

# **Kajian Stabilitas Lereng pada *Highwall* dan *Lowwall* dengan Pengujian Probabilitas Kelongsoran pada *Pit S02* Dan *U1* di PT XYZ, Desa Lempesu, Kecamatan Paser Belengkong Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur**

**Muhammad Fauzan Kautsar<sup>\*</sup>, Yuliadi, IZAenal**

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

\*muhammadfauzankautsar@gmail.com

**Abstract.** PT XYZ is one of the companies engaged in coal mining in East Kalimantan. At present, PT XYZ is still in the planning stage of making new pits, namely Pit S02 and U1 with the Open Mining System and Strip Mining type, so a safe slope design is needed. Geotechnical studies play an important role in planning pits where they will produce recommendations in the form of stable slope geometry. Therefore a geotechnical analysis is required using the Boundary Equilibrium Method and an additional analysis in the form of the Probability of the Slides. The study was conducted on the design plan Pit S02 and U1. This study aims to determine lithology, groundwater level, overall slope geometry recommendations and single slope, Safety Factor (FK) overall slope and single slope, and Probability of Slides (PK) overall slope and single slope. In this study, the data used refers to data taken from geotechnical drilling GT-01, GT-02 and GT-03 representing Pit S02 and GT-04 representing Pit U1, the results of laboratory testing in the form of physical properties and shear strength testing. The analysis was carried out using the Boundary Equilibrium Method (Bishop's Method) and Analysis of the Probability of Slides (Monte Carlo Method). The analysis was performed by try and error using variations in the slope geometry model. The slope variations of the overall highwall slope model are 27°, 30°, 32°, 35°, 40°, 42°, 45° and 47° while the lowwall is based on the slope of the layer. Single slope geometry variations are 5 m, 7 m, 10 m, and 12 m high, and the inclination is 50°, 55°, 60°, 65°, 70°, and 75°. The constituent rocks at the study site consist of soil, claystone, sandstone and coal. Overall slope geometry, namely: Highwall Pit S02 66.21 m high and slope 27°, Lowwall Pit S02 high 68.80 m and slope 22°, Highwall Pit U1 high 25.45 m and slope 37°, and for Lowwall Pit U1 high 14.07 m and a slope of 25°. While the recommended single slope geometry is 10 m high and the slope is 75°. Safety factors in the overall slope geometry are: Highwall Pit S02 of 1.32, Lowwall Pit S02 of 1.39, Highwall Pit U1 of 1.38 and for Lowwall Pit U1 amounted to 1.42, while the Safety Factor on the single slope of the Pit S02 and U1 design plans was 1.27 to 2.23. The safety factor of the single slope pit limit design plan for Pit S02 and U1 is 1.34 to 2.31. The probability of landslides on the overall slope is 0.60% to 4.50%, while the Probability of Slides on a single slope of the Pit S02 and U1 designs of 0.00%.

**Keywords: Slope Stability, Limit Equilibrium Method, Safety Factor, Probabilistic Analysis Method, Probability of Failure.**

