



**ANALISIS *SUBSIDENCE* DAN KESTABILAN LERENG
PADA *DISPOSAL AREA SUMP BATUTEGI* DI *SITE NORTH*
TUTUPAN, PT ADARO INDONESIA**

SKRIPSI

Oleh

**Muhammad Thoriq Maulana
191910901011**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERTAMBANGAN
JEMBER
2023**



**ANALISIS *SUBSIDENCE* DAN KESTABILAN LERENG
PADA *DISPOSAL AREA SUMP BATUTEGI* DI *SITE NORTH*
TUTUPAN, PT ADARO INDONESIA**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi S1 Teknik Pertambangan dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

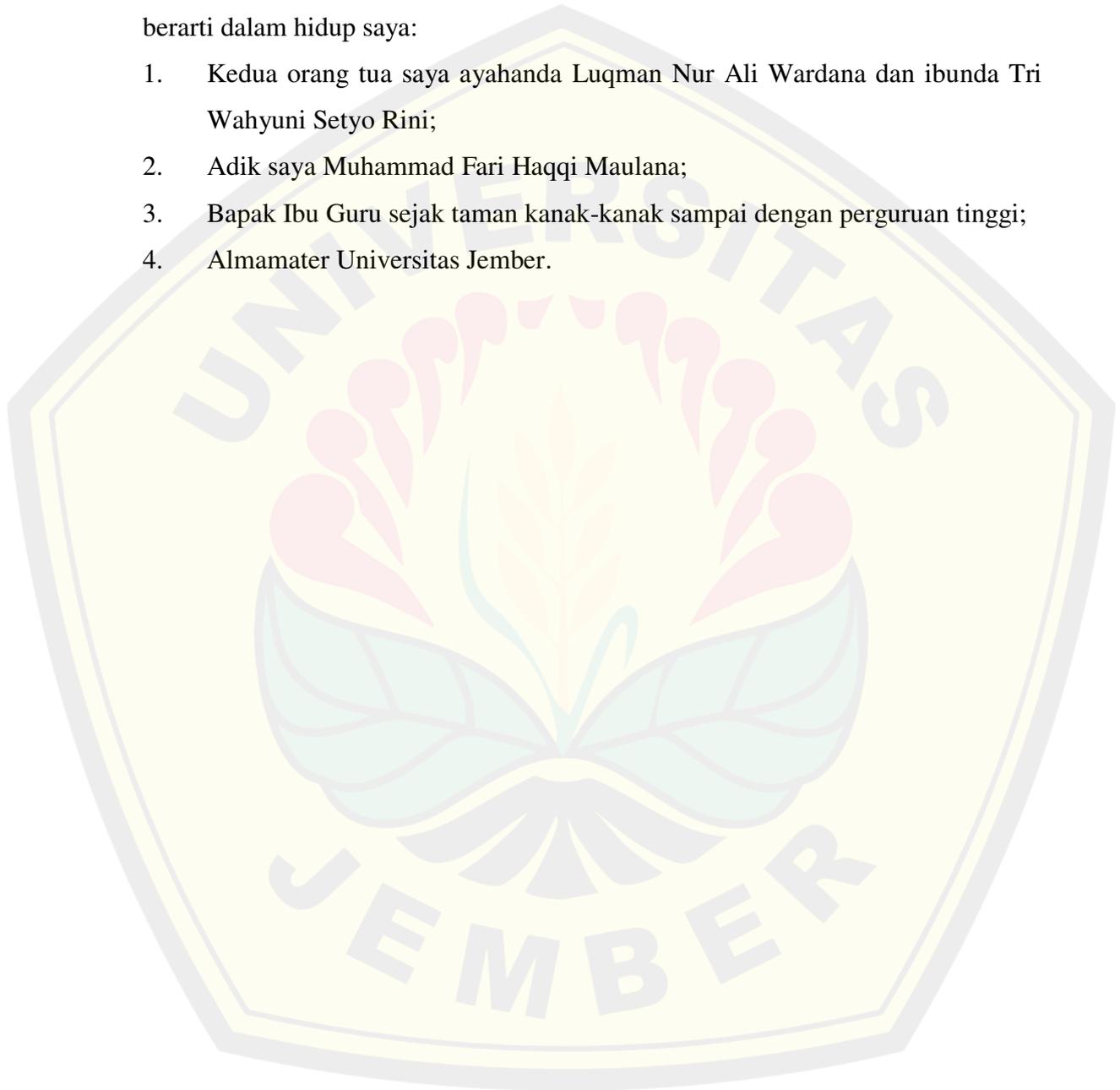
**Muhammad Thoriq Maulana
191910901011**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERTAMBANGAN
JEMBER
2023**

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan penyertaan-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Rasa terima kasih dengan penuh ketulusan hati, saya mempersembahkan skripsi ini kepada orang-orang yang berarti dalam hidup saya:

1. Kedua orang tua saya ayahanda Luqman Nur Ali Wardana dan ibunda Tri Wahyuni Setyo Rini;
2. Adik saya Muhammad Fari Haqqi Maulana;
3. Bapak Ibu Guru sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Almamater Universitas Jember.



MOTTO

Don't Be Sorry, Be Better

(Kratos dari God of War)



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Thoriq Maulana

NIM : 191910901011

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “*Analisis Subsidence dan Kestabilan Lereng pada Disposal Area Sump Batutege di Site North Tutupan, PT Adaro Indonesia*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan skripsi ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 23 Agustus 2023

Yang menyatakan,

Muhammad Thoriq Maulana

NIM 191910901011

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul “*Analisis Subsidence dan Kestabilan Lereng pada Disposal Area Sump Batutege di Site North Tutupan, PT Adaro Indonesia*” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Senin
Tanggal : 23 November 2023
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama

Nama : Ir. Fanteri Aji Dharma S., S.T., M.S. (.....)
NIP : 198804092019031012

2. Pembimbing Anggota

Nama : Ir. Haeruddin, S.Si., M.T. (.....)
NIP : 199001012019031016

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Ir. Siti Aminah, S.Si., M.T. (.....)
NIP : 198803232022032011

2. Penguji Anggota 1

Nama : Ir. Januar Fery Irawan, S.T., M.Eng. (.....)
NIP : 197601112000121002

ABSTRACT

This research focuses on the Batutegi Sump Disposal Area at Site North Tutupan of PT Adaro Indonesia, a coal mining company with a large and growing production target. This production growth results in an increase in the volume of overburden that must be removed and stockpiled. However, the problem faced is the presence of large amounts of mud in the bottom layer of the disposal, which can cause land subsidence in the disposal area. This study uses primary and secondary data. The primary data used were Unconfined Compressive Test (UCT) results from overburden and mud soil samples. This data, along with the initial topography of the Batutegi Sump area, the design of the Batutegi Sump Stage 7 Disposal Area, and material properties, were used for modeling the disposal using Minescape and Rockscience Slide software. The analysis was conducted using the Limit Equilibrium Method in the form of the Bishop, Janbu, and Morgenstern-Price Methods. The results showed that the average subsidence was about 2.34 cm, with the factor of safety before subsidence ranging from 1.23450 to 2.09151, depending on the method used. After subsidence, the factor of safety decreased, but not significantly. Across the three methods, the effect of subsidence on the factor of safety of the disposal ranged from 0.52% to 38.38%. These findings suggest that the use of laboratory compressive strength tests in measuring subsidence at the Batutegi Sump Disposal Area may require review, as the assumptions used in the factor of safety analysis appear to have a high degree of uncertainty. In addition, the trendline shows that the greater the subsidence, the smaller the factor of safety. This highlights the importance of managing and addressing subsidence issues in large coal mining operations, such as those faced by PT Adaro Indonesia.

Keywords: *Unconfined Compression Test, Land Subsidence, Slope Stability*

RINGKASAN

Analisis *Subsidence* dan Kestabilan Lereng pada *Disposal Area Sump* Batutegi di *Site North Tutupan*, PT Adaro Indonesia; Muhammad Thoriq Maulana, 191910901011; 2023; 37 halaman; Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

PT Adaro Indonesia merupakan salah satu perusahaan Perjanjian Karya Pengusahaan Penambangan Batubara (PKP2B) dengan target produksi yang besar dan terus meningkat setiap tahunnya. Target produksi yang besar membuat tanah penutup (*overburden*) yang perlu dibongkar jumlahnya semakin besar juga. Sehingga, perlu disediakan tempat penimbunan atau yang biasa disebut *disposal*. Salah satu masalah yang terdapat pada *Disposal Area Sump* Batutegi di *Site North Tutupan* PT Adaro Indonesia adalah terdapatnya lumpur (*mud*) dalam jumlah besar pada lapisan dasar *disposal* yang menjadi bidang gelincir dan dapat menyebabkan penurunan muka tanah (*land subsidence*) pada *disposal* di atasnya.

Penelitian ini dilakukan pada *Disposal Area Sump* Batutegi di *Site North Tutupan* PT Adaro Indonesia. Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder yang selanjutnya dilakukan analisis data. Pengolahan data dilakukan pada hasil *Unconfined Compressive Test* (UCT) menggunakan sampel tanah *overburden* dan lumpur di laboratorium geoteknik PT Adaro Indonesia menggunakan *Universal Testing Machine*. Selanjutnya, data hasil uji kuat tekan, topografi *Sump* Batutegi *Site North Tutupan*, desain *Disposal Area Sump* Batutegi *Stage 7* dan sifat material area *Sump* Batutegi digunakan untuk memodelkan *disposal* melalui *Software Minescape* dan *Rockscience Slide*. Setelah semua data diolah, data hasil uji *Unconfined Compressive Test* (UCT) dan hasil pemodelan *disposal* dapat dianalisis. Analisis data dilakukan untuk mengetahui besar *subsidence* yang terjadi dan pengaruhnya terhadap kestabilan lereng pada *Disposal Area Sump* Batutegi site *North Tutupan* sebelum dan sesudah *subsidence* terjadi. Kestabilan lereng *disposal* dianalisis menggunakan Metode Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) berupa Metode Bishop, Janbu, dan Morgenstern-Price pada *Software Slide*.

Berdasarkan penelitian ini didapatkan dengan menggunakan pendekatan *Unconfined Compressive Test* (UCT) atau uji kuat tekan di laboratorium, *subsidence* yang terjadi pada *Disposal Area Sump* Batutegi rata-rata sekitar 2,34 cm. Melalui *subsidence* yang sudah diketahui, dihasilkan faktor keamanan menggunakan Metode Bishop, Janbu, dan Morgenstern-Price berturut-turut sebesar 2,07302, 2,09151, dan 1,54059 pada garis penampang A-A' dan 1,79050, 1,81814, dan 1,23450 sebelum *subsidence* terjadi. Setelah *subsidence* terjadi, faktor keamanan mengalami penurunan yang tidak signifikan pada ketiga metode. Pada Metode Bishop, faktor keamanan turun dengan rata-rata sebesar 2,07271 pada garis penampang A-A' dan 1,79022 pada garis penampang B-B'. Pada Metode Janbu, faktor keamanan turun dengan rata-rata sebesar 2,09117 pada garis penampang A-A' dan 1,81781 pada garis penampang B-B'. Pada Metode Morgenstern-Price, faktor keamanan turun dengan rata-rata sebesar 1,54051 pada garis penampang A-A' dan 1,23450 pada garis penampang B-B'.

Selanjutnya, data dianalisis menggunakan uji regresi linier sederhana untuk mengetahui pengaruh *subsidence* terhadap faktor keamanan pada *disposal*. Dari ketiga metode yang digunakan, didapatkan pengaruh *subsidence* terhadap faktor keamanan pada *disposal* menggunakan pendekatan uji kuat tekan di laboratorium sekitar 0,52% sampai 38,38%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan pendekatan uji kuat tekan di laboratorium, penerapan asumsi pada *subsidence* di *Disposal Area Sump* Batutegi dapat dikatakan rendah sehingga masih perlu adanya kajian ulang mengenai pendekatan ini. Dan juga melalui *trendline* yang didapatkan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar *subsidence* yang terjadi, maka faktor keamanan yang dihasilkan akan semakin kecil.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis *Subsidence* dan Kestabilan Lereng pada *Disposal Area Sump* Batutegi di *Site North* Tutupan, PT Adaro Indonesia”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Dr. Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Ir. Januar Fery Irawan, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi (S1) Teknik Pertambangan;
3. Ir. Fanteri Aji Dharma S, S.T., M.S. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Haeruddin, S.Si., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota.
4. Siti Aminah S.Si., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan pembelajaran demi perbaikan tugas akhir ini.
5. Taufiq Bakhtiar Ramadhan selaku Pembimbing Lapangan saat kegiatan penelitian di PT Adaro Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun pada penulisan tugas akhir ini.

