (2020). Hubungan Kuat Tekan Uniaksial dan Kuat Tarik Tidak Langsung Pada Batuan Sedimen Dengan Nilai Kuat Tekan Rendah. Bina Tambang, 5(3), 59-70.