**Abstrak.** PT XYZ merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara di Kalimantan Timur. Saat ini, PT XYZ masih berada pada tahap perencanaan pembuatan *pit* baru yaitu *Pit S02* dan U1 dengan Sistem Tambang Terbuka dan jenis penambangan *Strip Mining*, sehingga diperlukan pembuatan desain lereng yang aman. Studi geoteknik berperan penting dalam perencanaan pembuatan *pit* di mana akan menghasilkan rekomendasi berupa geometri lereng yang stabil. Oleh karenanya diperlukan analisis geoteknik menggunakan Metode Kesetimbangan Batas dan analisis tambahan berupa Metode Probabilitas Kelongsoran. Penelitian dilakukan pada rencana desain *Pit S02* dan U1. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui litologi, keadaan muka air tanah, rekomendasi geometri lereng keseluruhan dan lereng tunggal, Faktor Keamanan (FK) lereng keseluruhan dan lereng tunggal, dan Probabilitas Kelongsoran (PK) lereng keseluruhan dan lereng tunggal. Pada penelitian ini, data yang digunakan mengacu pada data yang diambil dari pengeboran geoteknik GT-01, GT-02 dan GT-03 yang mewakili *Pit S02* dan GT-04 yang mewakili *Pit U1* yaitu data hasil pengujian laboratorium berupa pengujian sifat fisik dan kuat geser. Analisis yang dilakukan menggunakan Metode Kesetimbangan Batas (Metode Bishop) dan Analisis Probabilitas Kelongsoran (Metode Monte Carlo). Analisis dilakukan dengan *try and error* menggunakan variasi model geometri lereng. Variasi kemiringan model lereng keseluruhan *highwall* adalah 27°, 30°, 32°, 35°, 37°, 40°, 42°, 45° dan 47° sedangkan *lowwall* berdasarkan besar kemiringan lapisan. Variasi geometri lereng tunggal adalah tinggi 5 m, 7 m, 10 m, dan 12 m, dan kemiringan 50°, 55°, 60°, 65°, 70°, dan 75°. Batuan penyusun di lokasi penelitian terdiri atas *soil*, *claystone*, *sandstone* dan *coal*. Geometri lereng keseluruhan yaitu: *Highwall Pit S02* tinggi 66,21 m dan kemiringan 27°, *Lowwall Pit S02* tinggi 68,80 m dan kemiringan 22°, *Highwall Pit U1* tinggi 25,45 m dan kemiringan 37°, dan untuk *Lowwall Pit U1* tinggi 14,07 m dan kemiringan 25°. Sedangkan geometri lereng tunggal yang direkomendasikan yaitu tinggi 10 m dan kemiringan 75° Faktor Keamanan pada geometri lereng keseluruhan yaitu: *Highwall Pit S02* sebesar 1,32, *Lowwall Pit S02* sebesar 1,39, *Highwall Pit U1* sebesar 1,38 dan untuk *Lowwall Pit U1* sebesar 1,42, sedangkan Faktor Keamanan pada lereng tunggal rencana desain *Pit S02* dan U1 yaitu sebesar 1,27 hingga 2,23. Faktor keamanan lereng tunggal *pit limit* rencana desain *Pit S02* dan U1 yaitu 1,34 hingga 2,31. Probabilitas Kelongsoran pada lereng keseluruhan adalah sebesar 0,60% hingga 4,50%, sedangkan Probabilitas Kelongsoran pada lereng tunggal rencana desain *Pit S02* dan U1 adalah sebesar 0,00%.

**Kata Kunci: Stabilitas Lereng, Metode Kesetimbangan Batas, Faktor Keamanan, Metode Probabilitas, Probabilitas Kelongsoran.**

## 1. Pendahuluan

PT XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara yang berlokasi di Kalimantan Timur. Proses pertambangan yang saat ini dilakukan oleh PT XYZ masih berada padencanaan, di mana pada tahap ini dilakukan perencanaan untuk pembukaan *pit* baru dengan Sistem Tambang terbuka dan jenis penambangan *Strip Mining*. Pada tahap ini, untuk bisa mendapatkan desain *pit* yang aman, salah satu

faktor penting dalam perencanaan pit adalah studi geoteknik.

Studi geoteknik berperan penting dalam pembuatan desain pit, di mana dari hasil studi geoteknik akan dihasilkan rekomendasi berupa geometri lereng. Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam studi geoteknik, di antaranya karakteristik dari batuan penyusun, keadaan muka air tanah, keadaan struktur, kegiatan penggalian serta kegiatan lainnya yang dapat mengganggu distribusi gaya yang terjadi di lereng. Jika hal-hal yang diperhatikan tersebut dapat teratasi, maka akan menciptakan lereng yang stabil.