Jember, 22 November 2023

Penulis

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
ABSTRACT	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Disposal</i>	5
2.2 Penurunan Muka Tanah (<i>Land Subsidence</i>).....	5
2.3 Kestabilan Lereng.....	6
2.4 Sifat Material Tanah.....	7
2.5 <i>Unconfined Compression Test (UCT)</i>	8
2.6 Metode Kesetimbangan Batas (<i>Limit Equilibrium Method</i>).....	9
2.7 <i>Software Minescape dan Rocscience Slide</i>	12
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	13
3.2 Pengumpulan Data.....	14
3.3 Langkah-langkah Penelitian	14
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Pemodelan <i>Disposal WDNW Site North</i> Tutupan Area <i>Sump</i> Batutegi....	17
4.2 <i>Subsidence</i> di <i>Disposal WDNW Site North</i> Tutupan Area <i>Sump</i> Batutegi..	20
4.3 Kestabilan <i>Disposal WDNW Site North</i> Tutupan Area <i>Sump</i> Batutegi...	25
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	34

5.1	Kesimpulan.....	34
5.2	Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA.....		35
LAMPIRAN.....		37



DAFTAR TABEL

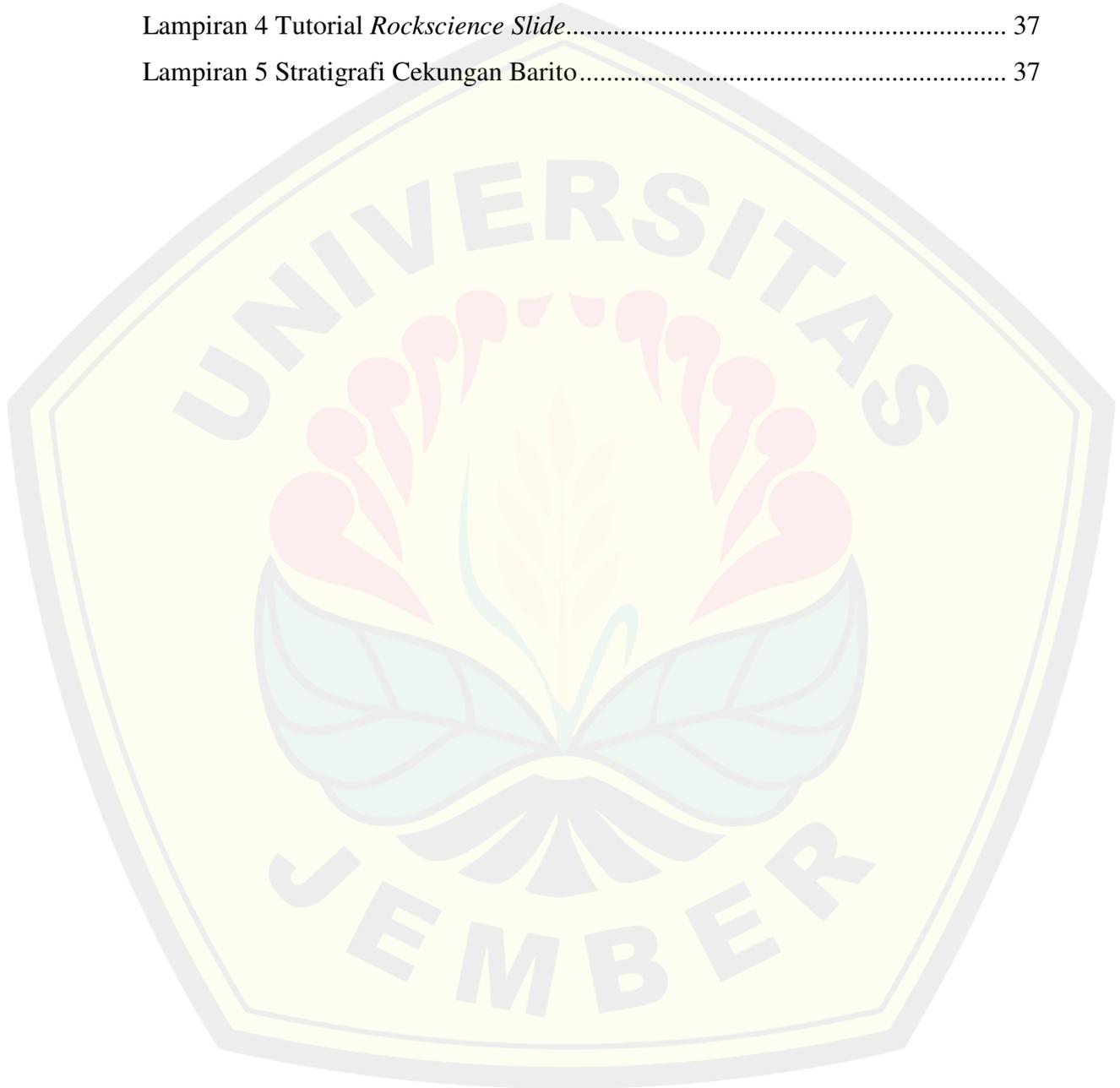
Tabel 3.1 Waktu Penelitian	14
Tabel 4.1 Sifat Material <i>Disposal Sump</i> Batutegei.....	18
Tabel 4.2 Parameter <i>Ground Pressure Dump Truck</i> PT Adaro Indonesia	22
Tabel 4.3 Hasil Uji Kuat Tekan pada <i>Universal Testing Machine</i>	24
Tabel 4.4 Nilai Faktor Keamanan Lereng Tambang.....	25
Tabel 4.5 Kestabilan <i>Disposal</i> Metode Bishop Garis Penampang A-A' dan B-B' ..	26
Tabel 4.6 Kestabilan <i>Disposal</i> Metode Janbu Garis Penampang A-A' dan B-B'	28
Tabel 4.7 Kestabilan <i>Disposal</i> Metode Morgenstern-Price Garis Penampang A-A' dan B-B'	30
Tabel 4.8 Koefisien Determinasi (R^2) dan Korelasi (r) antara <i>Subsidence</i> dan Faktor Keamanan.....	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Finger Disposal</i>	5
Gambar 2.2 Faktor keamanan sederhana	6
Gambar 2.3 Skema prinsip pembebanan uji kuat tekan bebas.....	8
Gambar 2.4 Metode Bishop	10
Gambar 2.5 Metode Janbu	11
Gambar 2.6 Metode Morgenstern-Price.....	12
Gambar 3.1 Kondisi <i>Sump</i> Batutegi.....	13
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.....	16
Gambar 4.1 Garis penampang pada area <i>Disposal Sump</i> Batutegi.....	17
Gambar 4.2 Hasil pemodelan garis penampang A-A'.....	19
Gambar 4.3 Hasil pemodelan garis penampang B-B'	20
Gambar 4.4 Universal Testing Machine	21
Gambar 4.5 (a) Sampel lumpur dalam <i>mold</i> ; (b) Sampel tanah dan lumpur dalam <i>mold</i>	21
Gambar 4.6 Uji kuat tekan pada <i>Universal Testing Machine</i>	22
Gambar 4.7 Peta Sebaran Tanah Lunak Provinsi Kalimantan Selatan.....	24
Gambar 4.8 Hubungan <i>subsidence</i> total dengan FK Metode Bishop garis penampang A-A' dan B-B'	27
Gambar 4.9 Hubungan <i>subsidence</i> total dengan FK Metode Janbu garis penampang A-A' dan B-B'	29
Gambar 4.10 Hubungan <i>subsidence</i> dengan FK Metode Morgenstern-Price garis penampang A-A' dan B-B'.....	31

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Instruksi Kerja Uji Kuat Tekan	37
Lampiran 2 Kestabilan Disposal	37
Lampiran 3 Tutorial Membuat <i>Cross Section</i> di <i>Minescape</i>	37
Lampiran 4 Tutorial <i>Rockscience Slide</i>	37
Lampiran 5 Stratigrafi Cekungan Barito.....	37



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Adaro Indonesia merupakan salah satu perusahaan Perjanjian Karya Pengusahaan Penambangan Batubara (PKP2B) yang mencakup area 35.800 ha dengan target produksi hingga 60 juta ton pada tahun 2022 dan terus meningkat setiap tahunnya. Metode penambangan yang dilakukan di PT Adaro Indonesia adalah tambang terbuka yang menggunakan kombinasi kerja alat gali-muat dengan alat angkut untuk kegiatan pengupasan lapisan tanah penutup dan penggalian batubara. Target produksi yang besar membuat tanah penutup (*overburden*) yang perlu dibongkar jumlahnya semakin besar juga. Sehingga, perlu disediakan tempat penimbunan atau yang biasa disebut *disposal*. Pembuatan *disposal* harus direncanakan dengan baik sehingga bisa menyesuaikan dengan target dan tentunya harus aman. Kestabilan *disposal* menjadi faktor penting karena berhubungan langsung dengan keselamatan pekerja, keamanan alat, dan kelancaran produksi (Nurahma, dkk. 2021).

Berdasarkan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik (Kepmen ini juga menimbang kepada Peraturan Menteri ESDM No. 26 Tahun 2018), *disposal* harus dibangun di tempat atau area tambang yang tidak terdapat cadangan ekonomisnya, dalam hal ini perusahaan tambang dapat menggunakan bekas area pertambangan yang sudah habis cadangannya (*in-pit disposal*) atau membuat *disposal* baru di luar area pit (*out-pit disposal*). Dalam area penambangan, *disposal* biasa digunakan untuk membuang material *waste*. Ketika *disposal* sudah mencapai titik optimum, maka *disposal* akan direklamasi dan ditata kembali agar nantinya bentang alam area tersebut dapat mendekati rona awalnya.

Kajian geoteknik yang matang diperlukan untuk menghindari terjadinya longsor di masa yang akan datang. Jika tidak dilakukan analisis kestabilan lereng serta penanganan yang maksimal terhadap longsor yang telah terjadi, maka dapat menyebabkan kerugian seperti kegiatan penambangan yang terganggu, biaya yang

akan dikeluarkan untuk membersihkan longsor, bahkan bisa menyebabkan kerugian korban jiwa (Putri dan Saldy, 2021).

Metode Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method/LEM*) merupakan suatu pendekatan yang banyak digunakan dalam menuntaskan bermacam permasalahan instan terkait dengan analisis kestabilan lereng. Metode analisis LEM telah diterapkan selama bertahun-tahun. Oleh karena itu, para *engineer* menguasai praktik pada metode ini yang memudahkan pengguna dan mendapatkan nilai *safety factor* yang relatif baik untuk kasus tertentu yang menjadi kelebihan metode LEM (Siregar, dkk. 2021).

Berdasarkan *Pit Schedulling 2022 Constraint* PT Adaro Indonesia, terdapat aktivitas pembentukan *base* kaki *Disposal Waste Dump North-West (WDNW)* Timur di Pit Tutupan area *Sump* Batutegi yang harus diselesaikan bulan April 2022. *Project* ini perlu dilakukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan kapasitas *Disposal Pit North IPPKH* yang sudah di rencanakan. Apabila *project* ini tidak berjalan sesuai rencana, maka Operasional *Pit North IPPKH 2022* akan terganggu. Dampak yang akan terjadi jika *project* tersebut tidak berjalan sesuai rencana adalah kapasitas *disposal* jarak dekat berkurang yang mengakibatkan volume target *overburden (OB)* dan *coal* terkoreksi serta jarak *pit to disposal* akan lebih jauh.

Perluasan *disposal* pada area WDNW Tutupan direncanakan akan menimbun bekas *sump*. Penimbunan pada area ini dilakukan tanpa melakukan *treatment sludge*. Material lumpur atau *sludge* berpotensi menjadi bidang gelincir yang dapat menyebabkan kelongsoran. Pembebanan dari tanah timbunan pada bidang lemah berupa lumpur dapat menyebabkan terjadinya penurunan muka tanah (*land subsidence*) (Muchni, 2018). Penurunan muka tanah dapat terjadi akibat adanya konsolidasi, yaitu penurunan permukaan tanah sehubungan dengan proses pemadatan atau perubahan volume suatu lapisan tanah. Proses ini dapat berlangsung lebih cepat bila terjadi pembebanan yang melebihi faktor daya dukung tanahnya ataupun pengambilan air tanah yang berlebihan dan berlangsung relatif cepat (Lesmana, 2020).

Salah satu masalah yang terdapat pada *Disposal Area Sump* Batutegi di *Site North* Tutupan PT Adaro Indonesia adalah terdapatnya lumpur (*mud*) dalam jumlah

besar pada lapisan dasar *disposal* karena area ini merupakan area bekas *sump*. Semakin banyak lumpur yang ada di area dasar *disposal* dikhawatirkan akan semakin besar potensi kelongsoran, karena lumpur dapat berperan sebagai bidang gelincir yang dapat menyebabkan *disposal* mudah longsor. Selain itu, *disposal* yang ditimbun di atas area dasar berupa lumpur, apabila mendapat pembebanan yang berlebih, akan mengalami penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang dapat menyebabkan terganggunya kestabilan *disposal*. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan analisis mengenai *subsidence* yang terjadi pada *disposal* di area *Sump* Batutege. Setelah kondisi *subsidence* diketahui, akan dilakukan analisis kestabilan *disposal* tersebut menggunakan Metode Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) berupa Metode Bishop, Janbu, dan juga Morgenstern-Price.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Berapa *subsidence* yang terjadi pada *Disposal Area Sump* Batutege *Site North* Tutupan melalui pendekatan uji kuat tekan dengan *Universal Testing Machine*?
2. Bagaimana kestabilan *Disposal Area Sump* Batutege *Site North* Tutupan sebelum dan sesudah *subsidence* terjadi?
3. Bagaimana *subsidence* memengaruhi kestabilan *Disposal Area Sump* Batutege *Site North* Tutupan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Lokasi penelitian berada di *Site North* Tutupan di dalam area PKP2B PT Adaro Indonesia, Tabalong, Kalimantan Selatan.
2. Analisis kestabilan *disposal* dalam penelitian ini dilakukan menggunakan *Software Minescape* dan *Rocscience Slide*.
3. Uji lab yang digunakan adalah uji kuat tekan menggunakan *Universal Testing Machine*.
4. σ_3 pada uji lab dan pemodelan dianggap sama.

