

ANALISIS KESTABILAN LERENG *HIGHWALL* BERDASARKAN NILAI FAKTOR KEAMANAN PADA PT CARITAS ENERGI INDONESIA SITE KBB***ANALYSIS OF HIGHWALL SLOPE STABILITY BASED ON SAFETY FACTOR VALUE AT PT CARITAS ENERGI INDONESIA SITE KBB***M. A. Ramadhan^{*1}, W. Zahar², Ericson³¹⁻³Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi¹⁻³Jl. Jambi-Muara Bulian KM. 15, Mendalo Darat, Kec. Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Jambie-mail: ^{*1}marsialramadhan11@gmail.com**ABSTRAK**

Pertambangan terbuka merupakan metode eksploitasi sumber daya alam yang seluruh aktivitasnya berlangsung di udara terbuka. Proses pengupasan lapisan tanah penutup menghasilkan lereng dengan variasi geometri, baik dari segi kemiringan maupun ketinggian. Perbedaan geometri lereng serta ketidakpastian parameter geoteknik dapat menimbulkan potensi ketidakstabilan lereng, yang berisiko mengganggu kelancaran produksi akibat longsor. PT Caritas Energi Indonesia merupakan perusahaan kontraktor pertambangan batubara *jobsite* PT Karya Bumi Bratama terletak di Kabupaten Sarolangun, Jambi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi nilai faktor keamanan (FK) aktual lereng *highwall* dan memberikan rekomendasi desain geometri lereng yang lebih stabil. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif dengan pendekatan kuantitatif, menggunakan data sifat fisik dan mekanik material penyusun lereng, peta topografi, peta kemajuan pit atau situasi pit, serta dokumentasi visual lereng. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Rocscience Slide 6.0 dengan Metode Bishop yang disederhanakan. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai FK aktual pada *section A-A'* yaitu 0,965, *section B-B'* sebesar 1,048, dan *section C-C'* sebesar 1,191. Berdasarkan hasil tersebut, dilakukan modifikasi desain lereng dengan penambahan *bench* pada lereng *inter-ramp*. Rekomendasi desain menghasilkan peningkatan nilai FK *section A-A'* yaitu 1,143, *section B-B'* sebesar 1,145, serta *section C-C'* yaitu 1,251. Dengan demikian penelitian ini memberikan rekomendasi lereng per *inter-ramp* menjadi *double bench* untuk keamanan nilai FK serta meningkatkan stabilitas lereng untuk memastikan keberlanjutan operasional perusahaan.

Kata kunci: geoteknik tambang, kestabilan lereng, metode bishop yang disederhanakan, FK, Rocscience Slide 6.0

ABSTRACT

Open-pit mining is a method of exploiting natural resources where all activities take place in the open air. The process of stripping the overburden layer produces slopes with varying geometry, both in terms of slope and height. Differences in slope geometry and uncertainty in geotechnical parameters can lead to potential slope instability, which risks disrupting smooth production due to landslides. PT Caritas Energi Indonesia is a jobsite coal mining contractor company PT Karya Bumi Bratama located in Sarolangun Regency, Jambi. This study aims to evaluate the actual safety factor (FK) value of highwall slopes and provide recommendations for more stable slope geometry designs. The research method used is descriptive with a quantitative approach, using data on the physical and mechanical properties of slope constituent materials, topographic maps, pit progress/pit situation maps, and visual documentation of the slope. The analysis was carried out using Rocscience Slide 6.0 software with a Simplified Bishop Method. The results of the analysis show that the actual FK value in section A-A' is 0.965, section B-B' is 1.048, and section C-C' is 1.191. Based on these results, slope design modifications were made by adding benches to the inter-ramp slopes. The design recommendations resulted in an increase in the FK value of section A-A' with a safety factor value of 1.143, section B-B' with a safety factor value of 1.145, and section C-C' with a safety factor value of 1.251. Thus, this study provides recommendations for slopes per inter-ramp to be double bench for the safety of FK values and to increase slope stability to ensure the sustainability of company operations.

Keywords: mining geotechnics, slope stability, bishop simplified method, SF, Rocscience Slide 6.0

PENDAHULUAN

Pertambangan terbuka merupakan metode eksploitasi sumber daya alam yang seluruh aktivitasnya berlangsung di udara terbuka. Metode penambangan terbuka merupakan teknik yang paling umum diterapkan oleh perusahaan pertambangan di Indonesia, terutama dalam kegiatan eksploitasi batubara. Kegiatan awal penambangan adalah proses pengupasan lapisan tanah penutup (*overburden*) untuk mendapatkan endapan bahan galian dan menghasilkan lereng dengan variasi geometri, baik dari segi kemiringan maupun ketinggian. Perbedaan geometri lereng serta ketidakpastian parameter geoteknik dapat menimbulkan potensi ketidakstabilan lereng yang berisiko mengganggu kelancaran produksi akibat longsor [1].

Kondisi longsor pada lereng terjadi apabila gaya pendorong melebihi gaya penahan yang tersedia. Secara kuantitatif, kestabilan lereng dinyatakan melalui nilai faktor keamanan (*safety factor*) [2]. Kuat geser tanah merupakan ketahanan internal yang ditimbulkan oleh rekatan antar butir tanah terhadap gaya geser akibat beban eksternal yang dialaminya [3]. Kekuatan geser tanah ini terdiri atas ketahanan geser antar butir dan kohesi antar butir tanah. Berdasarkan karakteristik ini, tanah umumnya diklasifikasikan menjadi tanah kohesif dan non-kohesif [4]. Longsor lereng umumnya terjadi ketika tanah tidak lagi mampu menahan beban lapisan di atasnya, yang diperparah oleh peningkatan beban dan penurunan kohesi antar butiran [5]. Curah hujan tinggi menjadi salah satu pemicu utama longsor, karena dapat meningkatkan tekanan air pori dalam massa tanah, sehingga menyebabkan pelapukan material lereng yang semula padat menjadi rapuh [6]. Hujan dengan intensitas lebih dari 175 mm/hari atau 70 mm/jam dikategorikan sebagai hujan kritis yang berpotensi memicu longsor [7]. Selain itu, keberadaan air tanah juga berperan signifikan terhadap kestabilan lereng, karena perubahan kadar air dalam tanah dapat memengaruhi kekuatan geser dan tekanan dalam massa tanah [8].