Studi geoteknik akan menghasilkan rekomendasi geometri lereng, sehingga lereng *highwall* dan *lowwall* yang direncanakan akan mencapai keadaan stabil. Oleh karena itu, pada perencanaan pembukaan pit baru di PT XYZ, perlu dilakukan studi geoteknik untuk mendapatkan lereng yang aman yang ditunjukkan oleh nilai FK-nya. Selain itu, untuk menambah keyakinan terhadap nilai FK tersebut, maka akan dilakukan analisis tambahan dengan menggunakan Metode Probabilitas Kelongsoran yang ditunjukkan dengan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: “Bagaimana geometri dari model lereng keseluruhan (*highwall* dan *lowwall*) dan lereng tunggal yang aman?”. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut.

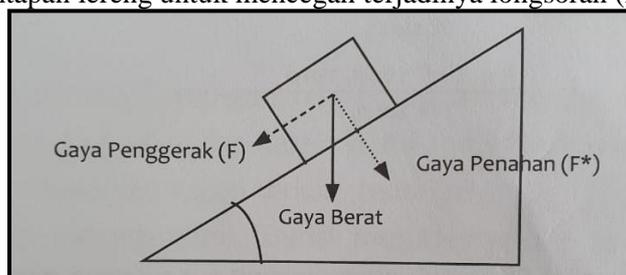
1. Mengetahui litologi di lokasi daerah penilitan.
2. Mengetahui Faktor Keamanan (FK) lereng keseluruhan (*highwall* dan *lowwall*) dan lereng tunggal pada rencana desain Pit S02 dan U1.
3. Mengetahui Probabilitas Kelongsoran (PK) lereng keseluruhan (*highwall* dan *lowwall*) dan lereng tunggal pada rencana desain Pit S02 dan U1.
4. Mengetahui geometri lereng keseluruhan (*highwall* dan *lowwall*) dan lereng tunggal yang aman pada rencana desain Pit S02 dan U1.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Kestabilan Lereng

Kestabilan atau kemantapan suatu lereng, baik alami ataupun buatan, sangat besar dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dinyatakan secara sederhana sebagai gaya penggerak dan gaya penahan pada bidang gelincirnya. Pada keadaan gaya penahan yang lebih besar daripada gaya penggerak, maka lereng tersebut akan berada pada keadaan yang stabil. Namun apabila gaya penggerak yang lebih besar daripada gaya penahan, maka lereng tersebut tidak stabil dan mungkin untuk terjadinya longsor. Sebenarnya, longsor merupakan proses yang alami di mana lereng membentuk kestabilannya sendiri yang baru yaitu keadaan gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak. Skema kestabilan lereng dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Tingkat kestabilan lereng dinyatakan dengan nilai Faktor Keamaan (*Safety Factor*) atau disingkat menjadi FK. Faktor keamaan diperlukan pada suatu lereng yang digunakan sebagai acuan kemantapan lereng untuk mencegah terjadinya longsor (Arif, 2016).



Sumber: Irwandy Arif, 2016

**Gambar 1.** Faktor Keamanan Sederhana

Apabila nilai FK untuk suatu lereng lebih besar dari 1,0 (gaya penahan > gaya penggerak), lereng tersebut dalam keadaan stabil. Namun jika nilai FK lebih kecil dari 1,0 (gaya penahan < gaya penggerak), lereng tersebut berada dalam keadaan tidak stabil dan mungkin untuk terjadi longsor (Arif, 2016). Jika dirumuskan, penjelasan diatas dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$F = \frac{\text{Shear strength available to resist sliding}}{\text{Shear stress mobilized along failure surface}}$$

Terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng dan dapat dikelompokkan menjadi 5 faktor utama, yaitu geometri lereng, sifat fisik dan mekanik, orientasi umum diskontinuitas, air tanah dan factor luar sistem lereng.