5. Analisis kestabilan lereng dilakukan pada design *Disposal Sump* Batutegi *Stage 7* Tahun 2021.
6. Nilai faktor keamanan (FK) yang dikatakan layak dalam penelitian ini yaitu $FK \geq 1,2$ sesuai Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM 2018.
7. Tidak memasukkan mengenai perhitungan curah hujan dan pengaruh getaran (*seismic load*) tanah pada analisis kestabilan *disposal*.
8. Penelitian ini tidak membahas mengenai biaya pada pembuatan *disposal*.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengukur *subsidence* yang terjadi pada *Disposal Area Sump* Batutegi *Site North* Tutupan melalui pendekatan uji kuat tekan dengan *Universal Testing Machine*.
2. Menganalisis kestabilan *Disposal Area Sump* Batutegi *Site North* Tutupan sebelum dan sesudah *subsidence* terjadi.
3. Menganalisis pengaruh *subsidence* terhadap kestabilan *Disposal Area Sump* Batutegi *Site North* Tutupan.

1.5 Manfaat Penelitian

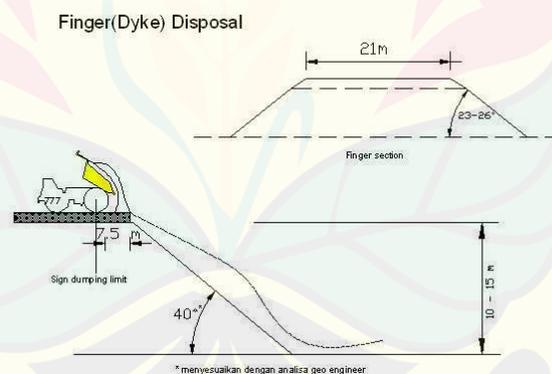
Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi untuk *disposal* di atas lumpur dan pendekatan untuk uji lainnya.
2. Hasil penelitian ini dapat menjadi rekomendasi yang digunakan untuk pemodelan desain akhir pada *Disposal Sump* Batutegi *Site North* Tutupan PT Adaro Indonesia.
3. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Disposal*

Disposal adalah suatu tempat yang dijadikan untuk pembuangan *overburden*. Penentuan lokasi *disposal* perlu diperhatikan agar tidak mengganggu proses eksploitasi pada saat sekarang hingga akhir tambang. Untuk luasan *disposal* dirancang sesuai dengan jumlah *overburden* yang akan digali setiap bulannya. *Disposal* biasanya dibuat pada lubang-lubang bekas penambangan. Ketika lubang tersebut telah penuh, maka permukaan dari *disposal* ini akan ditutupi dengan lapisan *overburden* dan *top soil* untuk dijadikan daerah penghijauan (Yuliana dan Sepriadi, 2019). Salah satu tipe *disposal* yang umum digunakan adalah *Finger Disposal*. *Finger Disposal* merupakan *disposal* yang dibuat maju dengan bantuan *dozer*. *Disposal* tipe ini memiliki ciri-ciri yaitu memiliki ketinggian kurang dari 15 meter dengan kemiringan lereng kurang dari 40° . *Dozer* mendorong material buangan dari jarak 7,5 meter dari *crest* yang merupakan posisi truck menongkang muatannya (Gambar 2.1) (Sunarno, 2008).



Gambar 2.1 *Finger Disposal* (Sumber: Sunarno, 2008)

2.2 Penurunan Muka Tanah (*Land Subsidence*)

Penurunan muka tanah (*land subsidence*) merupakan suatu proses gerakan penurunan muka tanah yang didasarkan atas suatu datum tertentu (kerangka referensi geodesi) dimana terdapat berbagai macam variabel penyebabnya. Penurunan muka tanah ini diakibatkan oleh banyak hal seperti pembebanan di atas permukaan, hilangnya air tanah akibat eksploitasi berlebihan, gempa yang

mengakibatkan rusaknya struktur tanah, ketidakstabilan bidang tanah akibat proses tertentu, dan sebagainya. Penurunan muka tanah ini secara tidak langsung merupakan pemaksaan memadatkan struktur tanah yang belum padat menjadi padat. Umumnya hal ini terjadi pada daerah yang tadinya berupa rawa, delta, endapan banjir dan sebagainya yang dialihkan fungsikan tataguna lahannya tanpa melakukan rekayasa tanah terlebih dahulu (Haris, 2018).

2.3 Kestabilan Lereng

Menurut Ramadhi (2019), penelitian terhadap kemantapan suatu lereng harus dilakukan bila longsor lereng yang terjadi dapat menimbulkan akibat yang merusak dan mengancam keselamatan. Kestabilan lereng bergantung pada gaya penggerak dan penahan yang ada pada lereng tersebut. Gaya penggerak adalah gaya-gaya yang mengakibatkan lereng longsor, sedangkan gaya penahan adalah gaya-gaya yang mempertahankan kemantapan lereng tersebut. Jika gaya penahannya lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut bisa dibidang dalam keadaan mantap (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Faktor keamanan sederhana (Sumber: Arif, 2016)

Stabilitas lereng merupakan suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan penggalian dan penimbunan tanah, batuan dan bahan galian, karena menyangkut persoalan keselamatan manusia (pekerja), keamanan peralatan serta kelancaran produksi. Gangguan terhadap kestabilan terjadi bilamana tahanan geser tanah tidak dapat mengimbangi gaya-gaya yang menyebabkan gelincir pada bidang longsor. Untuk ketepatan suatu analisis keamanan dan pengamanan suatu lereng terhadap bahaya longsor, perlu dilakukan diagnosis terhadap faktor-faktor kelongsoran. Dari pengamanan, maka perlu diketahui lebih rinci penyebab terjadinya suatu longsor, antara lain:

- a. Semakin terjal suatu lereng akan semakin besar kemungkinan untuk longsor.
- b. Semakin tinggi lereng akan semakin besar longsornya.
- c. Peningkatan beban permukaan akan meningkatkan tegangan dalam tanah termasuk meningkatnya tegangan air pori. Hal ini akan menurunkan stabilitas lereng dan sering terjadi karena adanya pembangunan di daerah tebing seperti jalan, gedung dan lain-lain.
- d. Perubahan kadar air, baik karena air hujan maupun resapan air tempat lain dalam tanah. Ini akan segera meningkatkan kadar air dan menurunkan kekuatan geser dalam lapisan tanah.
- e. Aliran air tanah akan mempercepat terjadinya longsor, karena air bekerja sebagai pelumas. Bidang kontak antar butiran melemah karena air dapat menurunkan tingkat kelekatan butir.
- f. Pengaruh getaran berupa gempa, ledakan dan getaran mesin dapat mengganggu kekuatan geser dalam tanah.
- g. Penggundulan daerah tebing menyebabkan perubahan kandungan air tanah dalam rongga dan akan menurunkan stabilitas tanah. Faktor air sangat berpengaruh terhadap keseimbangan dalam tanah.

2.4 Sifat Material Tanah

Menurut Simbolon dkk. (2020), sifat fisik dan mekanik tanah yang diperlukan dalam melakukan analisa kestabilan lereng antara lain:

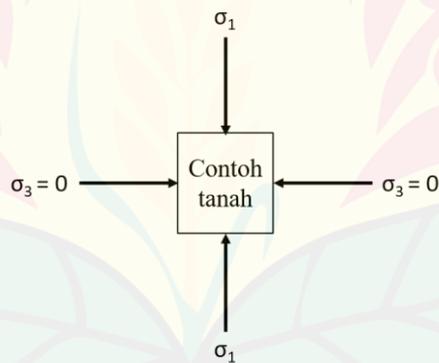
- a. Bobot isi (γ)
Bobot isi merupakan perbandingan antara berat dengan volume material dan dinyatakan dalam satuan berat per volume. Semakin besar bobot isi batuan maka gaya penggerak yang menyebabkan lereng longsor akan semakin besar sehingga kemantapan lereng akan semakin berkurang.
- b. Sudut geser dalam (ϕ)
Sudut geser dalam merupakan sudut antara hubungan tegangan normal dengan tegangan geser dalam material tanah/batuan. Semakin besar sudut dalam material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenalkan.

c. Kohesi (c)

Kohesi merupakan kekuatan tarik menarik antara butiran tanah dan dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kekuatan geser berbanding lurus dengan kohesi tanah, sehingga jika kekuatan geser besar maka harga kohesi dari tanah juga akan semakin besar. Nilai faktor keamanan yang sama dapat dibuat dengan kemiringan yang menyesuaikan dengan nilai kohesinya. Artinya, jika tanah memiliki kohesi besar dapat dibuat lereng dengan kemiringan yang besar pula.

2.5 *Unconfined Compression Test (UCT)*

Menurut Wiqoyah dkk. (2018), uji kuat tekan bebas atau UCT (*Unconfined Compression Test*) merupakan uji yang dilakukan di laboratorium untuk mengukur seberapa besar kuat dukung tanah menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya dan juga regangan tanah akibat tekanan tersebut. Pada saat pengujian, benda uji diberi tegangan vertikal, sedangkan tegangan selnya sama dengan nol (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Skema prinsip pembebanan uji kuat tekan bebas (Sumber: Wiqoyah dkk., 2018)

Pada saat benda uji diberi beban maka luas contoh di bagian tengah akan membesar seiring dengan ditambahkannya tegangan. Tegangan aksial berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan. Pada saat keruntuhannya karena $\sigma_3 = 0$, maka:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u \quad (2.1)$$

Kohesi tanah undrained (c_u) adalah:

$$c_u = \frac{q_u}{2} \quad (2.2)$$

dengan:

σ_1 = tegangan utama mayor tegangan aksial (kg/cm^2)

σ_3 = tegangan kengkang atau tegangan sel (kg/cm^2)

$\Delta\sigma_f$ = tegangan deviator (kg/cm^2)

q_u = kuat tekan bebas (kg/cm^2)

c_u = kohesi tanah undrained (kg/cm^2)

Rumus-rumus yang digunakan untuk pengujian kuat tekan bebas adalah sebagai berikut :

1) Regangan aksial (ϵ)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \quad (2.3)$$

2) Tegangan normal rata-rata (σ_r)

$$\sigma = \frac{P}{A_r} \quad (2.4)$$

3) Luas penampang benda uji rata-rata/terkoreksi (A_r)

$$A_r = \frac{A_o}{1 - e} \quad (2.5)$$

dengan:

ϵ = regangan aksial (%)

ΔL = deformasi (cm)

σ_r = tegangan normal rata-rata (kg/cm^2)

P = beban (kg)

A_r = luas penampang rata-rata (cm^2)

A_o = luas penampang semula (cm^2)

L_o = tinggi benda uji semula (cm)

N = pembacaan dial beban (div)

P_a = beban normal (kg)

2.6 Metode Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*)

Semua metode keseimbangan batas menggunakan persamaan Mohr-Coulomb untuk menentukan kuat geser (τ_f) di sepanjang permukaan geser. Tegangan geser di mana tanah longsor didefinisikan sebagai kuat geser tanah.

Menurut Janbu (1973), kesetimbangan batas ada ketika tegangan geser penggerak (τ) dinyatakan sebagai fraksi dari kuat geser. Nash (1987) mengatakan “Pada saat longsor, kuat geser sepenuhnya bergerak sepanjang permukaan longsoran saat kondisi kritis”. Kuat geser biasanya dinyatakan dengan persamaan linear Mohr-Coulomb, dimana τ_f dan τ dinyatakan dengan (Aryal, 2006):

$$\text{Kuat geser (penahan):} \quad \tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' \text{ or } (a + \sigma') \tan \phi' \quad (2.6)$$

$$\text{Kuat geser (penggerak):} \quad \tau = \frac{\tau_f}{F} = \frac{c' + \sigma' \tan \phi'}{F} \quad (2.7)$$

