



## Studi Penggunaan *Counterweight* sebagai Penanggulangan Longsor pada Lereng *Disposal* di Pit 302 PT Jembayan Muarabara Kecamatan Marangkayu Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur

Tommy Aria Pradana <sup>1\*</sup>, Tommy Trides <sup>2</sup>, Windhu Nugroho <sup>3</sup>, Revia Oktaviani <sup>4</sup>, Albertus Juvensius Pontus <sup>5</sup>, Ardhan Ismail <sup>6</sup>, Rety Winonazada <sup>7</sup>

<sup>1-7</sup> Universitas Mulawarman, Indonesia

Korespondensi penulis : [tmmmyaryaprdrn@gmail.com](mailto:tmmmyaryaprdrn@gmail.com)

**Abstract.** Disposal area is an area at an open pit mine that is used as a place to store or dispose of worthless materials. Disposal must also follow the specified safety factor standards, if the disposal design is not safe after being analyzed by a geotechnical engineer, the design must be redesigned to achieve the desired safety factor value. One way to increase the fk value is to make a Counterweight plan in making disposal. Where Counterweight is a fill material that is made with special treatment so that the soil bearing capacity increases which functions to withstand the load on it. Landslides on disposal slopes are one of the serious problems faced in mining activities, especially in areas with vulnerable geological and topographic conditions. PT Jembayan Muarabara, which operates in Marangkayu District, Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan Province, is no exception to this challenge. The A–A' cross section shows a safety factor value of 1.118 in saturated conditions, which indicates that the slope is at a stable limit and needs to be improved through engineering such as adding counterweights. The B–B' cross-section has a safety factor value of 2.332, which is included in the safe category and has met the provisions of the ESDM Ministerial Decree No. 1827 K/30/MEM/2018. The C–C' cross-section has a safety factor value of 1.511, which is included in the safe category and has met the provisions of the ESDM Ministerial Decree No. 1827 K/30/MEM/2018.

**Keywords:** Disposal, Counterweight, Safety Factor.

**Abstrak.** Disposal area merupakan daerah pada lokasi tambang terbuka yang dijadikan tempat untuk menimbun atau membuang material yang tidak berharga. Disposal juga harus mengikuti standar faktor keamanan yang telah ditentukan, jika design disposal tidak aman setelah di analisis oleh enginer geotek maka rancangan tersebut harus diredesign agar mencapai nilai faktor keamanan yang di inginkan. Salah satu caranya agar nilai fk menjadi naik yaitu membuat perencanaan *Counterweight* pada pembuatan *disposal*. Dimana *Counterweight* merupakan material timbunan yang dibuat dengan treatment khusus sehingga daya dukung tanahnya meningkat yang berfungsi untuk menahan beban yang ada di atasnya. Longsor pada lereng disposal merupakan salah satu masalah serius yang dihadapi dalam kegiatan pertambangan, khususnya di daerah yang memiliki kondisi geologi dan topografi yang rentan. PT Jembayan Muarabara, yang beroperasi di Kecamatan Marangkayu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur, tidak terkecuali dari tantangan ini. Penampang A–A' menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 1,118 dalam kondisi jenuh, yang mengindikasikan bahwa lereng berada pada batas stabil dan perlu dilakukan perbaikan melalui rekayasa teknik seperti penambahan *counterweight*. Penampang B–B' memiliki nilai faktor keamanan sebesar 2,332, yang termasuk kategori aman dan telah memenuhi ketentuan KEPMEN ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018. Penampang C–C' memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1,511, yang termasuk kategori aman dan telah memenuhi ketentuan KEPMEN ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018.

**Kata Kunci :** Disposal , Counterweight , Faktor Keamanan.

### 1. LATAR BELAKANG

Kegiatan penambangan dimulai dari pembersihan lahan dan pengupasan *overburden* yang bertujuan untuk memindahkan lapisan tanah penutup (*overburden*) dengan alat mekanis agar dapat dilakukan proses penambangan batubara. Semakin dalam batubara yang akan ditambang maka semakin besar volume lapisan penutup batubara yang harus dikupas. Material penutup batubara tersebut harus dipindahkan ketempat yang dinamakan *disposal* area agar tidak

mengganggu proses penambangan. Disposal area merupakan daerah pada lokasi tambang terbuka yang dijadikan tempat untuk menimbun atau membuang material yang tidak berharga. Disposal juga harus mengikuti standar faktor keamanan yang telah ditentukan, jika design disposal tidak aman setelah di analisis oleh *engineer geotek* maka rancangan tersebut harus di redesign agar mencapai nilai faktor keamanan yang di inginkan. Salah satu caranya agar nilai fk menjadi naik yaitu membuat perencanaan *Counterweight* pada pembuatan *disposal*. Dimana *Counterweight* merupakan material timbunan yang dibuat dengan treatment khusus sehingga daya dukung tanahnya meningkat yang berfungsi untuk menahan beban yang ada di atasnya. Desain *disposal* yang baik hendaknya dibuat dengan mengikuti rencana produksi yang sudah ditetapkan dan mengikuti kaidah *geometry* atau parameter geoteknikal yang telah ditetapkan, sehingga desain tersebut dapat mengakomodasi produksi dan aman untuk di implementasikan di lapangan.

Longsor pada lereng disposal merupakan salah satu masalah serius yang dihadapi dalam kegiatan pertambangan, khususnya di daerah yang memiliki kondisi geologi dan topografi yang rentan. PT Jembayan Muarabara, yang beroperasi di Kecamatan Marangkayu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur, tidak terkecuali dari tantangan ini. Dengan adanya aktivitas penambangan yang intensif, perubahan pada struktur tanah dan pengelolaan limbah dapat meningkatkan risiko terjadinya longsor, yang dapat membahayakan keselamatan kerja, merusak infrastruktur, serta mengganggu lingkungan sekitar.