## 2.2 Analisis Stabilitas Lereng Metode Kesetimbangan Batas

Metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*) merupakan metode yang sangat populer digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng tipe gelinciran dan rotasional (Arif, 2016). Metode ini salah satu metode yang mudah digunakan, sederhana dan telah terbukti keandalannya dalam praktik rekayasa geoteknik selama bertahun-tahun.

Pada perhitungan menggunakan metode ini, kondisi kesetimbangan statik adalah kondisi yang dipertimbangkan untuk di analisis dan mengabaikan adanya hubungan tegangan-regangan pada lereng. Selain itu sebelum di lakukan analisis, telah diasumsikan mengenai geometri dan bentuk bidang runtuh. Kondisi kestabilan lereng yang telah di analisis kemudian dinyatakan dengan indeks Faktor Keamanan (FK). Indeks ini dihitung dengan mempertimbangkan kesetimbangan gaya, momen atau menggunakan kedua kondisi tersebut, tergantung dari metode yang digunakan.

Pada endapan batubara, longsor busur salah satu jenis longsor yang umum terjadi, hal tersebut dapat diakibatkan karena batuan penyusun pada endapan batubara umumnya merupakan batuan dengan karakteristik material yang lemah.

Analisis kesetimbangan batas dengan metode irisan merupakan metode yang banyak digunakan di mana pada metode ini geometri dari bidang gelinciran harus ditentukan. Penyederhanaan pada metode ini adalah biasanya bidang gelinciran berbentuk busur lingkaran, gabungan busur lingkaran dengan garis lurus atau gabungan dari beberapa garis lurus (Arif, 2016).

Setelah geometri dari bidang gelincir ditentukan, massa yang dibatasi oleh busur kemudian dibagi menjadi irisan-irisan. Hal tersebut bertujuan untuk mempertimbangkan adanya variasi kekuatan geser dan tekanan air pori sepanjang bidang runtuh (Arif, 2015). Selanjutnya adalah menghitung data-data yang berada pada tiap irisan dan nilai FK dapat ditentukan dengan menghitung menggunakan persamaan kesetimbangan.

## 2.3 Analisis Stabilitas Lereng Metode Probabilitas Kelongsoran

Probabilitas Kelongsoran (PK) atau *probability of failure* adalah indikator stabilitas lereng berbasis pendekatan statistik. Pada stabilitas lereng FK merupakan rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak, namun dalam Probabilitas Kelongsoran, kedua input parameter tersebut merupakan fungsi dari variabel acak yang berdistribusi probabilitas. Probabilitas Kelongsoran sendiri akan didapat dengan mengkombinasikan keduanya. (Arif, 2016).

Metode yang paling banyak digunakan pada analisis kelongsoran dengan probabilitas adalah metode Monte Carlo. Metode ini sangat berguna dalam pemecahan permasalahan yang berkaitan dengan variabel acak. Metode ini merupakan metode yang sederhana, yang mana lebih fleksibel dalam menggabungkan suatu varietas distribusi probabilitas yang cukup besar tanpa banyak penafsiran serta memiliki kemampuan untuk memodelkan korelasi di antara variabel dengan mudah (Hammah dan Yacoub, 2009). Pada metode kesetimbangan batas nilai FK merupakan rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak, di mana masing-masing parameter merupakan fungsi dari variabel acak yang bersifat tak tentu (*uncertain*) dan berdistribusi probabilitas tertentu. Oleh karenanya simulasi Monte Carlo sangat cocok digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ketidakpastian pada nilai FK hingga akhirnya akan didapatkan nilai Probabilitas Kelongsoran.

### 3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

#### 3.1 Batuan Penyusun

Batuan penyusun di lokasi penelitian terdiri atas *soil*, *claystone*, *sandstone* dan *coal*, dimana *claystone* merupakan batuan yang paling mendominasi keberadaannya. Keempat penyusun tersebut termasuk kedalam batuan sedimen.