Beberapa faktor penyebab longsor meliputi geometri lereng, kondisi muka air tanah, dan juga berupa beban tambahan (*surcharge load*). Selain itu, ketidakpastian dalam parameter geoteknik yang digunakan dalam desain lereng juga turut meningkatkan risiko ketidakstabilan lereng [1]. Kestabilan lereng menjadi aspek yang sangat penting dalam kegiatan penggalian maupun penimbunan material tanah, karena berkaitan langsung dengan keselamatan manusia (tenaga kerja), perlindungan terhadap peralatan mekanis serta kelancaran proses produksi [9]. Dampak dari longsor tersebut ada kaitannya dengan kegiatan operasional dan biaya ekonomi tambang karena setiap kali longsor yang terjadi sebelum batubara di area lantai tambang (*pit floor*) *mined-out* akan berdampak pada kehilangan batubara (*coal losses*) dan penambahan biaya operasional. Selain itu, aspek keselamatan manusia (tenaga kerja) dan

perlindungan terhadap peralatan mekanis yang berada di bawahnya menjadi hal yang paling utama [10].

Dari observasi lapangan yang dilakukan pada pit 5 PT Caritas Energi Indonesia keadaan lereng *highwall* yang begitu terjal dan hanya ada satu jenjang/*bench* per *inter-ramp* geometri lereng aktual, terdapat longsor dengan skala kecil serta serpihan tanah berjatuh dan berpotensi terjadinya longsor dengan skala besar serta mengganggu jalannya aktivitas penambangan dan menghambat kegiatan operasional. Dalam beberapa tahun ini PT Caritas Energi Indonesia tidak melakukan kajian geoteknik dan tidak memiliki data parameter geoteknik terbaru mengenai kestabilan lereng di area penambangan termasuk pit 5. Untuk mendapatkan kajian parameter geoteknik terbaru dan menghindari terjadinya longsor dengan skala yang lebih besar diperlukan evaluasi perencanaan geoteknik dengan menggunakan parameter data terbaru.

Metode irisan merupakan pendekatan yang paling umum digunakan dalam analisis runtuh lereng bertipe rotasional. Salah satu ciri khas dari metode ini adalah perlunya penentuan atau asumsi awal terhadap geometri bidang gelincir. Untuk mempermudah proses perhitungan, bidang gelincir umumnya diasumsikan berbentuk busur lingkaran [11]. Dalam penelitian ini, digunakan Metode Bishop yang Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*) untuk menganalisis dan memodelkan kestabilan lereng. Metode ini didasarkan pada prinsip kesetimbangan momen serta mempertimbangkan gaya normal antar irisan, sehingga mampu menghasilkan estimasi kestabilan yang mendekati kondisi aktual [5].

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Cahyono (2021) yang membahas lereng *highwall* dengan menyoroti tingkat kejenuhan dalam melakukan analisis kestabilan lereng [8]. Sementara itu, Mahardika, et al. (2017) menekankan pentingnya nilai FK. Nilai FK dianggap sebagai indikator dalam penentuan kestabilan lereng melalui Metode Bishop yang Disederhanakan [12]. Penelitian oleh Syam, et al. (2021) juga memberikan wawasan penggunaan Metode Bishop yang Disederhanakan dan menunjukkan bahwa modifikasi geometri lereng sangat berpengaruh terhadap peningkatan nilai FK dinamis [5]. Dengan demikian penelitian ini tidak hanya memperkuat temuan yang telah ada, tetapi juga memberikan perbandingan terhadap kondisi lereng di lokasi yang berbeda serta memperbarui kajian geoteknik untuk tim *engineering* dalam melakukan evaluasi perencanaan geoteknik.

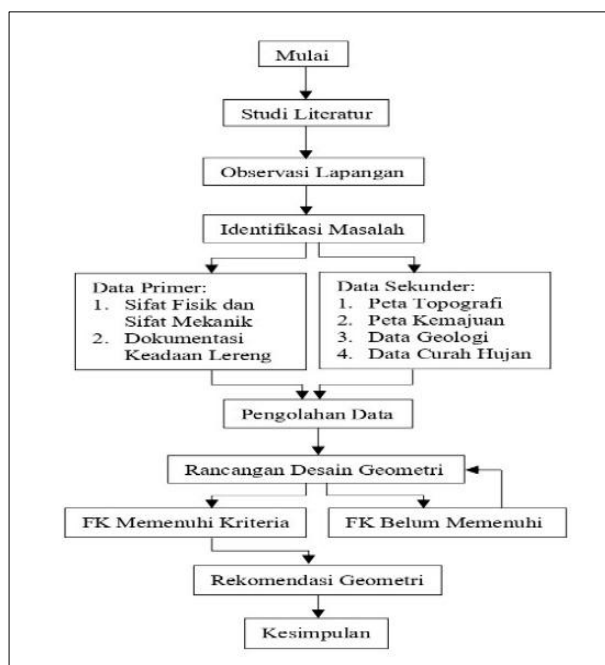
Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis kestabilan lereng *highwall* pit 5, PT Caritas Energi Indonesia berdasarkan nilai faktor keamanan yang berpedoman kepada KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 [13]. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi nilai faktor keamanan (FK) aktual lereng *highwall* dan memberikan

rekomendasi desain geometri lereng yang lebih stabil. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan strategi perencanaan tambang dalam menerapkan *good mining practice*, serta mendukung keberlanjutan operasional penambangan perusahaan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di PT Caritas Energi Indonesia *jobsite* PT Karya Bumi Bratama secara geografis terletak pada $102^{\circ} 45' 00''$ - $102^{\circ} 51' 30''$ BT dan $2^{\circ} 18' 00''$ - $2^{\circ} 26' 00''$ LS. Secara administratif PT Caritas Energi Indonesia terletak di Gunung Kembang, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi. Lokasi lereng *highwall* yang dilakukan penelitian ada pada pit 5. Material penyusun lereng pada pit 5 ini terdapat tiga formasi pembawa batubara (Formasi Air Benakat, Formasi Muara Enim dan Formasi Kasai) dan dua endapan kuartar (Endapan Rawa dan Endapan Alluvium) [14].

