

**IMPLEMENTASI SUBDRAIN SEBAGAI TREATMENT
BASEMENT DISPOSAL PADA AREA BEKAS
SEDIMENT POND DI PT. BORNEO INDOBARA**

¹⁾Seno Maris Utomo, ²⁾Edy Wicaksono, ³⁾Norohman

¹⁾Mine Development & Contract, PT. Borneo Indobara

²⁾Survey, Geotech, & Exploration Department, PT. Borneo Indobara

*E-mail: seno.utomo@sinarmasmining.com,
edy.wicaksono@sinarmasmining.com, no.rohman@borneo-indobara.com

ABSTRAK

Disposal merupakan salah satu aspek penting dalam operasional pertambangan batubara. Seiring dengan peningkatan produksi batubara di PT Borneo Indobara, diperlukan adanya perluasan area disposal sebagai aspek pendukungnya. Salah satu area yang terdampak adalah area bekas sediment pond yang akan dimanfaatkan sebagai area Disposal. Pembentukan Disposal tersebut memiliki tantangan pada bagian basement dikarenakan adanya lumpur sediment pond yang dapat berdampak pada kestabilan lereng. Disisi lain, pemindahan volume lumpur sediment pond yang banyak membutuhkan biaya loading yang besar dan waktu yang lama sementara kegiatan operasional pertambangan dituntut untuk tersedianya kapasitas disposal secara cepat. Implementasi subdrain pada area bekas sediment pond sebagai solusi untuk mengurangi tekanan air pori (*Pore Pressure*) pada lumpur yang berada di basement dan tubuh lereng disposal untuk menjaga kestabilan lereng. Subdrain yang dibentuk pada area disposal memiliki geometri saluran dengan lebar atas 2 meter, lebar bawah 1 meter, dan tinggi 1 meter. Pada saluran tersebut dimasukkan material Porous (gravel) yang diselubungi dengan geotextile. Tangkapan area Pore Pressure pada penampang saluran subdrain tersebut selebar 20 m dari penampang subdrain, sehingga dibutuhkan jarak ideal antar subdrain minimal per 40 m. Dari hasil Analisa didapatkan pengaruh tekanan air pori (Pore Pressure) pada area lumpur sebesar 24 kPa untuk kondisi tanpa subdrain dan sebesar 16 kPa untuk kondisi subdrain. Dari penggunaan subdrain dengan penampang trapesium, yang memiliki lebar bawah 1 meter dan lebar atas 2 m dengan kedalaman 1 meter mampu menghasilkan discharge sebesar $2,20 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$. Secara teoritis, berkurangnya tekanan air pori pada material dapat meningkatkan nilai tegangan efektif dari awal 220 kPa menjadi 300 kPa. Dengan adanya peningkatan tegangan efektif mampu menaikkan factor keamanan lereng disposal dari FK 1,077 menjadi FK 1,228.

Kata Kunci : *Disposal, Subdrain, Tekanan Pori (pore pressure), Tegangan Efektif, Discharge*

ABSTRACT

Disposal is an important aspect of coal mining operations. Along with the increase in coal production at PT Borneo Indobara, it is necessary to expand the disposal area as a supporting aspect. One of the affected areas is the ex-sediment pond area which will be used as a disposal area. The disposal construction has challenges in the basement due to the presence of mud sedimentation which can have an impact on slope instability. On the other hand, the removal of large volumes of sediment pond mud will require large costs and need a long time, while mining operations are required to provide disposal quickly. Implementation of a subdrain in the ex-sediment pond area as a solution to reduce the pore pressure in the mud in the basement and body of the disposal slope to maintain slope stability. The subdrain constructed in the disposal area has the drainage geometry with the top width is two meters, the bottom width is one meter, and the height is one meter. In the drainage is inserted Porous material (gravel) which is covered with geotextile. The catchment area of the Pore Pressure on the cross-section of the subdrain is 20 m wide from the cross-section of the subdrain, so that an ideal distance

between subdrains of at least 40 m is required. From the results of the analysis, it was found that the effect of pore pressure on the mud area was 24 kPa for conditions without subdrain and 16 kPa for conditions with subdrain. Using a subdrain with a trapezoidal cross-section, which has a bottom width of one meter and a top width of two meters with a depth of one meter is capable of producing a discharge of 2.20×10^{-5} m³/s. Theoretically, reducing the pore water pressure on the material can increase the effective stress value from the initial 220 kPa to 300 kPa. By increasing the effective stress, it is able to increase the safety factor of the disposal slope from FK 1,077 to FK 1.228.