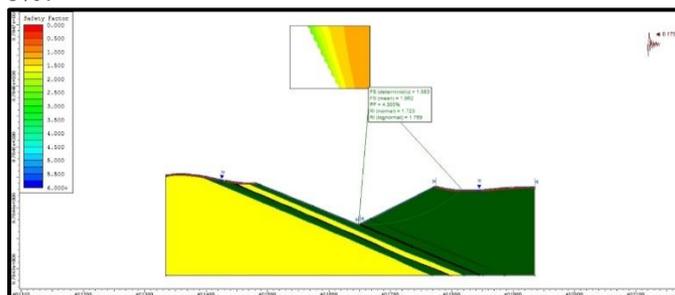
Pada rencana desain *Pit S02*, litologi batuan penyusun di dominasi oleh *claystone* dan terdiri atas 4 lapisan *claystone*, 2 lapisan *sandstone*, 3 lapisan *coal* dan lapisan *soil* dipermukaan. Pada rencana desai *Pit U1*, litologi batuan penyusun di dominasi oleh *claystone* dan terdiri atas 2 lapisan *claystone*, 1 lapisan *coal* dan lapisan *soil* dipermukaan.

#### 3.2 Rekomendasi

Rekomendasi geometri lereng mengacu pada nilai Kemantapan Lereng menurut Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM Tahun 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik, yaitu lereng keseluruhan dianggap aman jika  $FK > 1,3$  dan nilai  $PK \leq 5\%$ , dan lereng tunggal dianggap aman jika nilai  $FK > 1,1$  dan nilai  $PK \leq 50\%$ .

##### a. Rekomendasi Geometri Lereng *Highwall Pit S02*

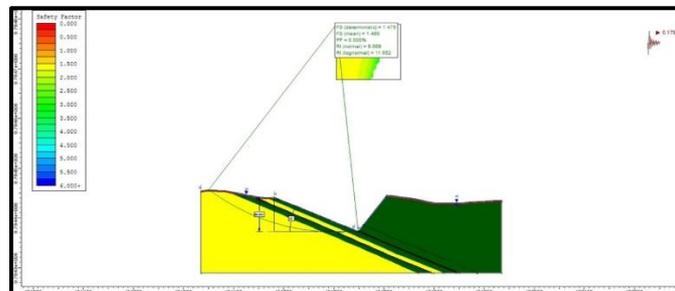
- Rekomendasi sudut lereng keseluruhan *Highwall* pada besaran  $27^\circ$ .
- Tinggi lereng keseluruhan *Highwall* pada  $\pm 66,21$  meter.
- Didapatkan nilai  $FK_{\text{statis}}$  2,70 dengan  $PK$  0,00% dan  $FK_{\text{dinamis}}$  1,32 dengan  $PK$  4,50%.



**Gambar 2.** Rekomendasi Geometri Lereng *Highwall Pit S02*

##### b. Rekomendasi Geometri Lereng *Lowwall Pit S02*

- Rekomendasi sudut lereng keseluruhan *Lowwall* pada besaran  $22^\circ$ .
- Tinggi lereng keseluruhan *Lowwall* pada  $\pm 68,80$  meter.
- Didapatkan nilai  $FK_{\text{statis}}$  1,46 dengan  $PK$  0,00% dan  $FK_{\text{dinamis}}$  1,39 dengan  $PK$  4,00%.