Penelitian ini menerapkan metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif, yang merupakan kombinasi antara penggambaran fenomena secara sistematis dan analisis data numerik. Pendekatan ini dipilih untuk mempermudah identifikasi dan pemecahan permasalahan di lokasi penelitian secara terarah, serta mendukung penyusunan laporan penelitian yang lebih terstruktur. Penelitian ini difokuskan hanya menganalisis lereng *highwall* berdasarkan nilai faktor keamanan dengan menggunakan Metode Bishop yang Disederhanakan serta nilai FK yang mengacu kepada KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 [13]. Alur tahapan penelitian yang dilakukan dalam studi ini ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Metode Penelitian

Akuisisi Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini mencakup dua jenis data utama, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan secara langsung melalui kegiatan pengambilan data di lapangan, pengujian laboratorium dan dokumentasi (Gambar 2). Berikut ini merupakan tahapan dalam akuisisi data primer:

1. Data sampel material dikumpulkan untuk mengidentifikasi sifat fisik dan sifat mekanik tanah, yang digunakan sebagai parameter dalam perhitungan faktor keamanan lereng. Pengujian laboratorium dilakukan untuk memperoleh data sifat fisik seperti bobot isi asli (ρ_n), bobot isi kering (ρ_d), berat jenis semu (SG) berat jenis tanah (*true* SG), kadar air asli (w_n), derajat kejenuhan (S), porositas (n) dan angka pori (e). Sementara itu, data sifat mekanik yang diperoleh seperti kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).



Gambar 2. Pengambilan dan Pengujian sampel

2. Dokumentasi keadaan pit sebagai bagian dari pengumpulan bukti visual dan informasi lapangan keperluan data penelitian yang bertujuan untuk melengkapi data teknis serta memberikan gambaran aktual kondisi lokasi penelitian, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Dokumentasi visual pit 5

Data sekunder merupakan data yang telah tersedia dan didapatkan dari *Department Engineering & Production* PT Caritas Energi Indonesia. Data ini digunakan sebagai

pelengkap dan pendukung terhadap data primer yang telah dikumpulkan. Berikut ini merupakan data-data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Peta topografi, digunakan untuk mengamati bentuk permukaan pit 5 sebelum kegiatan penambangan berlangsung.
2. Peta kemajuan pit/situasi pit tambang, digunakan untuk membuat *section* lereng *highwall* aktual. Peta ini diperoleh dari peta kemajuan tambang, sehingga diketahui elevasi tertinggi dan terendah dari area penambangan tersebut secara aktual.
3. Data geologi, digunakan untuk mengetahui gambaran jenis-jenis tanah dan kedalaman dari lapisan tanah penutup (*overburden*) lereng *highwall* area penelitian.
4. Data curah hujan, digunakan sebagai parameter karakterisasi kondisi lereng untuk mengetahui dan memprediksi lereng tersebut jenuh, setengah jenuh atau kering dalam menganalisis kestabilan lereng.

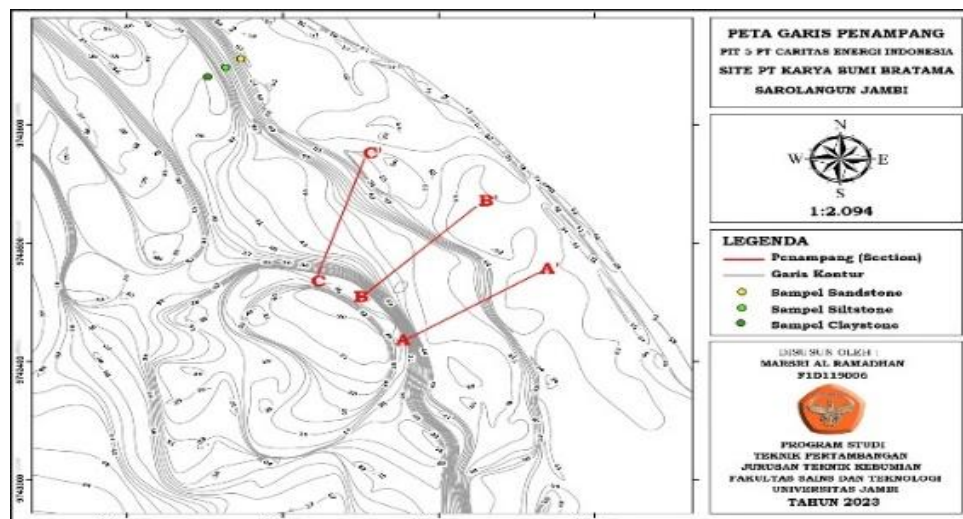
Pengolahan Data

Proses pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggabungkan data primer dan sekunder, yang selanjutnya dianalisis menggunakan Metode Bishop yang Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*) untuk mengevaluasi kestabilan lereng aktual pada periode

Agustus 2023. Analisis ini juga bertujuan untuk menghasilkan rekomendasi teknis selanjutnya, dengan bantuan perangkat lunak Rocscience Slide versi 6.0 sebagai alat bantu pemodelan kestabilan lereng. Berikut ini merupakan tahapan pengolahan data yang dilakukan:

1. Pembuatan *section* lereng *highwall*

Untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng maka perlu dibuat *section* dari lereng tersebut. Data *section* lereng digunakan untuk dapat menganalisis nilai faktor keamanan (FK). *Section* ini harus dapat mewakili keadaan aktual lereng *highwall* di lapangan. Maka ditetapkan posisi dari setiap sayatan yang mana akan menghasilkan *section* dari lereng tersebut. *Section* lereng dibuat dengan *software* Minescape 5.7 sebelum dianalisis. Pembuatan *section* dilakukan dengan membuat beberapa garis *section* pada peta situasi tambang actual. Pada lokasi penelitian pit 5 PT Caritas Energi Indonesia dilakukan pembagian *section* sebanyak tiga, yaitu *section* A-A', B-B', dan C-C' (Gambar 4). *Section* ini akan menghasilkan penampakan lereng secara dua dimensi dari sisi samping. Kemudian akan dilakukan analisis nilai faktor keamanan dari lereng *highwall* tersebut menggunakan perangkat lunak Rocscience Slide 6.0.