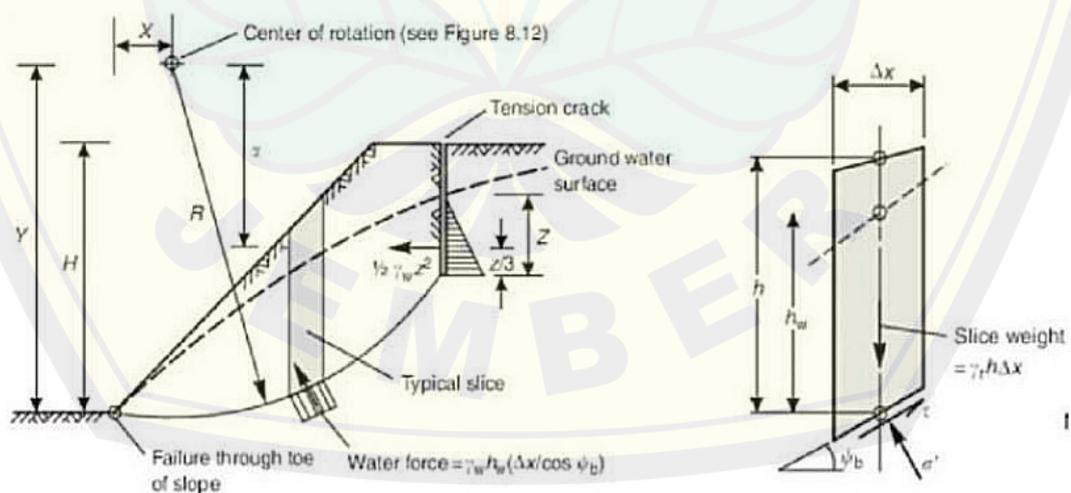
dimana,

a , c' dan ϕ' = gaya tarik, kohesi dan sudut gesek

F = faktor keamanan

2.5.1 Metode Bishop

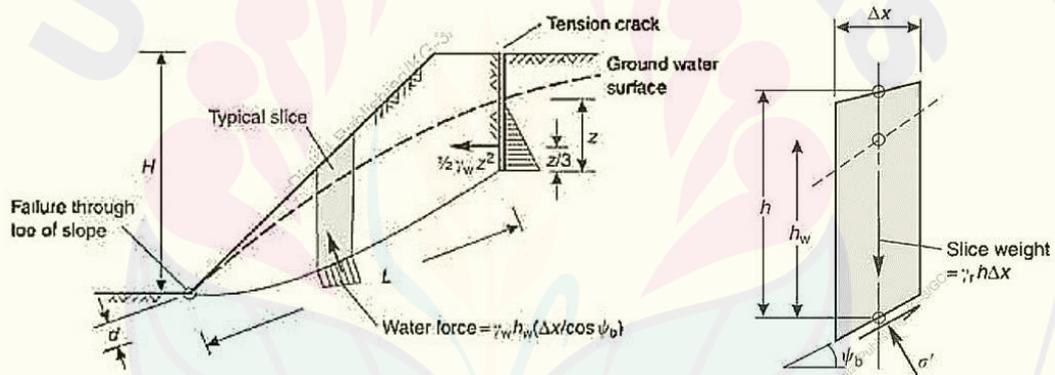
Metode Bishop adalah metode yang diperkenalkan oleh A.W. Bishop dimana gaya-gaya yang diperhatikan bekerja pada tiap potongan. Metode Bishop dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk lingkaran (*circular*). Dalam metode ini diasumsikan bahwa gaya-gaya normal bekerja di pusat alas potongan dan bisa ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya pada potongan secara vertikal atau normal. Metode Bishop menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal (Arif, 2016).



Gambar 2.4 Metode Bishop (Sumber: Arif, 2016)

2.5.2 Metode Janbu

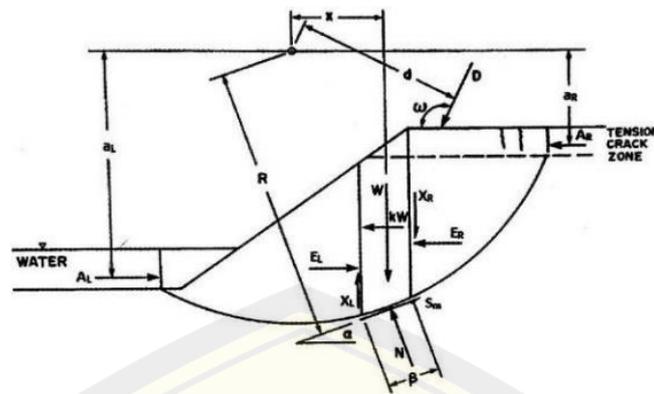
Metode Janbu adalah salah satu dari metode yang banyak digunakan untuk menganalisis kemantapan lereng yang memiliki permukaan bidang gelincir busur lingkaran (*circular*) maupun tidak (*non-circular*). Janbu merumuskan persamaan umum kesetimbangan dengan menyelesaikan secara vertikal dan horizontal pada dasar tiap-tiap irisan dengan memperhitungkan seluruh kesetimbangan gaya. Metode ini memiliki asumsi yang sama dengan metode Bishop yang mengasumsikan bahwa gaya normal antar irisan diperhitungkan tetapi gaya geser antar irisan diabaikan atau bernilai nol. Perbedaan antara metode bishop sederhana dan metode Janbu sederhana terletak pada penurunan angka faktor keamanan. Bishop menurunkan angka faktor keamanan dari kesetimbangan vertikal sedangkan Janbu menurunkan angka faktor keamanan dari kesetimbangan horizontal (Busra dan Anaperta, 2021).



Gambar 2.5 Metode Janbu (Sumber: Arif, 2016)

2.5.3 Metode Morgenstern-Price

Metode Morgenstern-Price merupakan salah satu metode analisis yang didasarkan pada prinsip kesetimbangan batas, proses analisisnya merupakan hasil dari kesetimbangan setiap gaya-gaya normal dan momen yang bekerja pada tiap irisan dari bidang longsor lereng tersebut. Kondisi kesetimbangan yang dipenuhi yaitu kesetimbangan gaya vertikal dan horizontal, serta kesetimbangan momen (Arif, 2016).



Gambar 2.6 Metode Morgenstern-Price (Sumber: Arif, 2016)

2.7 *Software Minescape dan Rocscience Slide*

Minescape merupakan *software* perencanaan tambang terpadu yang dirancang khusus untuk industri pertambangan. *Software* ini mencakup semua aspek informasi teknis tambang, mulai dari data eksplorasi hingga penjadwal produksi tambang. *Software Minescape* mendukung berbagai macam *software* aplikasi khusus yang memungkinkan secara interaktif dalam membuat dan mengolah model-model geologi tiga dimensi serta desain tambang. Sistem grafik *CAD 3D* yang handal dan dinamis merupakan inti dari sistem *Minescape*. Fleksibilitas yang dimiliki oleh *Minescape* memastikan bahwa *software* tersebut dapat digunakan dalam perencanaan tambang jangka pendek dan jangka panjang untuk tambang batubara dan bijih (Martadinata dan Sepriadi, 2019).

Rocscience Slide adalah salah satu *software* geoteknik yang mempunyai spesialisasi sebagai *software* perhitungan kestabilan lereng. Secara umum langkah analisis kestabilan lereng dengan *Rocscience Slide* adalah pemodelan, identifikasi metode dan parameter perhitungan, identifikasi material, penentuan bidang gelincir, *running/kalkulasi*, dan interpretasi nilai FoS dengan *software* komplemen *Slide* bernama *Slide Interpret* (Iswara dan Anaperta, 2021).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada *Disposal Area Sump Batutege* di *Site North* Tutupan PT Adaro Indonesia, Kalimantan Selatan (Gambar 3.1). Secara regional, wilayah penelitian termasuk ke dalam Cekungan Barito dalam Peta Geologi Regional Lembar Banjarmasin. Cekungan Barito terletak diantara Paparan Sunda di sebelah barat dan Pegunungan Meratus yang merupakan jalur melange tektonik di sebelah timur. Secara geologi, wilayah penelitian termasuk ke dalam Formasi Warukin. Formasi Warukin diendapkan pada lingkungan neritik dalam hingga deltaik dengan ketebalan 1000-2400 meter dan berumur Miosen Tengah sampai Plestosen Bawah. Pada formasi ini ada tiga lapisan paling dominan, yaitu batu lempung dengan ketebalan ± 100 meter, batu lumpur dan batu pasir dengan ketebalan 600-900 meter, dengan bagian atas terdapat deposit batubara sepanjang 10 meter, dan lapisan batubara dengan tebal cadangan 20-50 meter (Sikumbang dan Heryanto, 1994).



Gambar 3.1 Kondisi *Sump Batutege* (Sumber: PT Adaro Indonesia)

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama dua bulan dan dua minggu yang dimulai dari bulan Maret 2023 sampai dengan Mei 2023. Kegiatan yang dilakukan selama dua bulan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

	Minggu ke-									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Studi Literatur	√	√								
Observasi Lapangan		√	√							
Uji Laboratorium				√	√	√				
Pengolahan Data						√	√	√	√	
Analisis Data									√	√

3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan melalui *Unconfined Compressive Test* (UCT) atau uji kuat tekan menggunakan sampel tanah penutup (*overburden*) dan lumpur di laboratorium geoteknik menggunakan *Universal Testing Machine* (Lampiran 1). Sampel tanah penutup dan lumpur dimasukkan ke dalam sebuah *mold* secara berurutan dan diberi pembebanan. Pengukuran ketinggian lumpur dan *overburden* dilakukan sebelum dan sesudah diberi pembebanan. Hasil dari pengukuran tersebut digunakan untuk mengasumsikan *subsidence* yang terjadi pada *Disposal Area Sump* Batutegi. Data sekunder berupa topografi rona awal *Sump* Batutegi *Site North* Tutupan, desain *Disposal Area Sump* Batutegi *Stage 7*, dan sifat material *base rock*, *overburden*, dan *overburden mix mud* didapatkan dari data yang digunakan PT Adaro Indonesia.

3.3 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian analisis *subsidence* dan kestabilan *disposal* adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah studi literatur yaitu dengan mengumpulkan informasi dari beberapa literatur seperti buku, jurnal dan karya ilmiah yang berkaitan dengan penelitian untuk menunjang penelitian ini.

2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah bertujuan untuk menentukan hal yang menjadi bahasan pada penelitian ini.

3. Pengumpulan Data

Langkah selanjutnya yaitu pengumpulan data-data penunjang. Pengumpulan data pada penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder yang sangat penting untuk mencapai tujuan dari penelitian ini.

4. Pengolahan Data

Setelah data dikumpulkan secara lengkap, dilakukan proses pengolahan data. Pengolahan data dilakukan menggunakan *Software Microsoft Excel* untuk mengolah data hasil uji *Unconfined Compressive Test* (UCT) menggunakan sampel tanah *overburden* dan lumpur di lab menggunakan *Universal Testing Machine*. Data hasil uji lab yang telah diolah, topografi rona awal *Sump Batutegi Site North Tutupan*, desain *Disposal Area Sump Batutegi Stage 7* dan data sifat material selanjutnya digunakan untuk pemodelan *disposal* menggunakan *Software Minescape* dan *Rockscience Slide*.

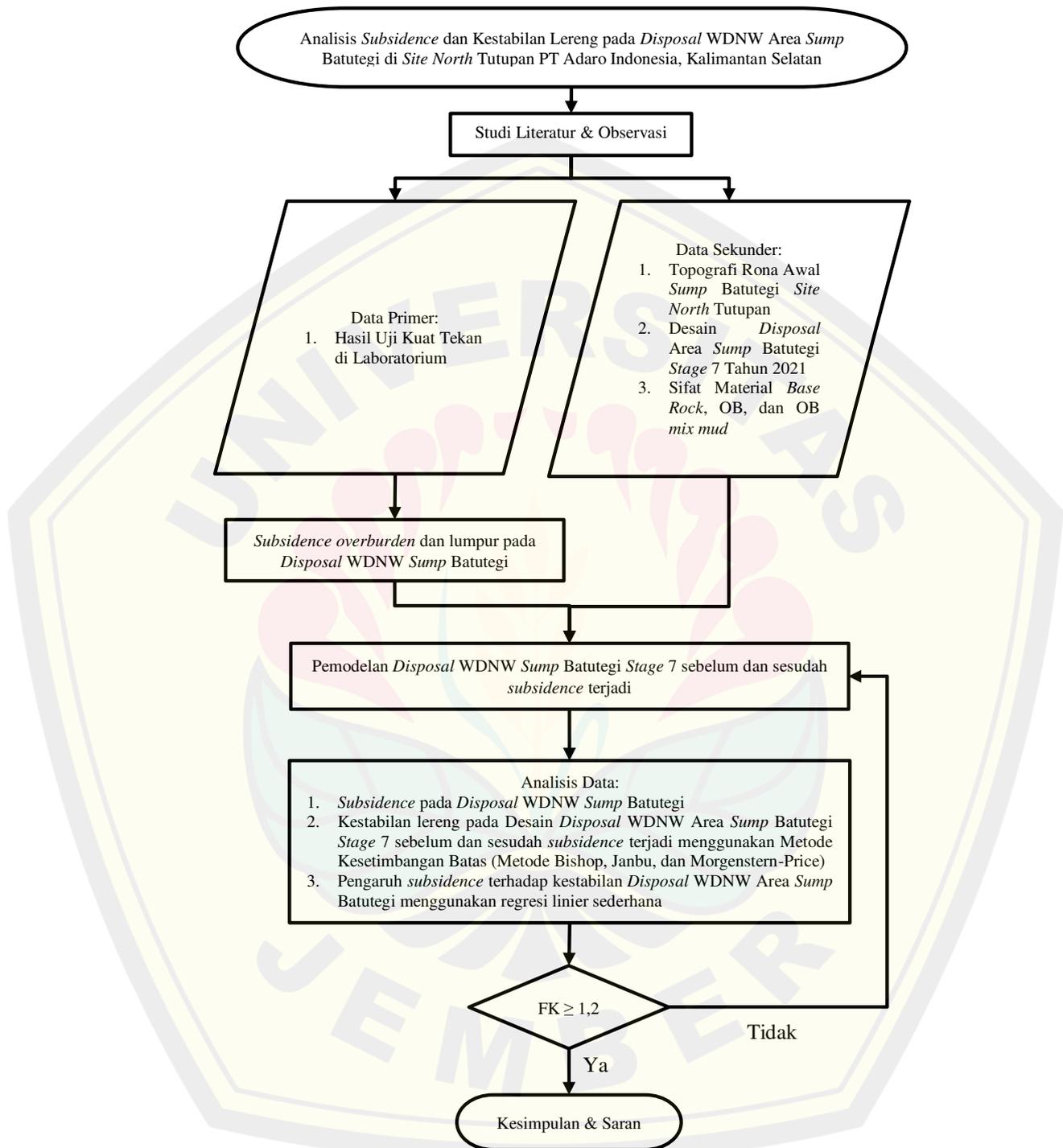
5. Analisis dan Pembahasan

Dari data yang sudah diolah selanjutnya dilakukan proses analisis dan pembahasan. Analisis data dilakukan pada hasil uji *Unconfined Compressive Test* (UCT) dan hasil pemodelan *disposal*. Analisis data dan pembahasan dilakukan untuk mengetahui besar *subsidence* yang terjadi dan pengaruhnya terhadap kestabilan lereng pada *Disposal Area Sump Batutegi site North Tutupan* sebelum dan sesudah *subsidence* terjadi. Analisis data dilakukan menggunakan Metode Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) berupa Metode Bishop, Janbu, dan Morgenstern-Price pada *Software Slide*.