Oleh karena itu, penggunaan *counterweight* sebagai metode penanggulangan longsor di lereng disposal menjadi salah satu solusi yang menarik untuk diteliti. *Counterweight* berfungsi untuk menambah stabilitas lereng dengan cara memberikan beban tambahan yang dapat mengimbangi gaya-gaya yang bekerja pada lereng, seperti gaya gravitasi dan tekanan air. Dengan menerapkan teknik ini, diharapkan dapat mengurangi potensi terjadinya longsor dan meningkatkan keamanan operasional di area pertambangan.

## **2. KAJIAN TEORITIS**

### **Definisi Tanah**

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral - mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan - bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel - partikel padat tersebut (Das, 1995).

## **Definisi Batuan**

Batuan Sedimen adalah batuan yang terbentuk karena proses diagnosis dari material batuan lain yang sudah mengalami sedimentasi. Sedimentasi ini meliputi proses pelapukan, pelapukan, transportasi, dan deposisi. Proses pelapukan yang terjadi dapat berupa pelapukan fisik maupun kimia. Proses pelapukan dan transportasi dilakukan oleh media air dan angin. Proses deposisi dapat terjadi jika energi transport sudah tidak mampu lagi mengangkut partikel tersebut (Zuhdi, 2019)

## **Lereng**

Lereng merupakan suatu bidang pada morfologi yang memiliki geometri tertentu yaitu bagian tertinggi dan terendah serta berpotensi terjadinya longsor apabila dalam kondisi tidak stabil (Wesley & Pranyoto, 2010)

## **Kestabilan Lereng**

Kestabilan lereng (*slope stability*) sering dikaitkan dengan longsoran tanah atau batuan. Longsoran sendiri merupakan proses dari pergerakan massa tanah dari tempat yang tinggi ketempat yang rendah yang secara alami tanpa adanya gangguan. Hal ini yang dipengaruhi karena kehilangan massa kuat tanah. Kesetimbangan daya dukung yang Tingkat Kepadatan Sudut Geser Dalam ( $\phi$ ) Sangat Lepas  $45^\circ - 23^\circ$  tidak kuat membuat stabilitas tanah tidaklah mudah. Banyak faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan tersebut. Kemiringan lereng adalah perbandingan antara beda tinggi (Jarak Vertikal) suatu lahan dengan jarak mendatarnya. Besar kemiringan lereng dapat dinyatakan dalam beberapa satuan, termasuk persen (%) dan derajat ( $^\circ$ ). Bentuk lereng dengan permukaan tanahnya dapat berbentuk cembung dan dapat berbentuk cekung. Berdasarkan hasil dari pengamatan dapat dilihat pada tabel kelas kemiringan lereng berikut ini.

## ***Limit Equilibrium Method (LEM)***

Metode kesetimbangan batas (Limit Equilibrium Method) merupakan metode yang menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan hubungan tegangan-regangan pada lereng dimana dalam analisisnya menggunakan perbandingan gaya pendorong dan gaya penahan lereng. Pada analisis kesetimbangan batas, asumsi geometri dari bentuk bidang runtuh harus diketahui dan ditentukan terlebih dahulu lalu menghitung data-data untuk setiap irisan (Arif Irwandy, 2016).

## **Kriteria Runtuhan Mohr Coulomb**

Analisis kestabilan lereng pada umumnya menggunakan persamaan Mohr- Coulomb untuk menyatakan kekuatan geser material. Menurut kriteria Mohr- Coulomb, kekuatan geser material

terdiri dari dua komponen yaitu kohesi dan sudut gesek dalam. Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel. Kohesi dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi tanah akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar. Salah satu aspek yang memengaruhi nilai kohesi adalah kerapatan dan jarak antar molekul dalam suatu benda. Semakin rapat suatu benda maka nilai kohesinya juga semakin tinggi. Benda yang berbentuk padat atau material yang terlitifikasi dengan baik, memiliki kohesi yang tinggi. Nilai kohesi didapatkan dari uji laboratorium yaitu pengujian kuat geser langsung (*direct shear strength test*). Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam juga dapat disebut sebagai sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material diberikan tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang diberikan terhadapnya ( Haris dkk., 2018).

### Pemadatan Tanah

Menurut Budi (2011), proses pemadatan tanah pada dasarnya adalah suatu usaha untuk memperkecil jarak antara butiran tanah dengan cara mengurangi *volume* udara yang terdapat dalam pori tanah tersebut. Semakin kecil rongga udara (pori) yang terkandung di dalam satuan *volume* tanah, maka tanah dapat dikatakan semakin padat.

### Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

DCP atau *Dynamic Cone Penetrometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur daya dukung tanah dasar jalan langsung di tempat. Daya dukung tanah dasar tersebut diperhitungkan berdasarkan pengolahan atas hasil test DCP yang dilakukan dengan cara mengukur berapa dalam (mm) ujung konus masuk ke dalam tanah dasar tersebut setelah mendapat tumbukan palu geser pada landasan batang utamanya. Korelasi antara banyaknya tumbukan dan penetrasi ujung conus dari alat DCP ke dalam tanah akan memberikan gambaran kekuatan tanah dasar pada titik - titik tertentu. Makin dalam konus yang masuk untuk setiap tumbukan artinya makin lunak tanah dasar tersebut. Pengujian dengan menggunakan alat DCP akan menghasilkan data yang setelah diolah akan menghasilkan CBR lapangan tanah dasar pada titik yang ditinjau. Khusus untuk perencanaan jalan raya kekuatan tanah dasar ditandai dengan meningkatnya nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dari tanah tersebut (Sukirman, 1999).

### 3. METODE PENELITIAN

#### Tahap Penelitian

Pada penelitian kali ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu tahap persiapan, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, tahap analisis dan pada akhirnya tahap pembahasan.

##### Tahap Pra Lapangan

Tahap persiapan yang dilakukan pada penelitian kali ini meliputi :

- Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan meliputi berbagai literatur seperti buku, jurnal, dan juga hasil laporan atau penelitian yang dilakukan sebelumnya. Studi literatur ini dimaksudkan untuk mencari literatur yang dapat menambah informasi yang ada pada penelitian kali ini sehingga dapat membantu penulis serta pembaca dalam penelitian ini.