Keywords: Disposal, Subdrain, Pore Pressure, Effective Stress, Discharge

A. PENDAHULUAN

Girimulya Utara (KGU) merupakan salah satu area penambangan yang dimiliki oleh PT. Borneo Indobara. Total volume OB area OPD KGU pada tahun 2021 adalah 12.695.889 Bcm. Kegiatan penambangan area Girimulya Utara (KGU) memiliki tantangan besar pada bagian basement disposal (Outpit Dump) yang memiliki sedimentasi bekas sediment pond 01 Pit KGU.



Gambar 01. Wilayah Konsesi PT. Borneo Indobara, Area Girimulya Utara merupakan area pembahasan

Pada area sediment pond 01 Pit KGU terdapat endapan lumpur dari tahun 2015 hingga tahun 2020 dengan estimasi volume 170.805 m³. Sesuai kemajuan sequence penambangan area sediment pond 01 Pit KGU tersebut terisi dengan material lumpur sedimentasi dari disposal, tebal sedimentasi yang terbentuk sebesar 2-3 meter dan kedalaman kolam sekitar 9 meter. Hal ini turut menambah potensi bahaya yang timbul khususnya bahaya longsor berkaitan dengan kegiatan dumping di atas air bekas sediment pond 01 Pit KGU. Pembentukan subdrain pada basement disposal menggunakan material Geotextile dan Gravel bertujuan untuk membentuk saluran yang memiliki material porositas tinggi untuk mengalirkan air dan udara dari dalam badan disposal. Untuk material gravel menggunakan *source* dari area Girimulya Barat didalam konsesi area PT. Borneo Indobara.



Gambar 02. Area Bekas Sediment Pond 01 Pit KGU dan Plan Subdrain

Dengan kehadiran metode *treatment subdrain* pada bagian basement disposal ini diharapkan mampu menjadi solusi untuk percepatan *sequence* penambangan dikarenakan material lumpur bekas sediment pond 01 Pit KGU dapat ditimbun tanpa dilakukan loading material lumpur sediment. Dengan adanya subdrain tekanan air pori pada area sediment pond dapat berkurang potensi ketidakstabilan lereng pada disposal *Output Dump* KGU.

B. METODOLOGI PENELITIAN

B.1. Petunjuk Umum

Dalam penelitian ini, material gravel yang bersifat *porous* digunakan sebagai pengisi subdrain untuk mengurangi tekanan pori dalam dasar timbunan. Untuk mengimplementasikan subdrain sebagai *treatment* dasar timbunan pada area bekas kolam pengendapan sedimen (*Sediment Pond*) dilakukan pendekatan eksperimental dan perhitungan dengan langkah – langkah yang dijabarkan dibawah ini.

B.1. Pengujian *Permeability* Material Gravel Subdrain

Jumlah air yang dikeluarkan melalui subdrain dipengaruhi oleh nilai permeabilitas dari material yang digunakan dalam subdrain. Material gravel yang digunakan untuk pengisi subdrain di lokasi penelitian memiliki ukuran komponen 20mm – 100mm. Pada dasarnya nilai permeabilitas dipengaruhi oleh kekentalan cairan, distribusi ukuran pori, distribusi ukuran butir, angka pori, kekasaran permukaan butir tanah, dan derajat kejenuhan (Das, 1985). Untuk mengetahui nilai permeabilitas dari gravel yang digunakan dalam subdrain dilokasi penelitian, dilakukan pengujian permeabilitas melalui penghitungan debit air yang lolos melalui tabung uji yang diisi dengan material gravel. Nilai Permeabilitas didapatkan dari nilai debit dibagi dengan luas penampang tabung uji (Persamaan 1).

$$k = \frac{QL}{Aht} \quad (1)$$

Dimana :

- k = koefisien permeabilitas
- Q = volume air yang dikumpulkan
- A = luas penampang melintang contoh tanah
- h = tinggi air dari permukaan
- L = panjang contoh tanah

B.2. Analisa Simulasi Kinerja Penampang Subdrain, Pore Pressure & Kestabilan Lereng

Tekanan air dalam kestabilan lereng memiliki efek berkurangnya tegangan efektif yang bekerja pada lereng (Wyllie & Mah, 2004). Tegangan efektif sendiri merupakan gaya per satuan luas yang dipikul oleh butir-butir tanah (Das, 1985). Pembentukan Subdrain di area penelitian bertujuan mengurangi nilai tekanan air pori pada basement timbunan akibat bekas kolam *Sediment* dan meningkatkan nilai tegangan efektif yang bekerja pada dasar timbunan. Hubungan tegangan total, tegangan pori dan tegangan efektif yang bekerja pada lereng digambarkan oleh persamaan 2.