Gambar 4. Peta garis *section*

2. Perhitungan nilai faktor keamanan (FK)
Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk mengevaluasi tingkat keamanan lereng terhadap potensi longsor. Metode yang digunakan dalam perhitungan nilai faktor keamanan adalah Metode Bishop yang Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*) yang termasuk dalam kategori metode irisan. Untuk memudahkan dalam melakukan perhitungan dan analisis digunakan perangkat lunak Rocscience Slide 6.0. Perangkat lunak ini menerapkan prinsip-prinsip dari metode irisan yaitu Metode Bishop yang

Disederhanakan dengan batasan nilai faktor keamanan yang mengacu pada KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 [13].

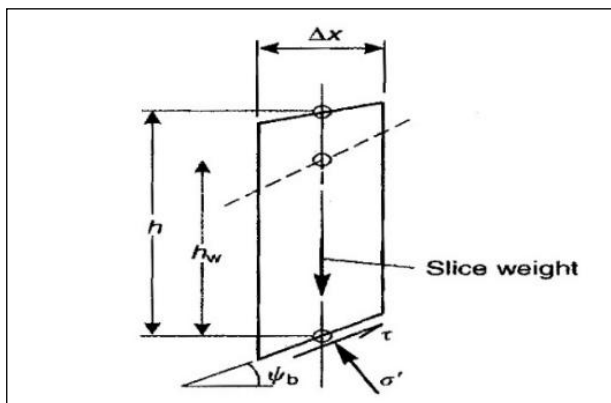
3. Evaluasi kestabilan lereng *highwall*
Tahapan evaluasi ini meliputi penambahan beban dari peralatan mekanis yang beroperasi di sekitar area lereng *highwall* karena terdapat *ramp* di area tersebut serta keadaan air tanah dan curah hujan untuk bisa mengetahui keadaan asli dan dimasukkan dalam analisis kondisi kestabilan lereng tersebut.

4. Rekomendasi geometri lereng *highwall*

Tahapan ini bertujuan untuk merekomendasikan geometri lereng yang memenuhi nilai faktor keamanan yang mengacu pada KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 [13]. Perubahan dilakukan pada geometri lereng yang belum memenuhi nilai faktor keamanan (FK). Perubahan geometri lereng yaitu perubahan lereng keseluruhan (*overall slope*), perubahan sudut lereng tunggal (*bench face angle*), perubahan tinggi jenjang (*bench height*), perubahan lebar jenjang (*bench width*), perubahan jumlah jenjang, dan perubahan jalan tambang/*ramp*. Sehingga pada akhirnya akan diperoleh geometri lereng yang memenuhi kriteria aman/stabil.

Metode Bishop yang Disederhanakan

Metode ini merupakan salah satu pendekatan keseimbangan batas yang banyak digunakan dalam analisis kestabilan lereng karena keunggulannya dalam hal kesederhanaan perhitungan, efisiensi waktu, serta ketelitian hasil estimasi faktor keamanan. Metode ini mengasumsikan bahwa gaya geser antar irisan diabaikan (diasumsikan nol) dan bidang gelincir berbentuk busur lingkaran. Kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi oleh metode ini meliputi keseimbangan gaya vertikal pada setiap irisan dan keseimbangan momen terhadap pusat lingkaran bidang runtuh (Gambar 5). Namun metode ini tidak memenuhi keseimbangan gaya dalam arah horizontal [15].



Gambar 5. Gaya bekerja pada Metode Bishop [16]

Adapun beberapa asumsi dasar dalam metode ini antara lain [12]:

1. Longsoran diasumsikan terjadi akibat gerakan rotasi dari tanah yang berbentuk busur lingkaran. Metode ini juga bisa digunakan untuk menghitung faktor keamanan dari sebuah longsoran yang tidak berbentuk busur lingkaran.
2. Gaya normal dianggap bekerja di tengah bidang irisan dan diperoleh dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah vertikal. Metode Bishop memenuhi asumsi

sebagai berikut; lebih umum digunakan dan keseimbangan gaya normal, memenuhi keseimbangan momen, menganggap gaya antar irisan adalah gaya normal dan berlaku untuk semua bentuk permukaan bidang longsor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Istilah *sandstone*, *siltstone*, *claystone* maupun *mudstone* umumnya digunakan untuk mendeskripsikan ukuran partikel berdasarkan batasan ukuran butir yang telah ditetapkan. Namun demikian, istilah tersebut juga sering dipakai untuk menggambarkan karakteristik khusus dari material [17]. Berdasarkan hasil pengujian sampel material penyusun lereng *highwall* yang dilakukan di Laboratorium Teknik, Universitas Batanghari, Jambi didapatkan sifat fisik material seperti nilai bobot isi asli (ρ_n), bobot isi kering (ρ_d), berat jenis semu (SG) berat jenis tanah (*true SG*), kadar air asli (W_n), derajat kejenuhan (S), porositas (n) dan angka pori (e). Rincian lengkap mengenai sifat fisik material tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil data sifat fisik

Litologi	Sandstone	Siltstone	Claystone
ρ_n (gr/cm ³)	1,71	1,70	1,72
ρ_d (gr/cm ³)	1,36	1,21	1,46
SG	2,63	2,46	2,61
<i>True SG</i>	2,62	2,46	2,61
W_n (%)	27,10	41,29	20,95
S (%)	73,00	96,27	58,31
n (%)	48,05	50,90	43,97
e	0,93	1,04	0,78

Selain dipengaruhi oleh sifat fisik, kestabilan lereng juga ditentukan oleh sifat mekanik material, khususnya kuat geser (*shear strenght test*) yang dinyatakan dengan parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) [18]. Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel/butir material, sedangkan sudut geser dalam menggambarkan sudut rekahan yang terbentuk ketika material menerima tegangan melebihi kapasitas gesernya. Semakin besar nilai sudut geser dalam, semakin tinggi kemampuan material untuk menahan tegangan eksternal [19].