- Perumusan Masalah

Perumusan masalah dilakukan untuk mengetahui tujuan dan masalah apa saja yang akan penulis angkat dalam penelitian kali ini. Adapun maksud dan tujuan dilakukannya penelitian kali ini adalah untuk melakukan pengujian pengaruh *Counterweight* terhadap faktor keamanan pada Disposal, pengaruh *Counterweight* terhadap kapasitas overburden pada Disposal, pengaruh *Counterweight* terhadap geometri lereng pada Disposal.

##### Tahap Lapangan

Pada tahap pengumpulan data ini, penulis mengumpulkan berbagai macam data yang dapat mendukung penelitian ini, terkhusus data primer yang di dapatkan dari hasil pengujian di lapangan selama pembuatan konstruksi *Counterweight* itu berlangsung.

- Proses *Cleaning Base Counterweight*

Pada proses *cleaning base Counterweight* dilakukan pembersihan lapisan yang menjadi dasar atau tumpuan *Counterweight* dari material spoil ataupun material lumpur, serta pembuatan keylock (jika memerlukan sebagai pengunci pada dasar konstruksi *Counterweight* ).

- Pemilihan material *Counterweight*

Pemilihan material *Counterweight* sangat mempengaruhi pada hasil dari pembuatan *Counterweight*. Pembuatan *Counterweight* biasanya menggunakan material dari *claystone* dengan fragmentasi berukuran maksimal 30 cm.

- Dumping dan Spreading material *Counterweight*

Pada proses dumping biasanya menggunakan hd785 dan akan dibantu oleh bulldozer 85 untuk

spreading dumpingan agar memiliki ketebalan  $\pm 50$  cm setiap layeringnya sesuai dengan sop pada Perusahaan tersebut.

- Compacting *Counterweight*

Pada proses ini biasanya setelah mendapatkan ketebalan yang dibutuhkan maka akan dilakukan compacting sebanyak 8 kali, agar material dapat tercompacting dengan sempurna guna menghasilkan nilai kepadatan yang diinginkan.

#### Tahap Pasca Lapangan

Pada tahap ini penulis biasanya membahas dan melaporkan hasil dari data yang telah dikumpulkan pada tahap sebelumnya, Adapun tahapnya yaitu :

- Tahap Analisis dan Pembahasan

Penulis akan mengolah data yang telah didapatkan di lapangan dan menganalisis pengaruh dari *Counterweight* terhadap disposal. Selanjutnya membahas mengenai beberapa data nilai uji DCP dilapangan untuk menjadikan parameter kepadatan material yang telah dibuat untuk membangun *Counterweight* .

- Pengujian Model Design Disposal Dan Analisa

Pengujian design disposal dilakukan untuk mengetahui nilai faktor keamanan (Safety Factor) pada design yang telah dibuat oleh mine planers agar dapat memastikan apakah pada disposal tersebut membutuhkan konstruksi *Counterweight* (nilai FK  $\leq 1,2$ ) atau tidak membutuhkan adanya konstruksi *Counterweight* (nilai FK  $\geq 1,2$ ).

Pada tahapan ini akan dilakukan pengolahan data sayatan penampang dan analisis nilai faktor keamanan lereng :

- Pembuatan sayatan pada penampang

Pembuatan penampang dilakukan pada area disposal yang mengalami amblasan yang nantinya akan berbentuk 2 model dimensi pada lereng. Penampang diolah dengan menggunakan software analisis kestabilan lereng. Untuk model perlapisan material berupa tebal dan kedalaman pada penampang digunakan dari data perusahaan.

- Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode *GLE/Morgentsren-Price* dengan dibantu *software* analisis kestabilan lereng tambang. Untuk analisis keruntuhannya menggunakan kriteria keruntuhan Mohr Coulumb, dimana data yang dibutuhkan berupa berat jenis (*Unit Weight*), kohesi (*Cohesion*) dan sudut geser dalam (*Internal Friction Angle*).

Adapun cara menganalisis kestabilan disposal menggunakan software analisis kestabilan lereng adalah sebagai berikut :

- Pengaturan awal software

Diawali dengan membuka *software* kemudian klik *analysis* lalu klik *project setting*, ceklist metode yang digunakan lalu klik OK.

- Membuat geometri lereng disposal

Pada tahap ini dibuat terlebih dahulu penampang melintang (*cross section*) dengan format DXF lalu dibuat 2 *layer* menjadi *layer external boundry* dan *layer material*.

Kemudian *file* penampang tersebut dimasukkan kedalam *software* dengan mengklik bagian file,import DXF. Lalu klik bagian *external boundry*, kemudian klik *import*.

- Membuat data jenis material pada lereng

Setelah geometri lereng dimasukkan, selanjutnya membuat jenis material yang akan dimasukkan kedalam geometri lereng dengan cara mengklik bagian *properties* lalu klik *define materials*. Lalu input *nilai unit weight, cohesion, friction angle* yang telah didapatkan dari perusahaan.

- Menganalisis Kestabilan lereng disposal

Menganalisis kestabilan lereng disposal milih menu *Analysis* lalu *compute*. Setelah selesai pilih menu *interpret* untuk melihat hasil analisis kestabilan *disposal*.

- Merekomendasikan *Counterweight*

Jika nilai Faktor Keamanan  $\leq 1,2$  maka *disposal* tersebut memerlukan adanya konstruksi *counterweight* . Maka langkah selanjutnya yaitu memperbaikin *design* lereng yang telah dibuat oleh *mine planers* serta memberikan konstruksi *counterweight* pada kaki *disposal* yang bertujuan untuk menambah nilai Faktor Keamanan menjadi  $\geq 1,2$  agar kegiatan atau rencana penambangan dapat terus berjalan sesuai rencana.

- Quality control

Setelah material tercompact sesuai dengan arahan maka biasanya harus di cek sesuai dengan standar yang dilakukan. Biasanya dilakukan dcp test dengan standar minimal 8 kali blow per kedalaman 10cm.