6. Kesimpulan dan Saran

Dari analisis yang sudah dibuat kemudian dilakukan penarikan kesimpulan dan saran dari penelitian yang berdasarkan tujuan dari penelitian.

Tahapan penelitian yang dilakukan dibuat dalam suatu diagram alir seperti pada Gambar 3.2.



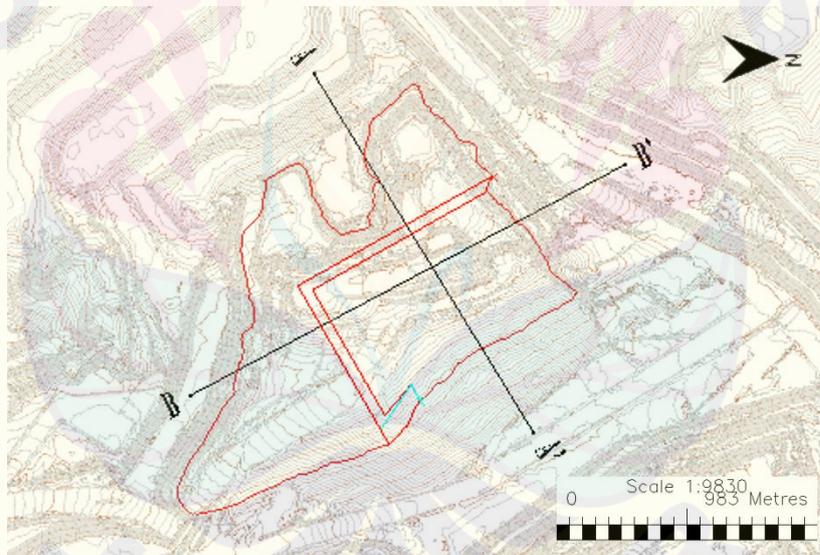
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan *Disposal* WDNW Site North Tutupan Area *Sump* Batutegi

4.1.1 Data Topografi dan Penampang Geoteknik

Data topografi yang digunakan merupakan topografi rona awal *Sump* Batutegi sebelum *base* kaki *disposal* WDNW dibentuk di atas *sump* tersebut. Elevasi terendah *Sump* Batutegi berada pada Request Level (RL) atau elevasi -8. Keberadaan sedimen lumpur pada *sump* tersebut memenuhi sampai elevasi RL +21,39, sehingga ketinggian aktual lumpur mencapai 29,39 meter. Data desain *disposal* yang digunakan merupakan desain *disposal Sump* Batutegi *stage 7* yang digunakan untuk rencana pembentukan *base* kaki *disposal* WDNW Site North Tutupan. *Disposal* ini dibentuk dengan elevasi RL +26 untuk *layer* pertama dan RL +32 untuk *layer* kedua, dengan kemiringan lereng sebesar 20° (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Garis penampang pada area *Disposal Sump* Batutegi

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.1, terdapat dua garis penampang yang nantinya akan digunakan untuk menganalisis kestabilan pada *Disposal Sump* Batutegi, yaitu garis penampang A-A' dan B-B'. Garis penampang diambil dengan memenuhi 2 syarat, diantaranya kedua garis penampang melewati area terdalam dari *sump* dan keduanya sejajar dengan lereng *disposal*. Hal ini dimaksudkan agar

pada saat analisis kestabilan *disposal* dilakukan, garis penampang yang digunakan dapat merepresentasikan kondisi *disposal* dan struktur litologi secara akurat (Taufiq Bakhtiar Ramadhan, *Interview*, Maret 2023, PT Adaro Indonesia).

4.1.2 Sifat Material

Sifat material pada analisis kestabilan lereng merujuk pada karakteristik fisik dan mekanik dari material tanah atau batuan yang membentuk lereng. Dalam penelitian ini, sifat material yang digunakan berupa sifat mekanik dari setiap material. Dapat dilihat pada Tabel 4.1, data sifat material ini merupakan data sekunder yang diambil dari PT Adaro Indonesia.

Sifat material untuk material batuan dasar (*base rock*) menggunakan parameter *Generalized* Hoek-Brown, dimana parameter yang didapatkan berupa berat jenis (*unit weight*), nilai kekuatan batuan utuh (UCS), dan nilai konstanta untuk massa batuan (m_b , s , dan a). Material tanah penutup (*overburden*) menggunakan parameter Mohr-Coulomb untuk mengidentifikasi sifat materialnya, dimana parameter yang didapatkan berupa berat jenis, kohesi dan sudut geser dalam. Dan untuk material campuran tanah dan lumpur (*overburden mix mud*) diidentifikasi menggunakan parameter *Undrained* (jenuh), dimana parameter yang didapatkan berupa berat jenis, kohesi dan jenis kohesinya. Sifat ketiga material ini digunakan untuk mendefinisikan jenis material pada saat pemodelan *disposal* di *Software Slide*.

Tabel 4.1 Sifat Material *Disposal Sump* Batutegi

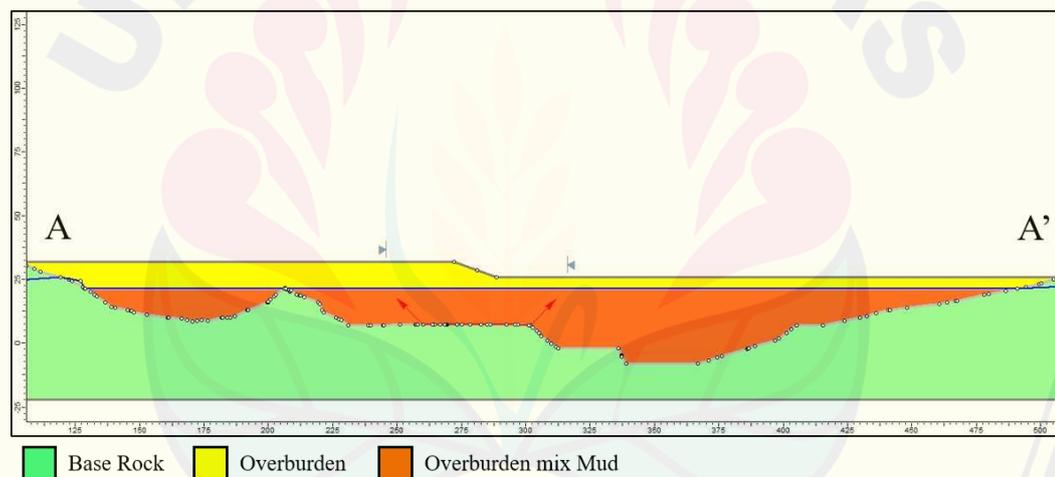
Sifat	Jenis Material		
	<i>Base Rock</i>	<i>Overburden</i>	<i>OB mix Mud</i>
Berat Jenis (kN/m ³)	24,9	18	17
Tipe Perkuatan	<i>Generalized</i> Hoek-Brown	Mohr-Coulomb	<i>Undrained</i>
Kohesi (kPa)	-	56,6	30
Sudut Geser Dalam (°)	-	15	-
Tipe Kohesi	-	-	Konstan
UCS (kPa)	2000	-	-
m_b	2,05511	-	-
s	0,035674	-	-
a	0,501355	-	-

Overburden mix mud diasumsikan sebagai litologi pada bagian *mud* berada karena tanah yang terdapat di daerah penelitian merupakan tanah lanau-lempung

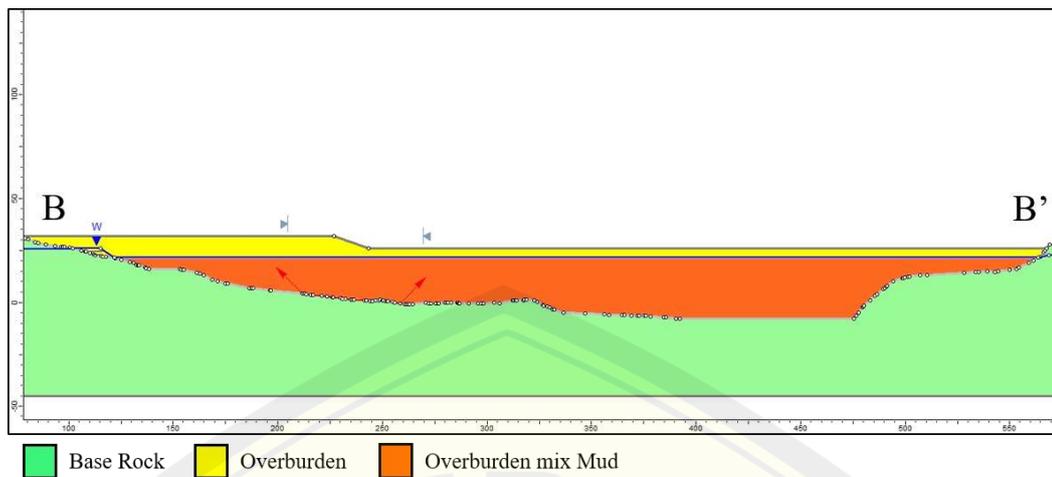
(Badan Geologi Kementerian ESDM, 2019). Tanah lanau-lempung apabila dalam keadaan basah dapat meloloskan air melalui sela-sela tanahnya, dimana dalam kasus ini berupa lumpur di bawahnya. Sehingga, ada kemungkinan terjadinya pencampuran antara *overburden* dan *mud* yang berada di area *Disposal Sump* Batutegi (Ningtyas dkk., 2020).

4.1.3 Hasil Pemodelan *Disposal*

Pemodelan untuk *Disposal Sump* Batutegi dilakukan sebagai langkah awal dalam melakukan analisis kestabilan *disposal*. Setelah dilakukan pembuatan garis penampang (*cross section*) melalui *Software Minescape*, hasil dari penampang tersebut kemudian diolah menggunakan *Software Slide*. Pada *Software Slide*, pemodelan dilakukan dengan merepresentasikan kondisi *disposal* dan struktur litologinya seperti pada Gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Hasil pemodelan garis penampang A-A'



Gambar 4.3 Hasil pemodelan garis penampang B-B'

Dalam kedua pemodelan *disposal* di atas, struktur litologi pada keseluruhan bagian *in-situ* disamaratakan menjadi *base rock*, bagian lumpur menjadi *overburden mix mud*, dan bagian tanah penutup menjadi *overburden*. Hal ini dilakukan karena pembentukan *disposal* tidak berfokus kepada optimalisasi nilai ekonomi. Berbeda dengan pembentukan *pit*, *disposal* tambang berkaitan dengan pengelolaan limbah dan material buangan dari operasi penambangan, sehingga pembuatan *disposal* lebih berfokus kepada efisiensi dan kapasitas *disposal* itu sendiri. Pada bagian muka air tanah, karena permukaan dasar *disposal* berupa lumpur jenuh, maka muka air tanah diasumsikan berada pada permukaan lumpur.

4.2 Subsidence di Disposal WDNW Site North Tutupan Area Sump Batutegi

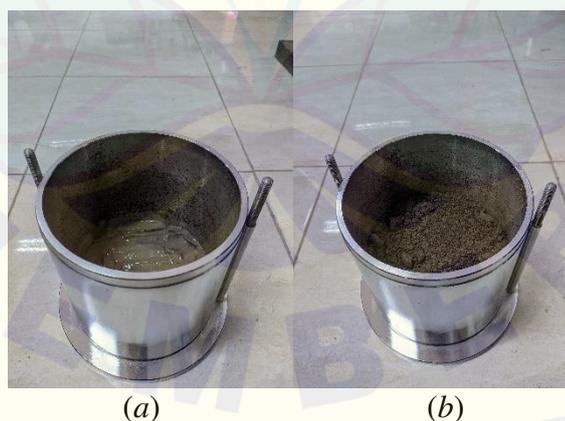
4.2.1 Uji Kuat Tekan pada *Universal Testing Machine*

Uji kuat tekan merupakan salah satu metode pengujian material untuk menentukan daya tahan atau kekuatan material terhadap beban tekan. *Universal Testing Machine*, juga dikenal sebagai mesin uji material atau mesin uji tarik-tekan, adalah perangkat yang digunakan untuk melakukan berbagai jenis uji mekanik pada berbagai jenis material, termasuk uji kuat tekan (Gambar 4.4). Pada penelitian ini, uji kuat tekan menggunakan *Universal Testing Machine* untuk mengasumsikan *land subsidence* yang terjadi di lokasi penelitian.