Hasil dari pengujian sifat mekanik pada setiap sampel memberikan gambaran kekuatan mekanik dari setiap material yang terdapat pada lokasi penelitian, kemudian digabungkan dengan data sifat fisik untuk kelengkapan data dalam pengolahan menggunakan perangkat lunak Rocscience Slide 6.0. Hasil yang mengintegrasikan sifat fisik dan mekanik ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data sifat fisik dan sifat mekanik

Sampel	GT-01	GT-02	GT-03
Litologi	Sandstone	Siltstone	Claystone
Bobot isi (KN/m ³)	16,77	16,67	16,87
Kohesi (KN/m ²)	14,70	34,32	11,76
Sudut geser dalam (°)	27,29	33,32	35,71

Garis Penampang (Section)

Geometri lereng yang dianalisis dalam penelitian ini merepresentasikan kondisi aktual lereng *highwall* pada periode Bulan Agustus 2023. Detail koordinat garis penampang (*section*) ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Koordinat *section*

Section	Koordinat X (°)	Koordinat Y (°)
A	254679	9743419
A'	254763	9743474
B	254653	9743458
B'	254723	9743531
C	254622	9743473
C'	254652	9743571

Analisis Lereng *Highwall* Aktual

Analisis kestabilan lereng dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Metode Bishop yang Disederhanakan, sedangkan proses perhitungan dan pemodelan diselesaikan melalui perangkat lunak Rocscience Slide 6.0. Penentuan nilai faktor keamanan mengacu pada ketentuan KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 [13], dengan kriteria penerimaan untuk lereng *inter-ramp* yaitu FK statis $\geq 1,15$ -1,2 dan FK

dinamis $\geq 1,0$. Geometri lereng aktual beserta sudut kemiringannya ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Geometri aktual lereng *highwall*

Section	A-A'	B-B'	C-C'
High overall (m)	26	27	27
Overall slope (°)	22°	23°	16°
High Inter-ramp (m)	18	15	14
Inter-ramp slope (°)	59°	56°	42°

Analisis Section A-A'

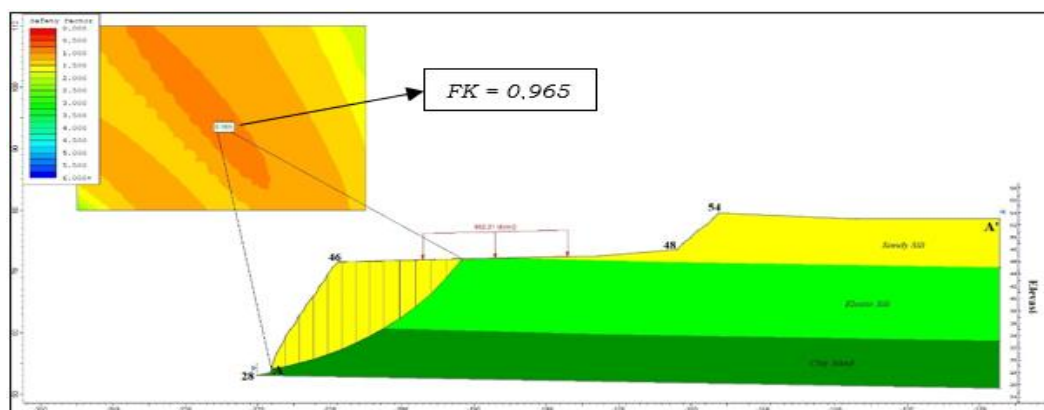
Hasil analisis terhadap kondisi aktual lereng menunjukkan bahwa lereng *highwall inter-ramp* berada dalam keadaan tidak stabil dengan nilai faktor keamanan sebesar 0,965. Nilai tersebut belum memenuhi kriteria kestabilan lereng *inter-ramp*, karena berada di bawah ambang batas FK dinamis $\geq 1,0$. Visualisasi hasil analisis pada *section* A-A' ditampilkan pada Gambar 6.

Analisis Section B-B'

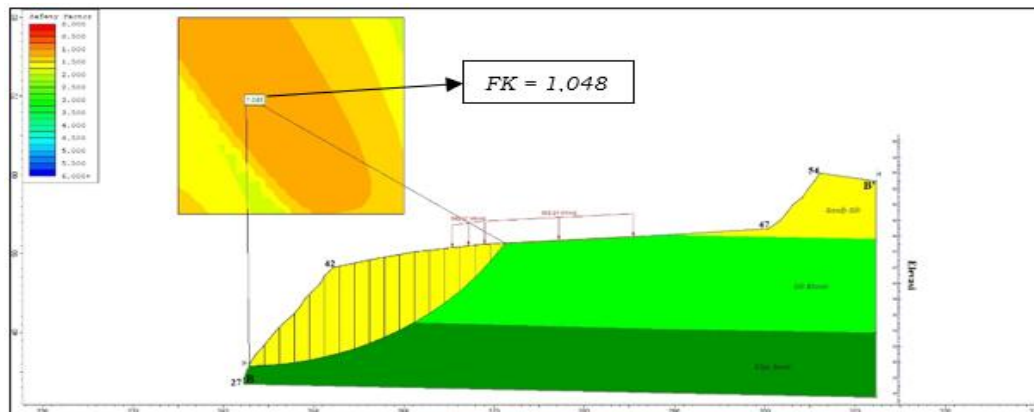
Hasil analisis terhadap kondisi aktual lereng menunjukkan bahwa lereng *highwall inter-ramp* berada dalam keadaan stabil dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,048. Nilai tersebut telah memenuhi kriteria kestabilan lereng *inter-ramp*, karena berada di atas ambang batas FK dinamis $\geq 1,0$. Visualisasi hasil analisis pada *section* B-B' ditampilkan pada Gambar 7.