#### Prosedur *Test Dynamic Cone Penetrometer* (DCP)

- Menyiapkan alat DCP, alat tulis dan juga alat pelindung diri untuk di lapangan seperti helm safety, rompi safety, earplug dan sarung tangan pelindung.
- Menentukan titik titik yang akan di uji dcp pada konstruksi *counterweight* lereng

disposal serta mencatat hari, tanggal dan lokasi pit yang di uji.

- Melakukan pengujian dcp dengan tim sebanyak 3 orang dimana pembagian tugasnya yaitu sebagai pengangkat beban alat dcp, pemegang batangan alat dcp dan pencatat data dcp.
- Hasil data dcp dihitung setiap batangan dcp masuk per 10 cm sampai kedalaman 60 cm.
- Jika disaat melalukan pengujian mendapatkan *boulder* maka akan diberi tanda serta di konfirmasi kepada pengawas lapangan untuk di pecahkan kembali menggunakan excavator lalu di compacting kembali.
- Jika hasil dari pengujian dcp rata-rata mendapatkan nilai di bawah 8 kali blow per kedalaman 10 cm maka akan diberi tanda dan harus di compacting ulang agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

### **Waktu Penelitian**

Berikut adalah tabel rancangan waktu penelitian yang akan dilakukan :

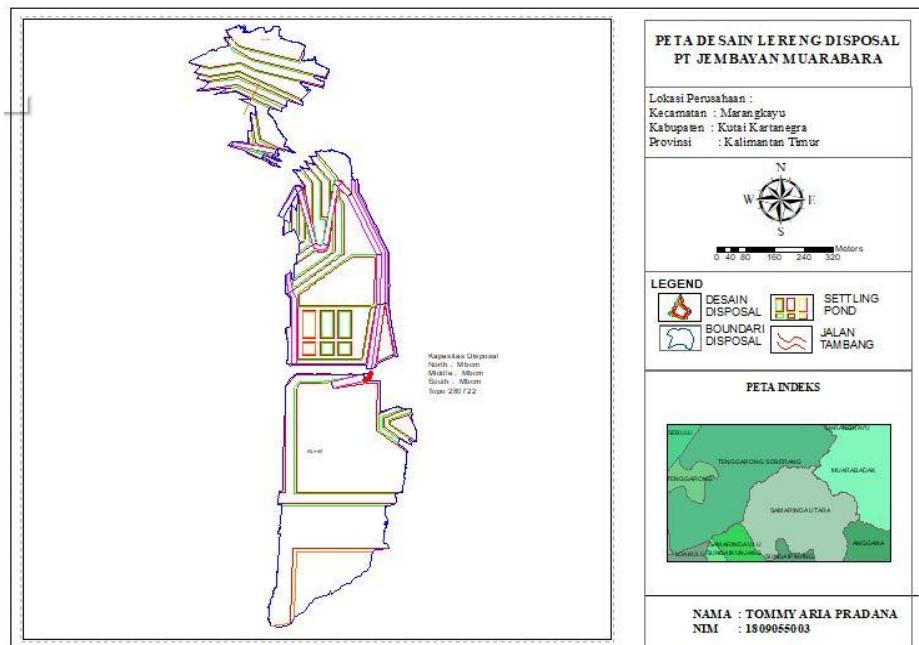
Tabel 1 Jadwal Penelitian

NO	KEGIATAN	MINGGU KE-							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Studi Literatur								
2	Pengamatan Lapangan								
3	Pengumpulan Data								
4	Pengolahan Data								
5	Analisis Data								
6	Penyerahan Laporan Skripsi								

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Desain Disposal

Hasil desain *disposal* menunjukkan bahwa geometri lereng yang optimal dapat meningkatkan stabilitas lereng dan mengurangi resiko longsor. Berdasarkan hasil desain, beberapa parameter yang mempengaruhi stabilitas lereng *disposal* adalah sudut lereng, tinggi lereng, lebar lereng dan sistem *drainase*. Berikut adalah desain disposal in pit dump.



**Gambar 1 Desain Disposal PT. Jembayan Muarabara**

Pada tambang terbuka diperlukan tempat untuk menyimpan material tanah penutup (*overburden*) yang disebut dengan *disposal*. Material penyusun disposal terdiri dari berbagai macam jenis, seperti tanah (*soil*), batu lanau (*siltstone*), batu lempung (*claystone*), batu pasir (*sandstone*) dan juga jenis batuan lainnya.

Menurut Subianto dan Riswan (2018), pada tambang terbuka batubara (*open pit*) terdapat dua macam disposal berdasarkan letaknya yaitu *Out Pit Disposal* (OPD) yang berada diluar pit dan *In Pit Disposal* (IPD) yang merupakan disposal di dalam pit.

Pada PT. Jembayan Muarabara di pit 302 menggunakan metode In Pit Disposal yang telah mempertimbangkan aspek teknis maupun keselamatan kerja. Desain ini disusun oleh *mineplanner* perusahaan berdasarkan hasil survey dan investigasi lapangan, serta diharapkan mampu mengurangi resiko geoteknik yang minimal serta efisiensi operasional yang maksimal.

## Sifat Fisik dan Sifat Mekanik

Parameter untuk sifat fisik dan sifat mekanik material adalah data sekunder yang dimana data tersebut di dapatkan peniliti dari hasil sampling pengeboran geoteknik yang telah diuji oleh perusahaan pada laboratorium. Adapun pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter sifat mekanik merupakan uji kuat gesernya.