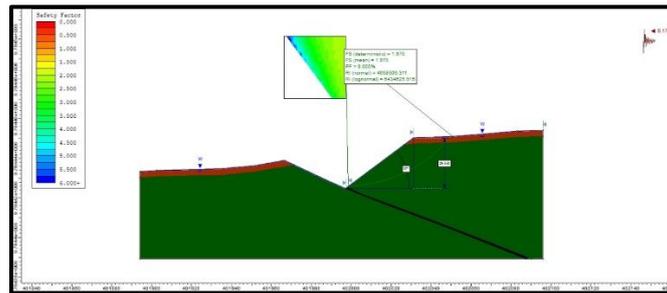


**Gambar 3.** Rekomendasi Geometri Lereng *Lowwall Pit S02*

##### c. Rekomendasi Geometri Lereng *Highwall Pit U1*

- Rekomendasi sudut lereng keseluruhan *Highwall* pada besaran  $37^\circ$ .
- Tinggi lereng keseluruhan *Highwall* pada  $\pm 25,45$  meter.
- Didapatkan nilai  $FK_{\text{statis}}$  2,02 dengan  $PK$  0,00% dan  $FK_{\text{dinamis}}$  1,38 dengan  $PK$

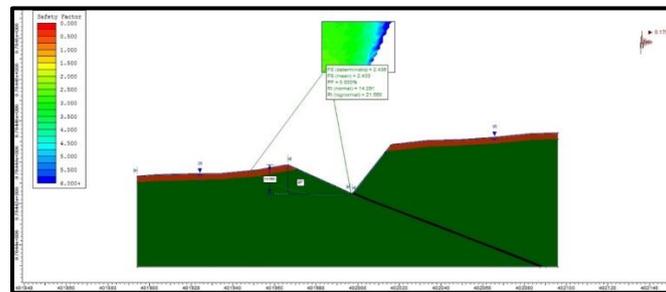
0,00%.



**Gambar 4.** Rekomendasi Geometri Lereng *Highwall Pit U1*

d. Rekomendasi Geometri Lereng *Lowwall Pit U1*

- Rekomendasi sudut lereng keseluruhan *Lowwall* pada besaran  $25^\circ$ .
- Tinggi lereng keseluruhan *Lowwall* pada  $\pm 14,07$  meter.
- Didapatkan nilai  $FK_{\text{statis}}$  3,47 dengan PK 0,00% dan  $FK_{\text{dinamis}}$  1,42 dengan PK 0,60%.



**Gambar 1.4** Rekomendasi Geometri Lereng *Lowwall Pit U1*

e. Rekomendasi Geometri Lereng Tunggal *Pit S02 dan U1*

Rekomendasi lereng tunggal rencana desain *Pit S02 dan U1* yang masih dalam batas aman yaitu tinggi 10 m dan kemiringan 75, karena ada geometri tersebut seluruh litologi yang di analisis pada lereng tunggal menghasilkan nilai FK dan PK yang memenuhi syarat kriteria yang dijadikan acuan yaitu  $FK > 1,1$  dan  $PK < 50\%$ .

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Batuan penyusun di lokasi penelitian terdiri atas *soil*, *claystone*, *sandstone* dan *coal*, dimana *claystone* merupakan litologi yang paling mendominasi keberadaannya.
2. Faktor Keamanan pada rekomendasi lereng keseluruhan *Highwall Pit S02* sebesar 1,32, *Lowwall Pit S02* sebesar 1,39, *Highwall Pit U1* sebesar 1,38 dan *Lowwall Pit U1* sebesar 1,42. Sedangkan Faktor Keamanan pada rekomendasi lereng tunggal rencana *Pit S02 dan Pit U1* yaitu 1,27 hingga 2,23. Faktor Keamanan pada lereng tunggal *pit limit* rencana desain *Pit S02 dan U1* adalah 1,34 hingga 2,31.
3. Probabilitas Kelongsoran pada rekomendasi lereng keseluruhan adalah sebesar 0,60% hingga 4,5%. Probabilitas kelongsoran pada lereng tunggal adalah sebesar 0,00%.
4. Desain lereng keseluruhan untuk rencana desain *Pit S02* yaitu sebagai berikut: sudut lereng keseluruhan *Highwall* sebesar  $27^\circ$  dan tinggi  $\pm 66,21$  meter serta sudut lereng keseluruhan *Lowwall* sebesar  $22^\circ$  dan tinggi  $\pm 68,80$  meter. Desain lereng untuk rencana desain *Pit U1* yaitu sebagai berikut: sudut lereng keseluruhan *Highwall* sebesar  $37^\circ$  dan tinggi  $\pm 25,45$  meter serta sudut lereng keseluruhan *Lowwall* sebesar  $25^\circ$  dan tinggi  $\pm 14,07$  meter. Sedangkan rekomendasi geometri yang aman untuk lereng tunggal pada rencana desain *Pit S02* dan rencana desain

*Pit* U1 yaitu ketinggian 10 m dan kemiringan 75°.