Analisis Section C-C'

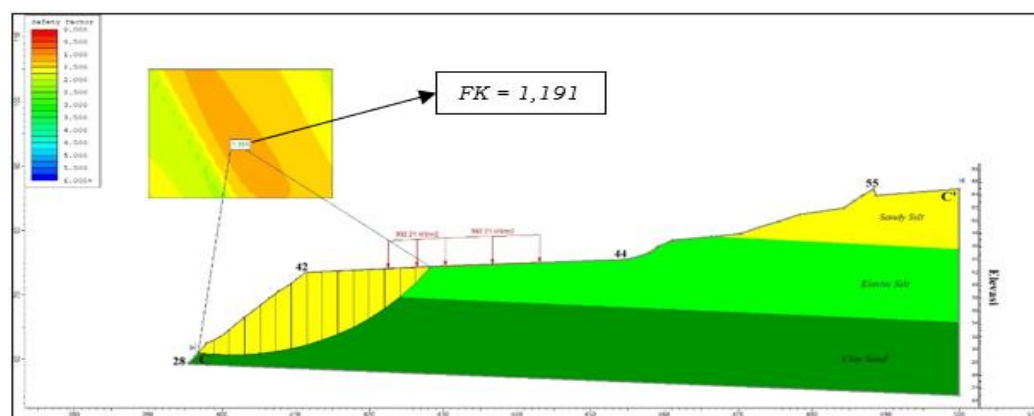
Hasil analisis terhadap kondisi aktual lereng menunjukkan bahwa lereng *highwall inter-ramp* berada dalam keadaan stabil dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,191. Nilai tersebut telah memenuhi kriteria kestabilan lereng *inter-ramp*, karena berada di atas ambang batas FK dinamis $\geq 1,0$. Visualisasi hasil analisis pada *section* C-C' ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 6. Analisis *section* A-A'



Gambar 7. Analisis section B-B'



Gambar 8. Analisis Section C-C'

Rekomendasi Geometri Lereng Highwall

Lereng merupakan permukaan tanah yang terbentuk dengan kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal. Secara umum, lereng dapat terbentuk secara alami maupun hasil rekayasa buatan [20]. Geometri lereng meliputi tinggi lereng, sudut kemiringan lereng dan lebar lereng, baik itu lereng tunggal maupun lereng keseluruhan [21]. Dalam rekomendasi penelitian ini, setiap lereng *highwall* pada *inter-ramp* dirancang dengan dua jenjang/*double bench*. Adapun *request level* (RL) untuk *ramp* ditetapkan pada RL 46 di area *highwall*. Penentuan lebar *ramp* mengikuti ketentuan perusahaan, yaitu minimal 3,5 kali lebar alat angkut terbesar. Dengan alat angkut SANY SKT80S yang memiliki lebar 4 meter, maka lebar *ramp* yang digunakan adalah 14 meter. Rekomendasi geometri lereng beserta sudut kemiringannya ditampilkan pada Tabel 5.

Rekomendasi Section A-A'

Simulasi rekomendasi *section A-A'* lereng *highwall* menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan bertambah yaitu 1,143. Analisis ini mengindikasikan bahwa lereng *highwall inter-ramp* telah memenuhi kriteria kestabilan. Selain itu, jumlah *bench* per *inter-ramp*

direkomendasikan menjadi dua jenjang/ *double bench*, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 9.

Tabel 5. Geometri rekomendasi lereng *highwall*

Section	A-A'	B-B'	C-C'
High overall (m)	26	27	27
Overall slope (°)	22°	23°	16°
High Inter-ramp (m)	18	15	14
Inter-ramp slope (°)	42°	42°	40°

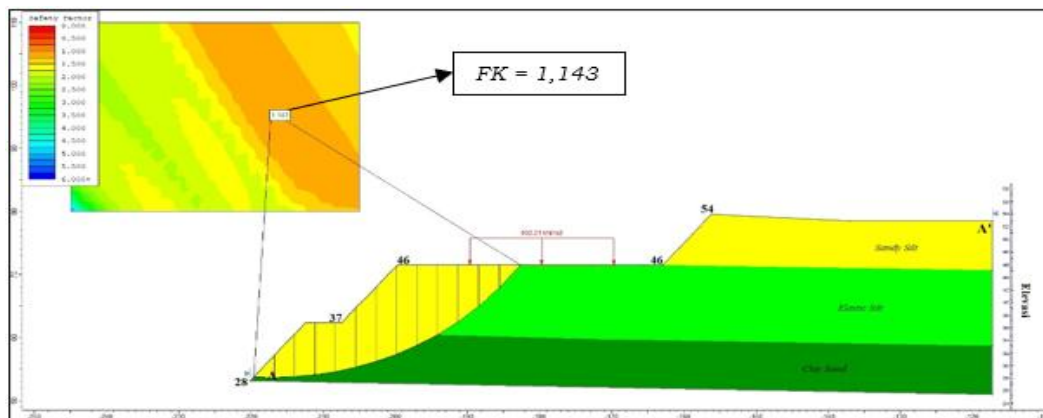
Rekomendasi Section B-B'

Hasil simulasi pada *section B-B'* juga memperlihatkan peningkatan nilai faktor keamanan yaitu 1,145. Lereng *highwall inter-ramp* pada *section* ini memenuhi kriteria kestabilan, dengan rekomendasi penambahan jumlah *bench* menjadi dua jenjang/*double bench*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10. Meskipun sebelumnya *section B-B'* telah memenuhi nilai FK stabil, rekomendasi terbaru dilakukan untuk menyesuaikan desain dengan *section A-A'*.