Sifat fisik material yang digunakan yaitu bobot isi jenuh dan bobot isi kering, sedangkan sifat fisik mekanik menggunakan data kohesi dan sudut geser dalam (phi). Nilai yang dihasilkan pada sample berbeda beda, hal tersebut dapat menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi nilai faktor keamanan pada lereng yang di analisis. Hasil dari uji laboratorium untuk sifat fisik dan sifat mekanik dapat dilihat pada tabel 2

**Tabel 2 Hasil Uji Laboratorium**

No	Material	Uji Sifat Fisik		Uji geser langsung			
		Dry unit Weight kN/m <sup>3</sup>	Saturated unit Weight kN/m <sup>3</sup>	Kohesi Puncak kN/m <sup>2</sup>	Sudut Geser Dalam Puncak °	Kohesi Residual kN/m <sup>2</sup>	Sudut Geser Dalam Residual °
1	<i>Counterweight</i>						
	Minimum	16,213	18,036	-	-	10,721	7,095
	Mean	16,622	18,759	-	-	29,185	16,767
	maximum	16,840	19,158	-	-	51,223	31,206
	Standar Deviasi	0,354	0,627	-	-	11,806	8,110
	Jumlah data	3	3	-	-	14	14
2	<i>Claystone</i>						
	Minimun	10,802	14,991	134,310	26,189	20,719	7,095
	Mean	14,909	18,588	250,869	35,693	31,695	25,857
	Maximum	18,277	21,375	459,385	52,431	38,119	37,058
	Standar	2,321	2,040	98,989	8,692	5,322	9,148
	Jumlah data	10	10	8	8	10	10

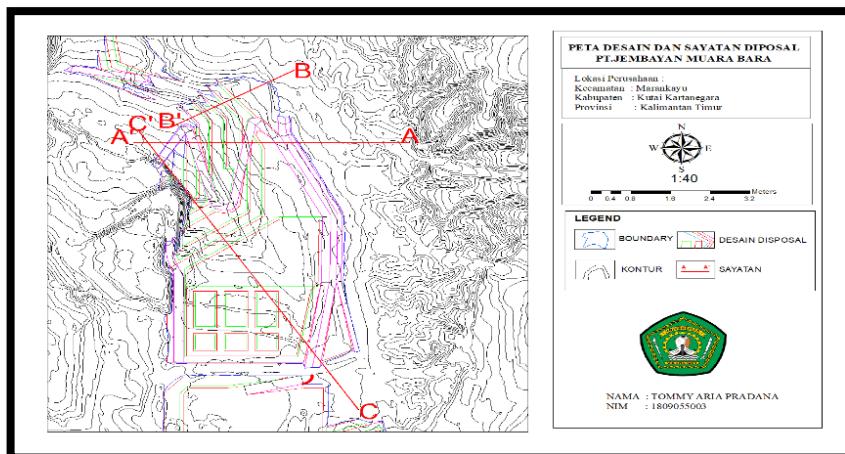
Pada tabel diatas dapat di analisis bahwa material *counterweight* memiliki berat jenis kering antara 16,21 – 16,84 kN/m<sup>3</sup> dan dalam kondisi jenuh 18,04 – 19,16 kN/m<sup>3</sup>, dengan kohesi residual rata-rata sebesar 29,19 kN/m<sup>2</sup> serta sudut geser dalam residual 16,77°, namun tidak terdapat data untuk kohesi dan sudut geser puncak. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun material

ini cukup padat, sifat geser jangka panjangnya relatif lebih lemah dibandingkan batuan alami. Sementara itu, material *claystone* memiliki rentang berat jenis kering  $10,80 - 18,28 \text{ kN/m}^3$  dan jenuh  $14,99 - 21,38 \text{ kN/m}^3$ , dengan kohesi puncak yang sangat tinggi yaitu rata-rata  $250,87 \text{ kN/m}^2$  dan sudut geser puncak  $35,69^\circ$ , sedangkan kohesi residualnya  $31,70 \text{ kN/m}^2$  dan sudut geser residual  $25,86^\circ$ . Ini menunjukkan bahwa claystone memiliki kekuatan awal yang tinggi, namun menurun setelah deformasi, meskipun tetap stabil dan kuat untuk jangka panjang.

### Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng menggunakan penampang sayatan pada desain *disposal* yang telah diajukan oleh *engineer mineplan* PT. JMB. Pengujian ini dilakukan menggunakan tiga penampang, dari ketiga sayatan tersebut diharapkan dapat mewakili setiap kondisi desain lereng disposal pada pit 302 yang dianggap dalam kondisi yang harus di analisis kembali. Peta topografi sayatan geometri lereng dapat dilihat pada gambar 4.2

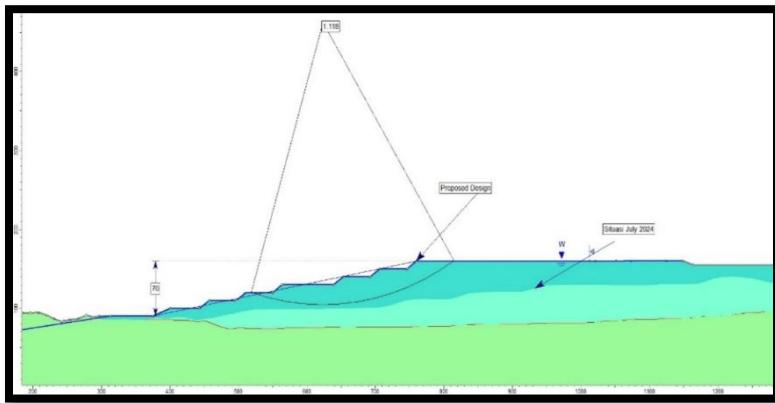
Pada PT. JMB menganalisis nilai faktor keamanan (*factor of safety*) pada lereng *overall slope* yang direncanakan sesuai dengan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018. Apabila hasil analisis menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis atau tidak stabil, maka terdapat potensi terjadinya kelongsoran. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan geometri lereng guna meningkatkan kestabilannya. Sebaliknya, apabila hasil analisis menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi stabil, maka desain lereng akan disesuaikan dengan standar operasional yang berlaku di PT. JMB. Proses evaluasi dilakukan terhadap lereng secara keseluruhan (*overall slope*) maupun lereng individu (*single slope*), dengan asumsi bahwa kondisi material berada dalam keadaan jenuh (*saturated*).