## 5. Saran

Adapun saran yang diberikan yaitu perlu dilakukannya analisis kestabilan lereng pada lebih dari 1 *section*, agar menghasilkan analisis yang lebih mewakili *Pit* S02 dan U1 yang direncanakan.

## Daftar Pustaka

- [1] Arif, Irwandy, 2016, "*Geoteknik Tambang*", Bandung, PT Gramedia.
- [2] Audinno, Rizky Teddy, 2014, "Investigasi Geologi Potensi Longsor Berdasarkan Analisis Sifat Fisik dan Mekanik Batuan Daerah Kota Balikpapan, Kalimantan Timur", Balikpapan, PT Kaltim Prima Coal,
- [3] Bishop, A. W, 1955, "The Use of Slip Surface in The Stability of Analysis Slopes", London, Geotechnique Vol 5.
- [4] Das, Braja M, 2006, "Principles of Geotechnical Engineering: Fifth Edition", Canada, Nelson.
- [5] Fauzan, Muhammad Iqbal, Yuliadi, Guntoro, Dono, 2018. "Studi Geoteknik pada Lereng *Lowwall Pit* Lisat PT Teguh Sinar Abadi di Desa Muara Bunyut, Kecamatan Melak, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur". Universitas Islam Bandung.
- [6] Hammah, Reginald dkk, 2003, "The Influence of Correlation and Distribution Truncation on Slope Stability Analysis Results", Canada, University of Toronto.
- [7] Hoek, Evert dan Bray, John, 1981, "*Rock Slope Engineering*", London, Institution of Mining and Metallurgy.
- [8] Holtz, Robert D. dan Kovacs, William D, 1981, "*An Introduction to Geotechnical Engineering*", New Jersey, Prentice-Hall, Inc.
- [9] Krahn, J, 2004, "Stability Modeling with SLOPE/W, Geo-Slope/W", Canada, International Ltd.
- [10] Kusuma, Mila dan Putu Tantri K.S, 2014, "*Analisa Stabilitas Lereng dengan Pendekatan Statistik dan Probabilitas*", Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Lalitya, Timur Jati dkk, 2017, "Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara Dengan Metode Probabilitas Pada Highwall dan Lowwall Pit Tania Panel 2, PT Kaltim Prima Coal, Kalimantan Timur", Yogyakarta, Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada.
- [12] Pemerintah Indonesia, 2018, "*Keputusan Menteri No. 1826 K/30/MEM Tahun 2018*", Jakarta, Sekretariat Negara.
- [13] Pemerintah Indonesia, 2019, "*Kabupaten Pasir Belengkong Dalam Angka 2019*", Paser, Badan Pusat Statistik Kabupaten Paser.
- [14] Pemerintah Indonesia, 2019, "*Kecamatan Pasir Belengkong Dalam Angka 2019*", Paser, Badan Pusat Statistik Kabupaten Paser.
- [15] Rai, Made Astawa dkk, 2012, "*Mekanika Batuan*", Bandung, Penerbit ITB.
- [16] Supandi, 2013, "Pemodelan Parameter Geoteknik dalam Merespon Perubahan Desain Tambang Batubara Dengan Sistem Tambang Terbuka", Yogyakarta, SEMNAS Ke-8: Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi.
- [17] Wyllie, Duncan C. dan Mah, Christopher W, 2005, "*Rock Slope Engineering Civil and Mining: Fourth Edition*", New York, Spon Press.