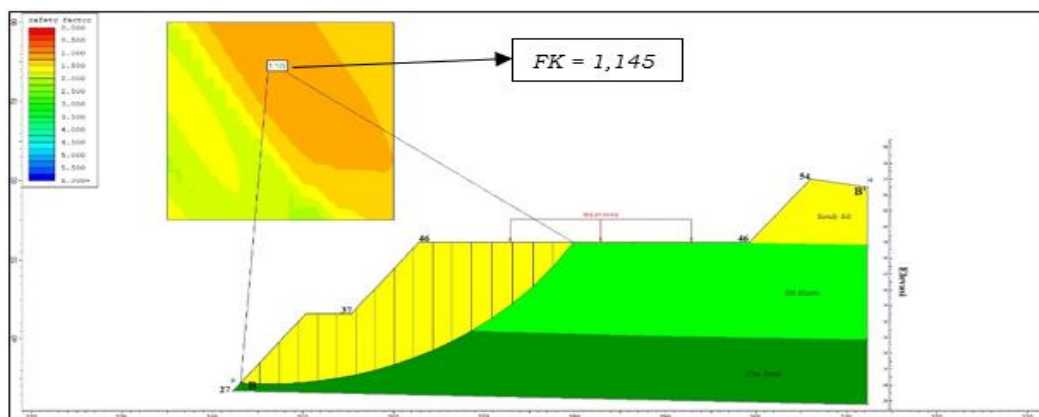
Rekomendasi Section C-C'

Simulasi pada *section C-C'* menghasilkan peningkatan nilai faktor keamanan hingga mencapai FK sebesar 1,251. Lereng *highwall inter-ramp* pada *section* ini dinyatakan stabil, dengan rekomendasi penambahan jumlah *bench* menjadi dua jenjang/*double bench*, sebagaimana

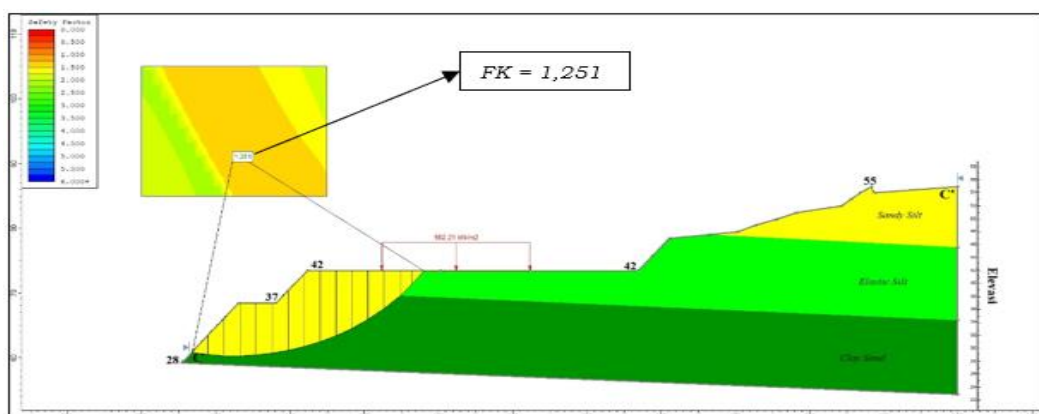
ditampilkan pada Gambar 11. Walaupun sebelumnya *section C-C'* telah memenuhi kriteria kestabilan, rekomendasi terbaru tetap dilakukan untuk penyesuaian desain. Pada *section* ini juga dilakukan penurunan elevasi *ramp* sesuai dengan permintaan tim *engineering* PT Caritas Energi Indonesia.



Gambar 9. Rekomendasi *section A-A'*



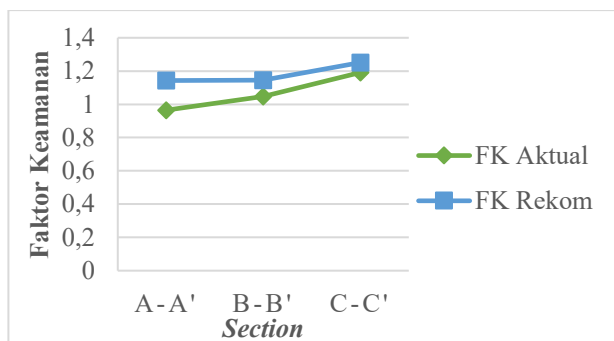
Gambar 10. Rekomendasi *section B-B'*



Gambar 11. Rekomendasi *section C-C'*

Perbandingan Nilai Faktor Keamanan

Hasil analisis kestabilan lereng aktual digunakan untuk menilai apakah kondisi lereng telah memenuhi kriteria kestabilan sesuai dengan ketentuan mengacu KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 [13]. Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng *highwall* aktual menunjukkan hanya *section A-A'* (FK 0,965) yang belum memenuhi kriteria sebagai lereng *inter-ramp* stabil, sedangkan *section B-B'* (FK 1,048) dan *section C-C'* (FK 1,191) memenuhi kriteria sebagai lereng *inter-ramp* stabil. Kemudian dilakukan modifikasi geometri lereng didapatkan nilai FK hasil rekomendasi pada *section A-A'* yaitu 1,143, untuk *section B-B'* sebesar 1,145 dan *section C-C'* sebesar 1,251. Kedua *section* tersebut juga dilakukan modifikasi geometri untuk penyesuaian desain lereng rekomendasi dengan *section A-A'*. Perbandingan antara nilai FK aktual dan nilai FK hasil rekomendasi ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram perbandingan nilai FK

KESIMPULAN

Kestabilan lereng *highwall* pada area pit 5, PT Caritas Energi Indonesia sangat dipengaruhi oleh geometri lereng dan parameter geoteknik. Melalui analisis kestabilan lereng menggunakan Metode Bishop yang Disederhanakan, penelitian ini berhasil mengidentifikasi beberapa *section* yang menunjukkan lereng *highwall* dalam kondisi kritis dan ada yang sudah mengalami longsoran dengan skala kecil di lapangan. Kemudian dari beberapa *section* tersebut dapat jadi acuan dalam memberikan rekomendasi geometri lereng *highwall* terbaru. Hasil analisis aktual pada *section A-A'* nilai faktor keamanan yaitu 0,965, *section B-B'* sebesar 1,048, dan *section C-C'* yaitu 1,191. Kemudian dilakukan modifikasi rekomendasi geometri dengan penambahan jenjang atau *bench* pada lereng *inter-ramp* didapatkan *section A-A'* dengan nilai faktor keamanan 1,143, *section B-B'* nilai faktor keamanan 1,145, serta *section C-C'* dengan nilai faktor keamanan 1,251. Berdasarkan hasil tersebut, penerapan rekomendasi lereng per *inter-ramp* jadi *double bench* untuk keamanan nilai FK yang lebih tinggi dari sebelumnya sehingga memastikan lereng dalam kategori aman dan stabil.