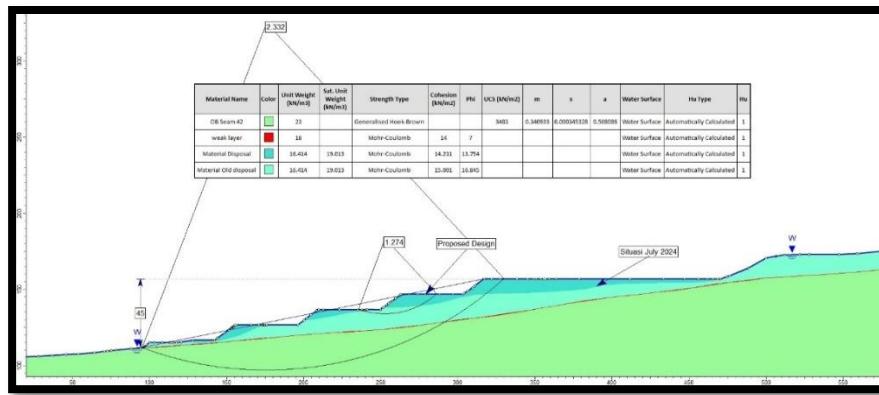


**Gambar 2** Peta Desain dan Sayatan

## Penampang A-A'

Secara keseluruhan, penampang A-A' memiliki geometri lereng dengan ketinggian sebesar 70 meter, *single slope* sebesar  $37^\circ$  dan *overall slope* sebesar  $10^\circ$ . Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,118. Nilai tersebut tergolong dalam kategori tidak aman, karena berada di bawah ambang batas faktor keamanan dinamis yang disyaratkan, yaitu  $\text{FK} < 1,1$ . Hasil analisis pada penampang A-A' dapat dilihat seperti pada gambar

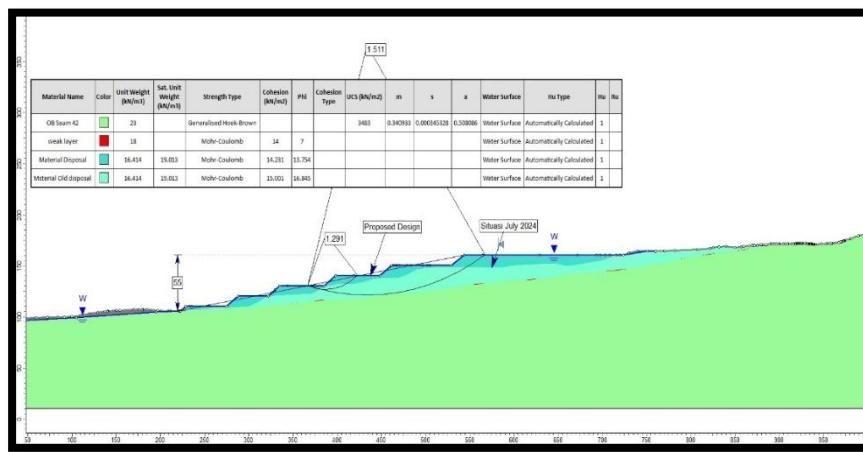


**Gambar 4** Analisis Kestabilan Pada Penampang B-B'**Tabel 4** Analisis Kestabilan Desain Disposal

Penampang	Faktor Keamanan	Tinggi Lereng Disposal	Single Slope	Overall Slope	Kondisi
B-B'	2,332	45 m	37°	13°	Stabil

**Penampang C-C'**

Penampang C-C' memiliki konfigurasi geometri lereng dengan ketinggian mencapai 54 meter, *single slope* sebesar  $37^\circ$  dan *overall slope* sebesar  $9^\circ$ . Berdasarkan hasil analisis terhadap kestabilan lereng, diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,511. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi lereng berada dalam keadaan stabil. Nilai tersebut telah memenuhi standar minimal faktor keamanan untuk kondisi dinamis, yaitu  $\text{FK} > 1,1$ .

**Gambar 5** Analisis Kestabilan Pada Penampang C-C'**Tabel 5** Analisis Kestabilan Desain Disposal

Penampang	Faktor Keamanan	Tinggi Lereng Disposal	Single Slope	Overall Slope	Kondisi
C-C'	1,511	54 m	37°	9°	Stabil

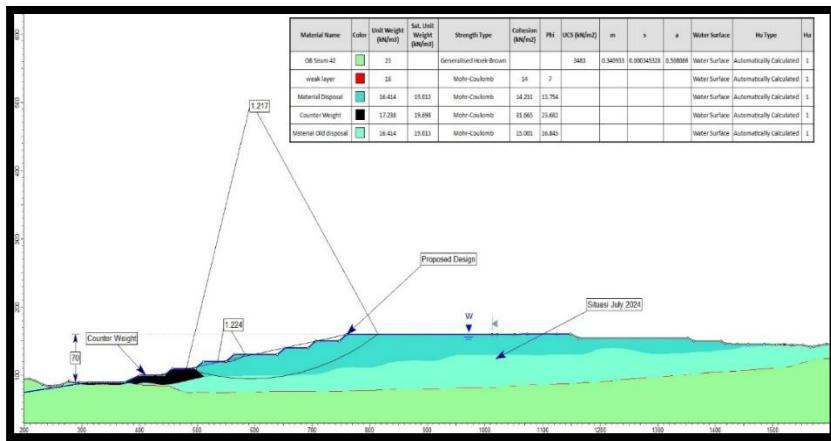
## **Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan *Counterweight***

Berdasarkan hasil analisis kestabilan desain lereng disposal pada penampang A–A', pada *overall slope*, diperoleh nilai faktor keamanan 1,118 yang berada di bawah ambang batas stabilitas, sehingga dikategorikan sebagai tidak aman. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan *counterweight* sebagai rekomendasi teknis guna meningkatkan kestabilan lereng pada area kaki disposal di penampang tersebut.

Struktur *counterweight*, atau yang dikenal sebagai struktur pemberat, berfungsi sebagai elemen penahan tambahan pada kaki lereng. Struktur ini dirancang untuk menambah beban vertikal pada kaki lereng, sehingga dapat meningkatkan kekuatan geser tanah, khususnya pada kondisi di mana kaki lereng terdiri dari material yang bersifat lunak dan rentan terhadap kelongsoran. Penambahan beban tersebut secara signifikan berkontribusi terhadap peningkatan panjang dan kedalaman bidang gelincir, serta memperbesar gaya penahan terhadap potensi kelongsoran. Dengan demikian, risiko deformasi atau pergerakan massa lereng dapat diminimalkan secara efektif. (Rodriguez dkk., 1988 dalam Arif).