Gambar 4.4 Universal Testing Machine

Uji kuat tekan pada *Universal Testing Machine* dilakukan sebanyak 6 kali percobaan dengan komposisi tanah penutup (*overburden*) dan lumpur (*mud*) masing-masing sebanyak 1 kg. Komposisi pada tanah penutup dan lumpur diatur dalam satuan berat dan tidak dalam satuan tinggi dikarenakan wadah yang digunakan pada saat uji kuat tekan merupakan sebuah *compaction mold* berbentuk tabung yang tidak tembus pandang. Setelah sampel tanah penutup dan lumpur disiapkan pada wadah terpisah, lumpur dimasukkan terlebih dahulu ke dalam *mold* dan dilakukan pengukuran. Setelah lumpur diukur, tanah dimasukkan di atas lumpur dalam *mold* dan dilakukan pengukuran juga (Gambar 4.5).



Gambar 4.5 (a) Sampel lumpur dalam *mold*; (b) Sampel tanah dan lumpur dalam *mold*

Sebelum ditutup, bagian atas dan bawah sampel diberi kertas saring agar sampel tidak berserakan pada saat proses uji kuat tekan. Sampel tanah dan lumpur

yang telah dimasukkan ke dalam *compaction mold* kemudian ditutup dan diletakkan pada *Universal Testing Machine* untuk dilakukan uji kuat tekan. *Piston* harus berada pada posisi tengah *mold* agar pembebanan yang diberikan terjadi secara merata dan maksimal (Gambar 4.6).



Gambar 4.6 Uji kuat tekan pada *Universal Testing Machine*

Pembebanan (*load*) yang diberikan sebesar 1,28 kN pada setiap percobaan. *Load* yang diberikan pada saat uji kuat tekan didapatkan dari konversi parameter *ground pressure dump truck* PT Adaro Indonesia. Hal ini dilakukan untuk mengasumsikan *load* yang dilakukan pada saat uji lab sama dengan *load* yang terjadi di lapangan. Untuk parameter yang diambil berupa *ground pressure dump truck* terberat sebesar 72,50 kN/m² yang dapat dilihat pada Tabel 4.2. Hal ini dimaksudkan agar pembebanan yang dilakukan dapat terjadi secara maksimal sesuai dengan keadaan yang terjadi di lapangan.

Tabel 4.2 Parameter *Ground Pressure Dump Truck* PT Adaro Indonesia

No	<i>Load Distribute</i>	<i>Ground Pressure (kN/m²)</i>	
		Tanpa Muatan	Dengan Muatan
1	DT Kecil (Hino 500)	18,47	36,94
2	DT 100 Ton (Cat 777D, Kom HD785)	26,60	58,50
3	DT 150 Ton (Cat 785C, Kom HD1500)	31,47	68,22
4	DT 200 Ton (Cat 789C, Hit EH3500)	31,44	72,50

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, wadah dari uji kuat tekan berupa *mold* berbentuk tabung dengan permukaan dasar lingkaran. *Mold* tersebut memiliki

tinggi 18 cm dan diameter 15 cm. *Load dump truck* di lapangan sebesar 72,50 kN/m² dikonversi dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 L_o &= \pi r^2 \\
 &= \pi \left(\frac{1}{2}d\right)^2 \\
 &= 3,14\left(\frac{1}{2}\times 15\right)^2 \\
 &= 176,625 \text{ cm}^2 \\
 72,50 \text{ kN/m}^2 &= 0,00725 \text{ kN/cm}^2 \\
 &= 0,00725 \text{ kN/cm}^2 \times L_o \\
 &= 0,00725 \text{ kN/cm}^2 \times 176,625 \text{ cm}^2 \\
 &= 1,28053125 \text{ kN} \\
 &= 1,28 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Selama uji kuat tekan terjadi, pembebanan berlangsung secara berkala. Kecepatan penekanan dapat diatur secara manual, dimana dalam penelitian ini menggunakan kecepatan 2 mm/s. Besarnya pembebanan dan perubahan ketinggian yang diterima oleh sampel dapat diamati melalui komputer yang terhubung oleh *Universal Testing Machine*. Saat pembebanan mencapai besaran yang telah ditentukan, dalam penelitian ini sebesar 1,28 kN, uji kuat tekan dapat dihentikan. Pengukuran pada sampel dilakukan setelah uji kuat tekan selesai.

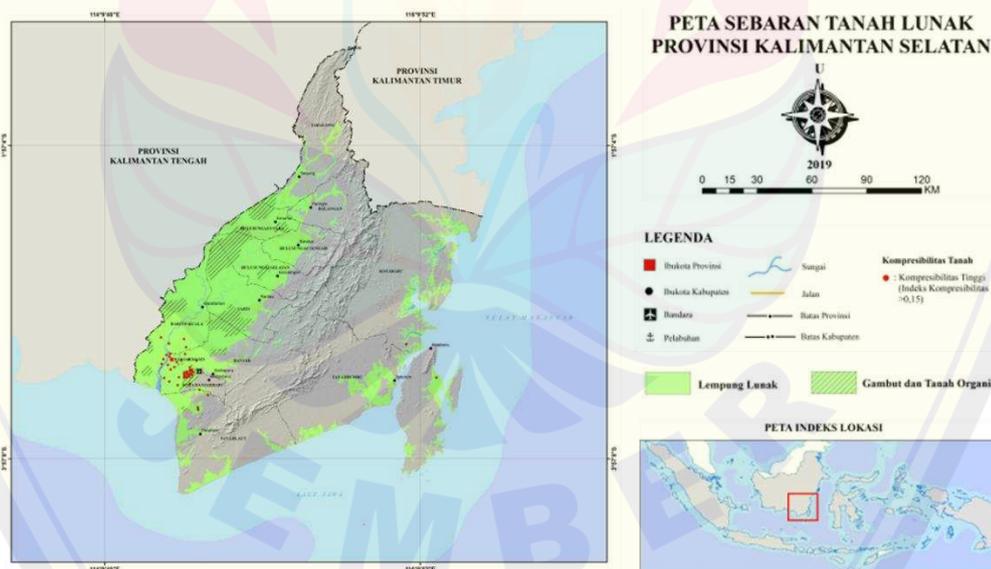
4.2.2 Hasil Uji *Subsidence*

Penurunan muka tanah (*land subsidence*) merupakan proses konsolidasi satu dimensi yang melibatkan banyak parameter sebagai penyebabnya. Penyebab utama *land subsidence* adalah aktivitas manusia dan faktor alami, yang mana dalam penelitian ini berupa adanya lumpur yang menjadi permukaan dasar dari *disposal* di pertambangan *open pit* (Haris, 2018). Seperti yang tertera pada Tabel 4.3, hasil pengukuran sampel dari uji kuat tekan pada *Universal Testing Machine* diasumsikan sebagai seberapa besar *land subsidence* yang terjadi di *Disposal WDNW Site North* Tutupan area *Sump* Batutegi. Hasil ini didapatkan dari pengukuran ketinggian sampel tanah penutup, lumpur, dan total dari kedua sampel tersebut.

Tabel 4.3 Hasil Uji Kuat Tekan pada *Universal Testing Machine*

Sampel	Komposisi (kg)		Load (kN)	L ₀ (cm)			L ₁ (cm)			ΔL (cm)		
	OB	Mud		OB	Mud	Total	OB	Mud	Total	OB	Mud	Total
Test1				5,1	3,1	8,2	2,7	2,2	4,9	2,4	0,9	3,3
Test2				5,7	2,8	8,5	4,5	1,8	6,3	1,2	1,0	2,2
Test3	1	1	1,28	4,5	3,5	8	2,3	2,5	4,8	2,2	1,0	3,2
Test4				5,0	3,0	8	3,3	2,2	5,5	1,7	0,8	2,5
Test5				5,0	3,0	8	3,95	2,5	6,45	1,05	0,5	1,55
Test6				4,2	3,5	7,7	3,3	3,13	6,43	0,9	0,37	1,27
Rata-rata				4,92	3,15	8,1	3,34	2,39	5,73	1,58	0,76	2,34

Subsidence total yang terjadi berada pada rentang 1,27 – 3,3 cm. Rata-rata *subsidence* dari keenam sampel sebesar 2,34 cm. Untuk *subsidence* yang terjadi diamati pada kedua sampel, yaitu *overburden* dan lumpur. *Subsidence* yang terjadi pada *overburden* berada pada rentang 0,9 – 2,4 cm dengan rata-rata 1,58 cm, sedangkan pada lumpur berada pada rentang 0,37 – 1 cm dengan rata-rata 0,76 cm. Hasil uji kuat tekan ini dapat dibandingkan dengan *subsidence* yang terjadi di wilayah Kalimantan Selatan (Gambar 4.7)



Gambar 4.7 Peta Sebaran Tanah Lunak Provinsi Kalimantan Selatan (Kementerian ESDM, 2019)

Berdasarkan peta pada Gambar 4.7, sebaran tanah di wilayah Kalimantan Selatan termasuk ke dalam jenis tanah lempung lunak. Tanah lempung merupakan tanah berukuran mikroskopis sampai dengan sub-mikroskopis yang berasal dari

pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada kadar air lebih tinggi lempung bersifat lengket (*kohesif*) dan sangat lunak. Permeabilitas tanah lempung sangat rendah, dimana permeabilitas tanah yang rendah menunjukkan bahwa tanah sangat mudah meloloskan air (Surandono dan Probowo, 2017). *Subsidence* yang didapatkan terjadi secara normal. Hal ini didukung oleh *subsidence* yang terjadi di Kota Banjarmasin melalui data dari Pusat Pengembangan Infrastruktur Informasi Geospasial Universitas Lambung Mangkurat (PPIIG ULM) Tahun 2021. Data tersebut menunjukkan bahwa penurunan tanah di daerah Kota Banjarmasin terjadi di rentang 2,5 mm sampai 26,7 mm atau 0,25 cm sampai 2,67 cm. Data ini menjadi pendukung bahwa penurunan tanah di daerah Kalimantan Selatan terjadi secara merata.

4.3 Kestabilan *Disposal* WDNW Site North Tutupan Area Sump Batutegi

Setelah dilakukan pemodelan melalui *Software* Slide, hasil pemodelan tersebut dikomputasi untuk mendapatkan faktor keamanan pada kestabilan *disposal*. Komputasi tersebut dilakukan menggunakan tiga metode, yaitu Metode Bishop, Janbu, dan Morgenstern-Price. Ketiga metode ini termasuk ke dalam Metode Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*). *Disposal* dikatakan aman apabila faktor keamanannya lebih dari 1,2. Hal ini dapat dilihat pada Kepmen ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018 (Tabel 4.4).

Tabel 4.4 Nilai Faktor Keamanan Lereng Tambang

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Faktor Keamanan Statis
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2 – 1,3
	Menengah	1,3
	Tinggi	1,3 – 1,5

(Sumber: Kepmen ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018)

4.3.1 Metode Bishop

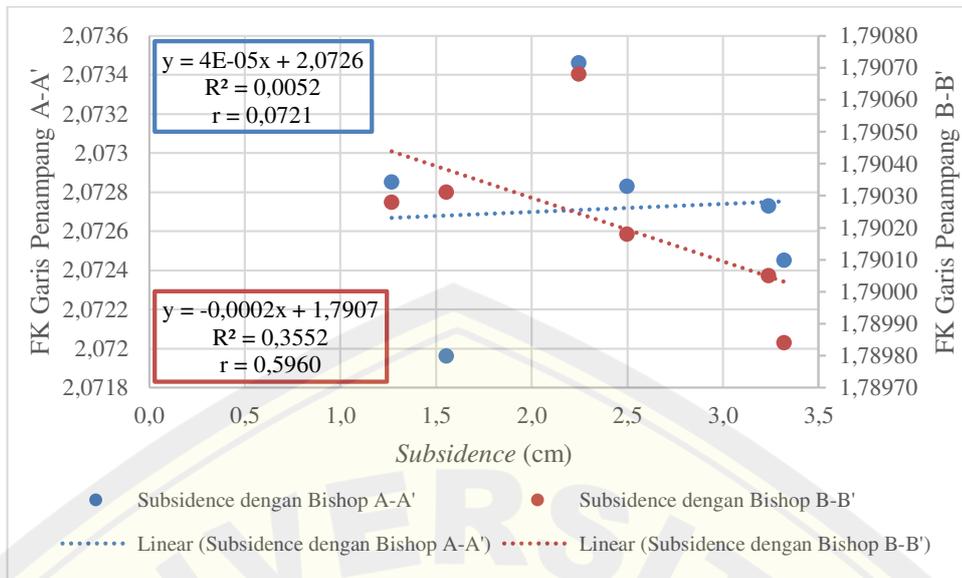
Sesuai dengan hasil uji *subsidence* yang dilakukan di laboratorium (Tabel 4.3), melalui Metode Bishop didapatkan kestabilan *Disposal* Area Sump Batutegi seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.5. Dapat dilihat dari kedua penampang,

faktor keamanan *disposal* mengalami perubahan setelah *subsidence* terjadi, yang dimana cenderung mengalami penurunan.