Perlu dilakukan pemantauan dan evaluasi terhadap geometri lereng *highwall* yang telah diterapkan secara berkala di lapangan. Kemudian faktor hidrologi, hidrogeologi, serta pengaruh waktu juga sangat mempengaruhi daya tahan nilai faktor keamanan lereng. Oleh karena itu, hasil penelitian ini tidak hanya berkontribusi terhadap penerapan praktik penambangan yang aman sesuai prinsip *good mining practice*, tetapi juga memastikan keberlanjutan operasional perusahaan. Dalam penelitian seperti ini ke depannya, disarankan untuk melakukan pembaruan data parameter geoteknik, menambahkan metode analisis kestabilan lereng lainnya sebagai pembanding *output*, serta mempertimbangkan aspek keekonomisan tambang dalam penentuan geometri lereng hasil modifikasi untuk meningkatkan akurasi dan kualitas perencanaan geoteknik dan desain pit penambangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasan, B. M., & Heriyadi, B. (2019). Analisis Balik Kestabilan Lereng Tambang Batubara Pit RTS-C Sisi Barat WUP Roto-Samurangau PT. Kideco Jaya Agung, Kecamatan Batu Sopang, Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Bina Tambang*, 5(1), 74-84.
- [2] Analiser, H., & Nurhakiki. (2019). Analisis Kestabilan Lereng *Mine Highwall* Dengan Metode Bishop Dan *Software Rockscience Slide* Pada Area Penambangan Batubara Di Pit 2A Barat PT Fontana Resource Indonesia Kab. Barito Utara Kalimantan Tengah. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 11(1), 35-49.
- [3] Sompie, G. M., Sompie, O. B., & Rondonuwu, S. (2018). Analisis Stabilitas Tanah Dengan Model Material Mohr Coulomb dan *Soft Soil*. *Jurnal Sipil Statik*, 6(10), 783-792.
- [4] Sosrodarsono, S. (2000). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [5] Syam, M. A., Heriyanto, Umar, H., Ikhwan, C., & Sardilla, M. (2021). Analisis Kestabilan Lereng *Highwall* Menggunakan Metode Bishop *Simplified* Pada PIT 13 PT Belayan Internasional Coal Kecamatan Marangkayu Kabupaten Kutai Kartanegara. *Jurnal Geoelebes*, 5(1), 46-54.
- [6] Wahyuni, S., Jafar, N., Anwar, H., & Munir, A. S. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Disposol IPD PQRT PIT *West* Menggunakan Metode Bishop PT BUMA *Job Site* Lati Kabupaten Berau Kalimantan Timur. *Jurnal GEOSAPTA*, 7(1), 1-6.
- [7] Hasnawir. (2011). *Intensitas Curah Hujan Memicu Tanah Longsor Dangkal Di Sulawesi Selatan*. Balai Penelitian Kehutanan Makassar, 62-73.
- [8] Cahyono, Y. D. (2021). Analisis Kestabilan Lereng *Highwall* Berdasarkan Tingkat Kejenuhan



- Dengan Metode Probabilitas Pada Tambang Batubara PT X Kalimantan Timur. *Jurnal Geomine*, 9(3), 229-238.
- [9] Fanani, Y., Astuti, A. D., & Paki, A. K. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Tambang CV. Mutiara Timur Berdasarkan Faktor Keamanan. *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan*, 3(1), 277-282. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- [10] Adriansyah, Y., & Febriadi, E. (2010). Mekanisme Longsoran Pada Lereng *Highwall* Dan Usulan Penanggulangannya Di Tambang Batubara Senakin PT Arutmin Indonesia. *Proceedings Pit IAGI 2010 The 39th IAGI Annual Convention and Exhibition*, 1-12.
- [11] Arif, I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- [12] Mahardika, S., Devy, S. D., & Umar, H. (2017). Analisis Kestabilan Lereng *High Wall* Berdasarkan Nilai Faktor Keamanan Dengan Metode Bishop *Simplified* Pada Pit S12GN PT. Kitadin Embalut Site, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral*, 5(2), 51-57.
- [13] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (2018). Nomor 1827 K/30/MEM/2018 Tentang *Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik*. Kementerian ESDM.
- [14] Panggabean, H., & Santi, L. D. (2012). Sejarah Penimbunan Cekungan Sumatera Selatan dan Implikasinya Terhadap Waktu Generasi Hidrokarbon. *JSD-Geol.*, 22(4), 225-235.
- [15] Marini, A. E., Anaperta, Y. M., & Saldy, T. G. (2019). Analisis Kestabilan Lereng Area *Highwall Section B* Tambang Batubara PT. Manggala Usaha Manunggal *Jobsite* Pt. Banjarsari Pribumi, Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. *Jurnal Bina Tambang*, 4(4), 80-89.
- [16] Hoek, E., & Bray, J. (2005). *Rock Slope Engineering Civil and Mining 4th Edition*. USA and Canada: Taylor & Francis e-Library.
- [17] Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [18] Rafid, S. A., & Anaperta, Y. M. (2020). Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop Pada Jalan Utama Menuju Penambangan Di PT. Cahaya Bumi Perdana, Kota Sawahlunto. *Jurnal Bina Tambang*, 6(2), 208-219.
- [19] Haris, V. T., Lubis, F., & Winayati. (2018). Nilai Kohesi Dan Sudut Geser Tanah Pada Akses Gerbang Selatan Universitas Lancang Kuning. *Jurnal Teknik Sipil*, 4(2), 123-130.
- [20] Putra, S., & Hariyadi, B. (2018). Analisis Balik Kestabilan Lereng Penampang A Dan Penampang B Area *Lowwall* Tambang Batubara Pada Pit X PT. Kideco Jaya Agung Kecamatan Batu Sopang Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Bina Tambang*, 4(1), 59-70.
- [21] Hasibuan, S., & Heriyadi, B. (2020). Analisis Balik Kestabilan Lereng Bekas Disposal Area Dengan Menggunakan Metode Bishop di Tambang PT. Nusa Alam Lestari di Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 5(4), 46-56.