Proses pembuatan Counterweight dimulai dengan kegiatan *cleaning base*, yaitu pembersihan lapisan dasar dari material spoil atau lumpur serta pembuatan keylock jika diperlukan sebagai pengunci konstruksi. Selanjutnya dilakukan pemilihan material, di mana biasanya digunakan claystone dengan ukuran fragmentasi maksimal 30 cm karena berpengaruh terhadap kualitas hasil akhir. Proses *dumping* material dilakukan menggunakan unit HD785 dan dibantu oleh bulldozer D85 untuk *spreading* material dengan ketebalan setiap lapisan sekitar  $\pm 50$  cm sesuai SOP perusahaan. Setelah itu, dilakukan *compacting* sebanyak delapan kali pada setiap lapisan untuk memastikan material mencapai tingkat kepadatan yang optimal.

Berikut desain rekomendasi untuk pembuatan *counterweight* pada disposal pit 302 PT. JMB



**Gambar 6** Rekomendasi Pembuatan *Counterweight* Pada Penampang A-A'

Penampang A–A' secara keseluruhan memiliki ketinggian lereng sebesar 70 meter dengan konfigurasi 7 jenjang. Panjang *bench* bervariasi antara 30 hingga 60 meter, dengan sudut kemiringan *overall slope* sebesar  $10^\circ$  dan *single slope* sebesar  $37^\circ$ . Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng dengan penerapan rekomendasi struktur *counterweight*, diperoleh nilai faktor keamanan *overall slope* pada penampang A–A' sebesar 1,217. Mengacu pada ketentuan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018, nilai tersebut melebihi batas minimum yang ditentukan ( $FK > 1,1$ ), sehingga lereng pada penampang A–A' dapat dikategorikan dalam kondisi aman.

Desain *counterweight* pada area *disposal* dirancang mengikuti batas *boundary* desain yang telah ditetapkan oleh tim geoteknik PT. Jembayan Muarabara. Geometri *counterweight* disesuaikan dengan kondisi morfologis pada setiap penampang (cross section) yang dianalisis, mengingat setiap sayatan memiliki kondisi dasar lereng (base) yang berbeda-beda. Material yang digunakan dalam pembangunan *counterweight* berasal dari timbunan overburden yang masih tersedia di dalam area pit, dengan jenis batuan dominan berupa *claystone*.

**Tabel 6** Material Properties *Counterweight*

Material	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Kohesi (kPa)	Phi
Claystone	16,414	14,231	13,754
Counterweight	17,238	31,665	23,682

*Counterweight* adalah struktur penahan lereng atau pemberat buatan yang dibangun di kaki lereng untuk meningkatkan stabilitas lereng. Struktur ini berfungsi memberikan tambahan massa atau beban di bagian bawah lereng guna menambah gaya penahan terhadap potensi kelongsoran. Dan buttress bukanlah jenis batuan, melainkan suatu elemen rekayasa teknik yang digunakan

dalam desain stabilisasi lereng, bendungan tanah, atau dinding penahan. Dalam konstruksi *counterweight* yang dibuat *counterweight* nya merupakan rekayasa teknik dari material *claystone* yang di padatkan menggunakan *compact* sehingga membuat nilai kohesinya menjadi meningkat.

### Hasil Uji Dynamic Cone Penetrometer

Setelah pembuatan counterweight dilakukan maka harus di lakukan quality control atau pengecekan kualitas untuk memastikan bahwa counterweight telah dibuat sesuai dengan rancangan yang telah direncanakan.

**Tabel 7** Menentukan Klasisifikasi Tingkat Kepadatan Material

No	Sample	Rata Rata Pukulan	Klasifikasi
1	DCP1	12,33333	<i>Effevtive Refusal</i>
2	DCP2	13,5	<i>Effevtive Refusal</i>
3	DCP3	5,5	<i>Recompacting</i>
4	DCP4	11,16667	<i>Effevtive Refusal</i>
5	DCP5	8,33333	<i>Effevtive Refusal</i>
6	DCP6	10,5	<i>Effevtive Refusal</i>
7	DCP7	10,83333	<i>Effevtive Refusal</i>
8	DCP8	11,33333	<i>Effevtive Refusal</i>
9	DCP9	10,16667	<i>Effevtive Refusal</i>

Pada pengujian *dynamic cone penetrometer* yang dilakukan pada pembuatan *counterweight* di disposal pit 302 PT. Jembayan Muarabara untuk setiap layerin baru yang baru saja di *compacting* harus di uji terdahulu gunanya untuk memastikan bahwa material *claystone* sudah benar benar padat dan sudah mendekati dengan nilai yang telah di harapkan sesuai dengan hasil uji laboratorium perusahaan.

Berdasarkan hasil pengujian DCP yang dilakukan, secara umum nilai rata-rata penetrasi menunjukkan hasil yang cukup baik dan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh perusahaan yaitu minimal 8 blow per 10 cm yang tercantum pada SOP JMB-GEO-P03 Kontruksi Dan Paska Kontruksi *Counterweight* di point 6.3 ayat 8. Sebagian besar titik pengujian memenuhi kriteria “Effective Refusal”, yang menunjukkan bahwa lapisan tanah memiliki kepadatan yang memadai. (Dapat dilihat pada lampiran A

Namun demikian, terdapat beberapa titik pengujian yang menunjukkan nilai rata-rata di bawah ambang batas minimum yang telah ditentukan oleh SOP perusahaan. Pada titik yang memiliki nilai rata-rata di bawah 8, mengindikasikan bahwa kepadatan tanah pada lokasi tersebut

belum optimal dan harus dicompacting ulang agar mendapatkan nilai yang lebih besar dan membuat material *claystone* menjadi homogen kembali.