Tabel 4.5 Kestabilan *Disposal* Metode Bishop Garis Penampang A-A' dan B-B'

Sampel	Metode Bishop			
	A-A'		B-B'	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Test1	2,07302	2,07245	1,79050	1,78984
Test2	2,07302	2,07346	1,79050	1,79068
Test3	2,07302	2,07273	1,79050	1,79005
Test4	2,07302	2,07283	1,79050	1,79018
Test5	2,07302	2,07196	1,79050	1,79031
Test6	2,07302	2,07285	1,79050	1,79028
Rata-rata	2,07302	2,07271	1,79050	1,79022

Berdasarkan penggunaan Metode Bishop untuk mengetahui faktor keamanan *Disposal Area Sump* Batutege, pada garis penampang A-A' didapatkan faktor keamanan sebelum *subsidence* terjadi sebesar 2,07302. Setelah *subsidence* terjadi, faktor keamanannya berubah dengan rata-rata 2,07271. Sama halnya dengan garis penampang A-A', garis penampang B-B' juga mengalami perubahan. Sebelum terjadi *subsidence*, faktor keamanan pada garis penampang B-B' sebesar 1,79050. Setelah *subsidence* terjadi, faktor keamanannya berubah dengan rata-rata 1,79022. Dilihat dari kedua garis penampang tersebut, penurunannya tidak terjadi secara signifikan karena *subsidence* yang terjadi tidak besar. Selain itu, faktor keamanan yang dihasilkan dari kedua garis penampang tersebut dapat dikatakan aman karena $FK \geq 1,2$ sesuai Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM 2018. Didapatkan juga analisis mengenai pengaruh *subsidence* yang didapatkan terhadap faktor keamanan *disposal* menggunakan uji regresi linear sederhana pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hubungan *subsidence* total dengan FK Metode Bishop garis penampang A-A' dan B-B'

Berdasarkan hasil uji regresi linear sederhana pada Gambar 4.8, didapatkan bahwa koefisien determinasi (R^2) pada garis penampang A-A' menggunakan Metode Bishop, *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan di laboratorium memiliki kontribusi sebesar 0,52% dalam perubahan kestabilan *Disposal Area Sump* Batutegi. Sedangkan pada garis penampang B-B', *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan memiliki kontribusi sebesar 35,52%. Hal ini menunjukkan bahwa *subsidence* yang didapatkan menggunakan pendekatan uji kuat tekan hanya mewakili sekitar 35,52% dari keseluruhan faktor yang memengaruhi perubahan kestabilan *disposal* di area *Sump* Batutegi saat menggunakan Metode Bishop.

Melalui *trendline* pada metode Bishop, garis penampang A-A' menunjukkan *trend* naik meskipun tidak signifikan, sedangkan garis penampang B-B' menunjukkan *trend* turun yang signifikan. Selanjutnya, melalui koefisien korelasi (r) pada garis penampang A-A' menggunakan Metode Bishop, *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan memiliki korelasi sebesar 7,21% dengan kestabilan *disposal* pada area *Sump* Batutegi. Sedangkan pada garis penampang B-B', *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan memiliki korelasi sebesar 59,6%. Dapat disimpulkan bahwa pada penggunaan

Metode Bishop, semakin besar *subsidence* yang terjadi, maka semakin kecil faktor keamanan pada kestabilan *disposal*.

4.3.2 Metode Janbu

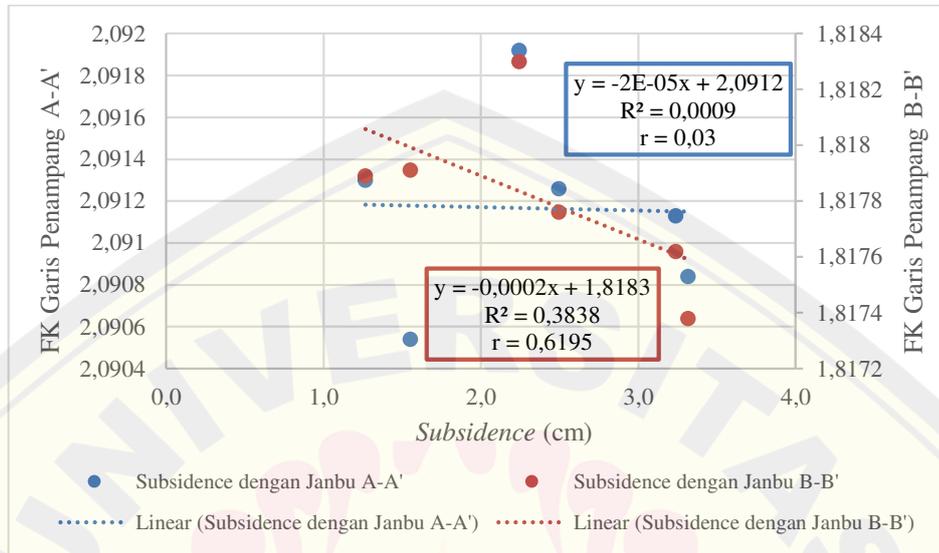
Sama halnya dengan Metode Bishop, sesuai dengan hasil uji *subsidence* yang dilakukan, didapatkan kestabilan *Disposal Area Sump* Batutegei seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.6 untuk Metode Janbu. Dapat dilihat dari kedua penampang, faktor keamanan *disposal* mengalami perubahan setelah *subsidence* terjadi, yang dimana pada metode ini juga cenderung mengalami penurunan. Tetapi, faktor keamanan yang dihasilkan menggunakan Metode Janbu lebih besar daripada saat menggunakan Metode Bishop.

Tabel 4.6 Kestabilan *Disposal* Metode Janbu Garis Penampang A-A' dan B-B'

Sampel	Metode Janbu			
	A-A'		B-B'	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Test1	2,09151	2,09084	1,81814	1,81738
Test2	2,09151	2,09192	1,81814	1,81830
Test3	2,09151	2,09113	1,81814	1,81762
Test4	2,09151	2,09126	1,81814	1,81776
Test5	2,09151	2,09054	1,81814	1,81791
Test6	2,09151	2,09130	1,81814	1,81789
Rata-rata	2,09151	2,09117	1,81814	1,81781

Berdasarkan penggunaan Metode Janbu untuk mengetahui faktor keamanan *Disposal Area Sump* Batutegei, pada garis penampang A-A' didapatkan faktor keamanan sebelum *subsidence* terjadi sebesar 2,09151. Setelah *subsidence* terjadi, faktor keamanannya berubah dengan rata-rata 2,09117. Sama halnya dengan garis penampang A-A', garis penampang B-B' juga mengalami perubahan. Sebelum terjadi *subsidence*, faktor keamanan pada garis penampang B-B' sebesar 1,81814. Setelah *subsidence* terjadi, faktor keamanannya berubah dengan rata-rata 1,81781. Dilihat dari kedua garis penampang tersebut, penurunannya tidak terjadi secara signifikan karena *subsidence* yang terjadi tidak besar. Selain itu, faktor keamanan yang dihasilkan dari kedua garis penampang tersebut dapat dikatakan aman karena

FK $\geq 1,2$ sesuai Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM 2018. Didapatkan juga analisis mengenai pengaruh *subsidence* yang didapatkan terhadap faktor keamanan *disposal* menggunakan uji regresi linear sederhana pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Hubungan *subsidence* total dengan FK Metode Janbu garis penampang A-A' dan B-B'

Berdasarkan Gambar 4.9 didapatkan bahwa koefisien determinasi (R^2) pada garis penampang A-A' menggunakan Metode Janbu, *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan di laboratorium memiliki kontribusi sebesar 0,09% dalam perubahan kestabilan *Disposal Area Sump* Batutegi. Sedangkan pada garis penampang B-B', *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan memiliki kontribusi sebesar 38,38%. Hal ini menunjukkan bahwa *subsidence* yang didapatkan menggunakan pendekatan uji kuat tekan hanya mewakili sekitar 38,38% dari keseluruhan faktor yang memengaruhi perubahan kestabilan *disposal* di area *Sump* Batutegi saat menggunakan Metode Janbu.

Melalui *trendline* pada metode Janbu, garis penampang A-A' menunjukkan *trend* turun yang tidak signifikan, sedangkan garis penampang B-B' menunjukkan *trend* turun yang signifikan. Selanjutnya, melalui koefisien korelasi (r) pada garis penampang A-A' menggunakan Metode Janbu, *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan memiliki korelasi sebesar 3% dengan kestabilan

disposal pada area *Sump* Batutegi. Sedangkan pada garis penampang B-B', *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan memiliki korelasi sebesar 61,95%. Dapat disimpulkan bahwa pada penggunaan Metode Janbu, semakin besar *subsidence* yang terjadi, maka semakin kecil faktor keamanan pada kestabilan *disposal*.

4.3.3 Metode Morgenstern-Price

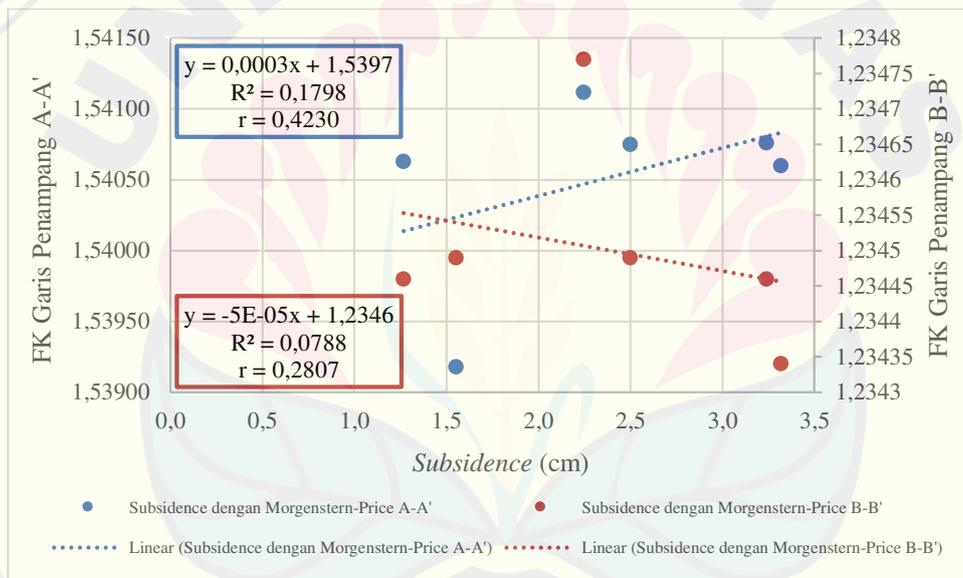
Berdasarkan hasil uji *subsidence* pada Tabel 4.3, didapatkan kestabilan *Disposal Area Sump* Batutegi seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.7 untuk Metode Morgenstern-Price. Dapat dilihat dari kedua penampang, faktor keamanan *disposal* mengalami perubahan setelah *subsidence* terjadi. Pada garis penampang A-A', faktor keamanan yang dihasilkan cenderung mengalami kenaikan. Berbeda halnya dengan yang terjadi di garis penampang B-B', faktor keamanan setelah *subsidence* terjadi cenderung mengalami penurunan. Faktor keamanan yang dihasilkan menggunakan Metode Morgenstern-Price lebih rendah daripada kedua metode sebelumnya.

Tabel 4.7 Kestabilan *Disposal* Metode Morgenstern-Price Garis Penampang A-A' dan B-B'

Sampel	Metode Morgenstern-Price			
	A-A'		B-B'	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Test1	1,54059	1,54060	1,23450	1,23434
Test2	1,54059	1,54112	1,23450	1,23477
Test3	1,54059	1,54076	1,23450	1,23446
Test4	1,54059	1,54075	1,23450	1,23449
Test5	1,54059	1,53918	1,23450	1,23449
Test6	1,54059	1,54063	1,23450	1,23446
Rata-rata	1,54059	1,54051	1,23450	1,23450

Berdasarkan penggunaan Metode Morgenstern-Price untuk mengetahui faktor keamanan *Disposal Area Sump* Batutegi, pada garis penampang A-A' didapatkan faktor keamanan sebelum *subsidence* terjadi sebesar 1,54059. Setelah *subsidence* terjadi, faktor keamanannya berubah dengan rata-rata 1,54051. Sama

halnya dengan garis penampang A-A', garis penampang B-B' juga mengalami perubahan. Sebelum terjadi *subsidence*, faktor keamanan pada garis penampang B-B' sebesar 1,23450. Setelah *subsidence* terjadi, faktor keamanannya berubah di tiap sampel dimana cenderung mengalami penurunan. Tetapi, rata-rata yang dihasilkan tetap sebesar 1,23450 seperti sebelum *subsidence* terjadi. Dilihat dari kedua garis penampang tersebut, penurunannya tidak terjadi secara signifikan karena *subsidence* yang terjadi tidak besar. Selain itu, faktor keamanan yang dihasilkan dari kedua garis penampang tersebut dapat dikatakan aman karena $FK \geq 1,2$ sesuai Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM 2018. Didapatkan juga analisis mengenai pengaruh *subsidence* yang didapatkan terhadap faktor keamanan *disposal* menggunakan uji regresi linear sederhana pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hubungan *subsidence* dengan FK Metode Morgenstern-Price garis penampang A-A' dan B-B'

Berdasarkan Gambar 4.10 didapatkan bahwa koefisien determinasi (R^2) pada garis penampang A-A' menggunakan Metode Morgenstern-Price, *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan di laboratorium memiliki kontribusi sebesar 17,98% dalam perubahan kestabilan *Disposal Area Sump* Batutegi. Sedangkan pada garis penampang B-B', *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan memiliki kontribusi sebesar 7,88%. Hal ini

menunjukkan bahwa *subsidence* yang didapatkan menggunakan pendekatan uji kuat tekan hanya mewakili sekitar 17,98% dari keseluruhan faktor yang memengaruhi perubahan kestabilan *disposal* di area *Sump* Batutegi saat menggunakan Metode Morgenstern-Price.