Adapun hasil yang menunjukkan bahwa beberapa titik juga terdapat ukuran boulder (batu besar) dengan diameter lebih dari 30 cm, yang menyebabkan penetrasi alat menjadi tidak optimal dan mengindikasikan bahwa lapisan tanah belum mencapai kepadatan yang diinginkan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, disarankan agar titik yang terdapat boulder ditandai menggunakan pita sebagai penanda visual. Selanjutnya, boulder yang mengganggu perlu dihancurkan menggunakan *bucket excavator* agar dapat dipadatkan kembali yang membuat materialnya menjadi homogen dengan material sekitarnya.

Dengan melakukan langkah-langkah perbaikan tersebut, diharapkan seluruh area uji dapat memenuhi standar kepadatan yang seragam, mendukung kestabilan tanah, serta kelayakan konstruksi di atasnya.

Tabel 7 merupakan sampel dari keseluruhan data hasil pengujian di lapangan yang telah diolah dan diinput melalui perangkat lunak Microsoft Excel. Data pada tabel tersebut disajikan sebagai representasi dari data total yang diperoleh selama proses pengambilan sampel di lokasi.

Adapun seluruh data lengkap dari hasil pengujian akan dicantumkan secara menyeluruh pada bagian lampiran (lampiran B), guna memberikan informasi yang lebih detail dan memudahkan proses verifikasi serta analisis lanjutan.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan penilitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

- Material utama yang digunakan sebagai *counterweight* adalah *claystone* yang diperoleh dari hasil pengupasan (*overburden*) di dalam pit. Berdasarkan hasil uji laboratorium, *claystone* memiliki berat jenis kering antara 10,80 – 18,28 kN/m<sup>3</sup> dan berat jenih 14,99 – 21,38 kN/m<sup>3</sup> yang menunjukkan variasi yang berbeda tergantung kondisinya dan kohesi residu dengan rata-rata 31,70 kN/m<sup>2</sup> dengan sudut geser residual yaitu 25,86°. Claystone sangat kuat pada awalnya, tapi kekuatannya menurun setelah terjadi deformasi.
- Penampang A–A' menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 1,118, yang mengindikasikan bahwa lereng berada pada kategori tidak stabil berdasarkan pada ketentuan KEPMEN ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 dan perlu dilakukan perbaikan melalui rekayasa teknik seperti penambahan *counterweight*.

Penampang B-B' memiliki nilai faktor keamanan sebesar 2,332, yang termasuk kategori aman. Dan penampang C-C' memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1,511, yang termasuk kategori aman.

- Rekomendasi pembuatan *counterweight* untuk sayatan A-A' dengan material *claystone* yang dipadatkan mendapatkan nilai faktor keamanan *overall slope*nya yaitu 1,217, dimana telah sesuai dan dinyatakan dalam keadaan stabil dan aman.

## Saran

Adapun saran yang dapat diberikan yaitu

- Dalam proses desain dan pengawasan pembangunan disposal, penting untuk melibatkan tim geoteknik secara aktif, guna memastikan bahwa semua elemen geometri lereng sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.
- Sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan dengan memperhitungkan pengaruh jangka panjang, seperti perubahan kadar air musiman, deformasi bertahap (*creep*), serta beban operasional yang dinamis terhadap kinerja *counterweight*.

## DAFTAR REFERENSI

- Alejano, L. R., Pons, B., Bastante, F. G., Alonso, E., & Stockhausen, H. W. (2007). Slope geometry design as a means for controlling rockfalls in quarries. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*.
- Arirupa, G. (2021). *Analisis kestabilan lereng dengan pemodelan numerik menggunakan metode elemen hingga* [Skripsi, Universitas Hasanuddin]. Universitas Hasanuddin.
- ASTM International. (2010). *ASTM C670-10: Standard practice for preparing precision and bias statements for test methods for construction materials*. ASTM International.
- Balfas, M. D. (2015). *Geologi untuk pertambangan*. Graha Ilmu.
- Bowles, J. E. (1989). *Sifat-sifat fisis dan geoteknis tanah (mekanika tanah)*. Erlangga.
- Budi, G. S. (2011). *Pengujian tanah di laboratorium*. Yogyakarta.
- Craig, R. F. (1989). *Mekanika tanah*. Erlangga.
- Darwis. (2017). *Dasar-dasar teknik perbaikan tanah*. Pustaka AQ Nyutran MG II.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika tanah: Prinsip-prinsip rekayasa geoteknis* (Jilid I). Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (2006). *Mekanika tanah I*. Gadjah Mada University Press.

- Muhammad, Z. (2019). *Buku ajar pengantar geologi*. Duta Pustaka Ilmu.
- Permatasari, S., Rakhmadi, M. A., & Rizky, D. N. (2018). Analisis kepadatan tanah dengan menggunakan alat DCP (Dynamic Cone Penetrometer) di Desa Sungai Loban Kabupaten Tanah Bumbu. *Jurnal Politeknik Negeri Banjarmasin*, 1(2).
- Rumbiak, V. S. S. (2016). *Analisis perhitungan tingkat kestabilan lereng menggunakan metode Rock Mass Rating dan Slope Mass Rating pada area West Wanagon slope stability di PT Freeport Indonesia* [Skripsi, Universitas Cenderawasih].
- Santosa, B., Hendrawan, A., & Yulianto, T. (2006). *Dasar mekanika tanah*. Gunadarma.
- Soekoto, I. (1993). *Mempersiapkan lapisan dasar konstruksi 2: Rencana dan pelaksanaan konstruksi aspal untuk jalan raya dan landasan terbang*. Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Subianto, A. T., & Riswan. (2018). Analisis kestabilan lereng dan plan disposal pada pit Mulia PT Arutmin Indonesia, Kecamatan Kintap, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. *Jurnal Pertambangan*, 75–83.
- Suhendik, A. A., Oktaviani, R., & Trides, T. (2022). Studi perkerasan lapis jalan tambang dengan nilai CBR dan DCP. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 75–83. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i1.1019>
- Sukirman, S. (1999). *Perencanaan tebal struktur perkerasan lentur* (Vol. 53).
- Wesley, L. D., & Pranyoto, S. (2010). *Mekanika tanah untuk tanah endapan & residu*. Andi.