Melalui *trendline* pada metode Morgenstern-Price, garis penampang A-A' menunjukkan *trend* naik yang signifikan, sedangkan garis penampang B-B' menunjukkan *trend* turun yang signifikan. Selanjutnya, melalui koefisien korelasi (r) pada garis penampang A-A' menggunakan Metode Morgenstern-Price, *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan memiliki korelasi sebesar 42,3% dengan kestabilan *disposal* pada area *Sump* Batutegi. Sedangkan pada garis penampang B-B', *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan memiliki korelasi sebesar 28,07%. Apabila melihat grafik dari kedua metode yang sebelumnya digunakan, dapat disimpulkan bahwa pada penggunaan Metode Morgenstern-Price, semakin besar *subsidence* yang terjadi, maka semakin kecil faktor keamanan pada kestabilan *disposal*.

4.3.4 Koefisien Determinasi (R^2) dan Korelasi (r)

Setelah dilakukan uji regresi linier melalui tiap metode antara *subsidence* dan faktor keamanan pada *disposal* di area *Sump* Batutegi, didapatkan koefisien determinasi dan koefisien korelasi (Tabel 4.8) dari ketiga metode tersebut. Koefisien determinasi menunjukkan seberapa besar *subsidence* memengaruhi faktor keamanan dari *disposal*. Sedangkan, koefisien korelasi menunjukkan seberapa besar hubungan linier variabel bebas yang diteliti terhadap variabel terikat.

Tabel 4.8 Koefisien Determinasi (R^2) dan Korelasi (r) antara *Subsidence* dan Faktor Keamanan

Garis Penampang	Bishop		Janbu		Morgenstern-Price	
	R^2	r	R^2	r	R^2	r
A-A'	0,0052	0,0721	0,0009	0,0300	0,1798	0,4230
B-B'	0,3552	0,5960	0,3838	0,6195	0,0788	0,2807

Berdasarkan koefisien determinasi yang dihasilkan melalui regresi linier sederhana (Tabel 4.8), terdapat perbedaan dari ketiga metode yang digunakan.

Dalam penggunaan Metode Bishop dan Janbu, didapatkan koefisien determinasi pada garis penampang B-B' menunjukkan angka yang lebih tinggi daripada garis penampang A-A'. Berbeda halnya pada saat menggunakan Metode Morgenstern-Price, dimana garis penampang A-A' menunjukkan angka yang lebih tinggi daripada garis penampang B-B'. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan dasar metode yang digunakan Metode Bishop dan Janbu dengan Metode Morgenstern-Price, yang menyebabkan berbedanya koefisien determinasi yang dihasilkan. Namun, dilihat dari angka yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa pengaruh *subsidence* yang didapat melalui pendekatan uji kuat tekan terhadap faktor keamanan *disposal* masih rendah. Sehingga, diperlukan kajian lebih lanjut dalam penggunaan uji kuat tekan dalam mengetahui *subsidence* yang terjadi pada *disposal* di area *Sump* Batutegi.

Selanjutnya, sama halnya dengan koefisien determinasi yang dibahas sebelumnya, berdasarkan koefisien korelasi yang dihasilkan melalui regresi linier sederhana (Tabel 4.8), perbedaan yang didapatkan sama. Perbedaan ini juga dapat disebabkan oleh perbedaan dasar metode yang digunakan Metode Bishop dan Janbu dengan Metode Morgenstern-Price, yang menyebabkan berbedanya koefisien korelasi yang dihasilkan. Melalui angka yang diperlihatkan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar *subsidence* yang terjadi, maka semakin kecil faktor keamanan yang dihasilkan.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dijelaskan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Melalui pendekatan uji kuat tekan pada *Universal Testing Machine* untuk mengasumsikan *land subsidence* yang terjadi di *disposal area Sump* Batutegei, didapatkan *subsidence* total berada pada rentang 1,27 – 3,3 cm.
2. *Disposal* pada area *Sump* Batutegei dapat dikatakan aman sesuai Kepmen ESDM 1827 karena faktor keamanan *disposal* sebelum maupun sesudah *subsidence* terjadi yang didapatkan menggunakan Metode Bishop, Janbu, dan Morgenstern-Price $\geq 1,2$.
3. Melalui penggunaan Metode Bishop, Janbu dan Morgenstern-Price, *subsidence* yang terjadi di *disposal area Sump* Batutegei menjadi faktor pengaruh perubahan kestabilan *disposal* sekitar 0,52% sampai 38,38%, dan semakin besar *subsidence* yang terjadi maka semakin kecil faktor keamanan pada kestabilan *disposal area Sump* Batutegei.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian di atas, saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Perlu dilakukan kajian ulang dalam menggunakan pendekatan uji kuat tekan di laboratorium untuk mengasumsikan *subsidence* pada tambang *open pit*.
2. Jumlah pengujian dan sebaran pengambilan sampel yang dilakukan perlu ditambahkan agar hasil yang didapatkan lebih akurat.
3. Perlu adanya validasi untuk *subsidence* yang terjadi melalui alat seperti InSAR, *Robotic Total Station* (RTS), dan sejenisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Irwandy. 2016. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Aryal, K.P. 2006. *Slope Stability Evaluations by Limit Equilibrium and Finite Element Methods*. (Tesis Doktorat, Norwegian University of Science and Technology, 2006) Diakses dari <https://core.ac.uk/download/pdf/30817581.pdf>
- Busra, M. I. dan Anaperta, Y. M. 2021. Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Janbu Simplified Pada Blok Bukit Jaya PT. Cahaya Bumi Perdana Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 6(1), 165-177.
- Haris, N.A. 2018. Prediksi Penurunan Muka Tanah Menggunakan Teknik *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (Dinsar) Di Kota Makassar Indonesia. *Jurnal Enviromental Science*, 1(1), 27-31.
- Iswara, P. P. dan Anaperta Y. M. 2021. Analisis Stabilitas Lereng Terhadap Longsoran pada Titik Rencana Lubang Bukaian THC 04 CV Tahiti Coal, Sangkar Puyuh, Sawahlunto, Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 6(2), 255-264.
- Lesmana, N. 2020. *Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Elemen Hingga 3 Dimensi Studi Kasus Kelongsoran Lereng Jonggol Bogor*. (Skripsi Sarjana, Institut Teknologi Nasional Bandung, 2020) Diakses dari <http://eprints.itenas.ac.id/908/>
- Martadinata, M. A. J. dan Sepriadi. 2019. Pemodelan Desain Pit Batubara dengan Menggunakan Software Minescape 4.119. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 10(2), 76-86.
- Maulana, A. R. 2020. *Perencanaan Teknis Geometri Sump di Pit 1 Timur, Banko Barat, Jobsite TJMO, PT Satria Bahana Sarana, Tanjung Enim, Sumatera Selatan*. (Skripsi Sarjana, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, 2020) Diakses dari <https://repository.uinjkt.ac.id/>
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2018. *Kepmen ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018: Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*. Lampiran II
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2019. *Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia*. Badan Geologi: Bandung.
- Muchni, M. R. 2018. *Analisis Kestabilan Lereng Desain Disposal pada Area Bekas Tambang di Pit Central Tutupan PT. Saptaindra Sejati Site Adaro Mining Operation (ADMO) Tabalong, Kalimantan Selatan*. (Skripsi Sarjana, Universitas Sriwijaya, 2018) Diakses dari <https://repository.unsri.ac.id/9643/>

- Ningtyas G. R., Priyantari N., Suprianto A. 2020. Analisis Data Resistivitas dan Uji Permeabilitas Tanah di Daerah Rawan Longsor Desa Kemuning Lor Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember. *Jurnal Universitas Jambi*, 6(1), 6-12.
- Nurahma, A. P., Nurhakim dan Hakim, R. N. 2021. Analisis Kestabilan Lereng Desain Disposal WDNW Tutupan Tahun 2018 pada PT Adaro Indonesia, Propinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal HIMASAPTA*, 6(3), 171-176.
- Prasetyo, Y., Amarrohman, F. J., Panggabean, M. I. 2021. Monitoring Penurunan Muka Tanah Akibat Galian dan Timbunan pada Jalur Konstruksi Jalan Tol Semarang-Demak Segmen STA 17-22 Berbasis Teknologi UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). *Jurnal ELIPSOIDA*, 4(1), 34-41.
- Putri dan Saldy. 2021. Analisis Kestabilan Lereng Disposal Dengan Menggunakan Metode Bishop di Site Puncak Jaya CV Tekad Jaya Lareh Sago Halaban Kabupaten Lima Puluh Kota. *Jurnal Bina Tambang*, 6(3), 195-207.
- Ramadhi, T. 2019. *Kajian Teknis Kestabilan Lereng pada Pit Centre Barat Daya Tambang Terbuka PT. Allied Indo Coaljaya Sawahlunto dengan Menggunakan Metode Hook and Bray*. (Skripsi Sarjana, Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang, 2019) Diakses dari <https://ecampus.sttind.ac.id/sttind/AmbilLampiran>
- Sikumbang, N. dan Heryanto, R., 1994. *Peta Geologi Lembar Banjarmasin, Kalimantan Selatan skala 1 : 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi: Bandung.
- Simbolon, K., Jati, S. N. dan Ersyari, J. 2020. Rekayasa Geometri Desain Lereng Berdasarkan Analisis Nilai Faktor Keamanan Pit Tambang Air Laya Utara PT Bukit Asam Tbk. *Prosiding TPT XXIX Perhapi 2020*, 107-118.
- Siregar, C. A., Ashidik, F. A. S., Garnida, H. 2021. Perbandingan Stabilitas Lereng Antara Metode Keseimbangan Batas (LEM) dan Metode Elemen Hingga (FEM). *Jurnal Seminar KIIJK*, 1(1), 335-343.
- Surandono, A. dan Probowo, H. 2017. Studi Pengolahan Air Hujan (Air Tanah) Terhadap Muka Air Tanah dengan Menggunakan Alat Permeabilitas Lapangan (Sumur Uji). *Jurnal TAPAK*, 6(2), 166-174.
- Wiqoyah, Q., Renaningsih, Susanto, A., Anto, B. L. dan Muhammad T. M. H. 2018. Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Nambuhan, Purwodadi yang Dicampur dengan Asam Fosfat (H₃PO₄) dengan Perawatan 4 dan 7 Hari. *Simposium Nasional RAPI XVII*, 154-159.
- Yuliana, R. dan Sepriadi. 2019. Rencana Desain Backfilling dan Perhitungan Volume Material Timbunan Menggunakan Software Minescape 4.118 Untuk Memenuhi Target Produksi. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 10 (01), 76-86.

LAMPIRAN

Lampiran 1 <https://unej.id/WorkInstructionUjiKuatTekan>

Lampiran 2 <https://unej.id/KestabilanDisposal>

Lampiran 3 <https://unej.id/TutorialMembuatCrossSectiondiMinescape>

Lampiran 4 <https://unej.id/TutorialRockscienceSlide>

Lampiran 5 Stratigrafi Cekungan Barito

UMUR	STRATIGRAFI		KOLOM STRATIGRAFI	LITOLOGI	FASIES	TEBAL (m)	
KUARTER	ALLUVIUM			Depositi sungai dan rawa			
PLIOSEN	FORMASI DAHOR			Batuan klastik, konglomerat, batupasir, batulanau dan batulempung.	LOWER DELTA PLAIN	lebih dari 840	
	ATAS			Seam batubara berketebalan 30 - 40 m, interbedded dari batulempung calcareous dan pasir halus.	UPPER DELTA PLAIN	850	
MIOSEN	TENGAH	FORMASI WURUKIN	ANGGOTA ATAS		Lapisan tebal dari sangat halus hingga kasar, batulanau, batulempung dan beberapa seam batubara, konglomerat sebagai dasar.	LOWER DELTA PLAIN	500
			ANGGOTA TENGAH		Interkalasi dari pasir halus, batulanau, batulempung dan beberapa seam batubara tipis.	LOWER DELTA PLAIN	600
	BAWAH	FORMASI BERAI	ANGGOTA BAWAH		Serpit, kadang-kadang calcareous, pasir halus dan marl.	DELTA FRONT	450
			ANGGOTA MARL ATAS		Marl, lempung, lanau dan interbedded dari lapisan batugamping tipis, berisi pita-pita batubara.	PRODELTA	225
OLIGOSEN		FORMASI BERAI	ANGGOTA BATUGAMPING		Batugamping kristalin, interbedded lapisan tipis marl.	PRODELTA	600
			ANGGOTA MARL BAWAH		Marl, batugamping, serpit, lanau dan beberapa interbedded seam batubara.	PRODELTA	250
EOSEN	FORMASI TANJUNG	ATAS		Interkalasi dari serpit dan pasir dengan beberapa seam batubara tipis.	MARINE	900	
		BAWAH		Serpit, pasir dan konglomerat	DELTA FRONT		
PRATERSIER	BASEMENT PRATERSIER			Serpit, kuarsit dan batuan beku			