$$\sigma = \sigma' + u(1 - a'_s) \quad (2)$$

Dimana:

- σ = tegangan total
- σ' = tegangan efektif
- u = tekanan air pori
- a'_s = bagian dari satuan luas penampang melintang massa tanah yang terletak pada titik sentuh antar butiran

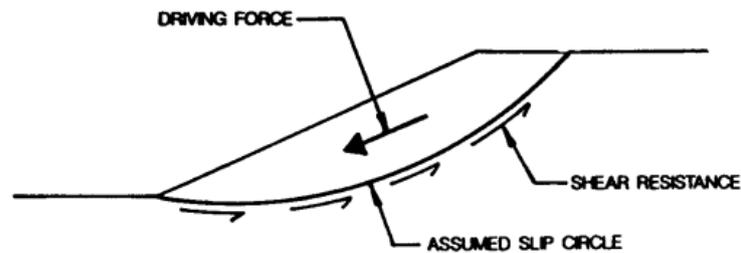
harga dari a'_s adalah sangat kecil dan untuk problema praktisnya dapat diabaikan (Das, 1985). Jadi persamaan (2) dapat ditulis menjadi :

$$\sigma = \sigma' + u \quad \text{atau} \quad \sigma' = \sigma - u \quad (3)$$

Untuk menghitung perubahan tekanan pori dan gaya yang bekerja pada basement disposal bekas *sediment pond*, penulis menggunakan bantuan software geoteknik dengan model *finite element* yaitu *RS2*.

B.3. Perhitungan Kestabilan Geometri Disposal

Secara praktis kestabilan lereng dapat dianalisis menggunakan konsep kesetimbangan batas sesuai seperti yang digambarkan pada gambar 1. Nilai faktor keamanan didapatkan melalui hubungan gaya pendorong (*shearing stress/Driving Force*) dan gaya penahan (*Shear Resistance*) seperti pada persamaan (4) (Abramson, Sharma, Lee, & Boyce, 2001).



Gambar 03. Analisis longsor busur (Abramson, Lee, Sharma, & Boyce, 2001).

$$FOS = \frac{S}{\tau} \quad (4)$$

Dimana :

- FOS = faktor keamanan
- S = *shear strength (shear resistance)*
- τ = *shearing stress (driving force)*

Perhitungan kestabilan geometri disposal disesuaikan dengan kapasitas dasar timbunan pada area bekas *Sediment Pond*. Perhitungan dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi tanpa treatment subdrain dan kondisi yang telah dilakukan treatment dengan subdrain sehingga pembentukan disposal aman secara Geoteknik. Perhitungan kestabilan dalam penelitian menggunakan konsep kesetimbangan batas dengan bantuan software *Slide2*.

B.4. Tahapan Pekerjaan Subdrain dan Kegiatan Penimbunan

Berdasarkan Peraturan yang diatur dalam peraturan Kepmen 1827 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik, penimbunan area bekas kolam dapat dilakukan berdasarkan hasil kajian teknis. Dalam kajian teknis terkait penelitian mencakup latar belakang, kondisi lapangan ruang lingkup, kajian geoteknik, tahapan kegiatan (*stage plan*), tujuan dan sasaran, dan analisis resiko.

B.5. Perhitungan *Cost and Benefit Analysis*

Perhitungan *cost and benefit analysis* dilakukan dengan membandingkan kegiatan *treatment* dasar timbunan antara pemindahan lumpur hasil sedimentasi dan pemasangan *subdrain* untuk meningkatkan nilai tegangan efektif.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

C.1. Pengujian *Permeability* Material Gravel Subdrain

Pada pengujian ini dilakukan 3 gradien kemiringan saluran yang berbeda, yaitu 1% ; 2% ; 5% untuk mengetahui perbedaan debit dari masing-masing gradien. Peralatan dan media yang digunakan, yaitu:

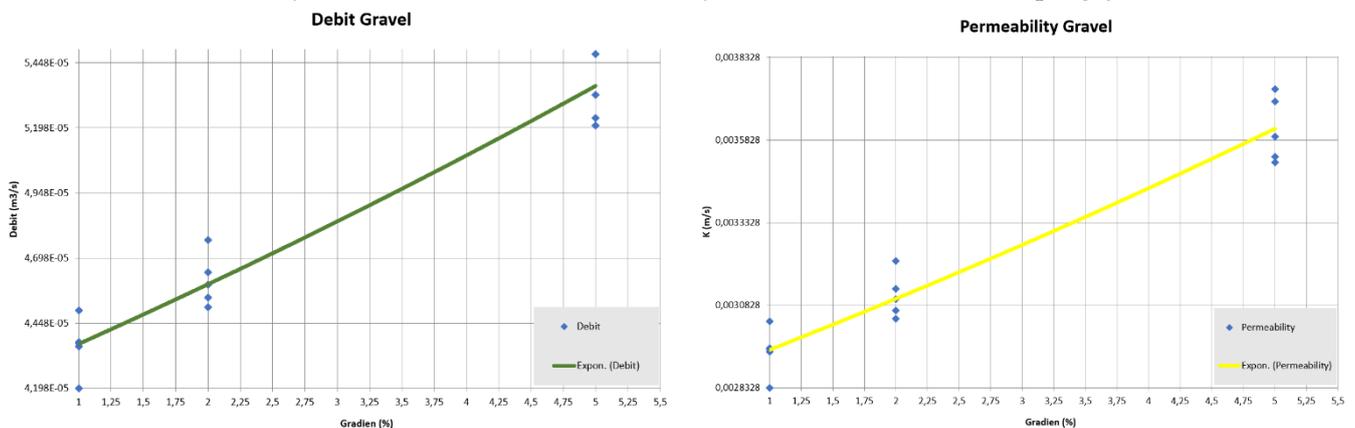
- Pipa Pralon Ø 5 inchi & Ø 2 inchi
- Material Gravel
- Material Geotextile
- Gelas Ukur
- Stopwatch
- Air



Gambar 04. Proses Pengujian Preambilitas Material Gravel

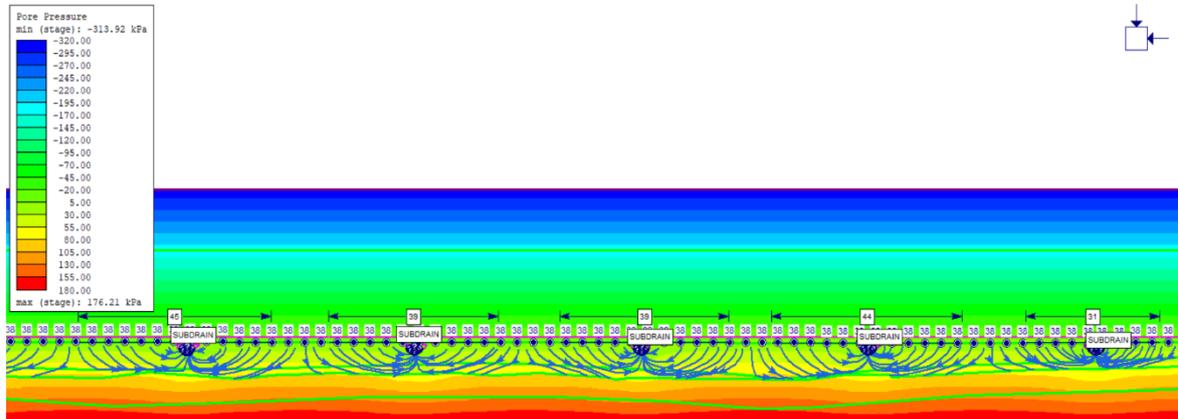
Pada pengujian ini hanya memperhitungkan kemampuan asli material gravel terhadap air bersih tanpa adanya pengaruh tekanan, konsolidasi, kekentalan cairan, dan hal-hal lain. Sehingga nilai tersebut dapat dimasukkan kedalam properties material untuk simulasi. Dari hasil pengujian didapatkan seperti grafik dibawah ini:

Grafik 01. Grafik Debit & Premeability Material Gravel dari hasil pengujian



C.2. Hasil Analisa Simulasi Kinerja Penampang Subdrain, Pore Pressure & Kestabilan Lereng

Analisa geoteknik yang digunakan menggunakan Finite Element untuk mengetahui nilai Kestabilan Lereng & Nilai Pore Pressure. Pada simulasi penampang subdrain berbentuk trapesium dengan lebar bawah 1 m dan lebar atas 2 m, serta memiliki kedalaman 1 m. Berdasarkan hasil simulasi (Gambar 05) tersebut kinerja subdrain dengan menggunakan material gravel memiliki kemampuan tangkapan pore pressure pada bekas sedimentasi pond sesuai table 01.

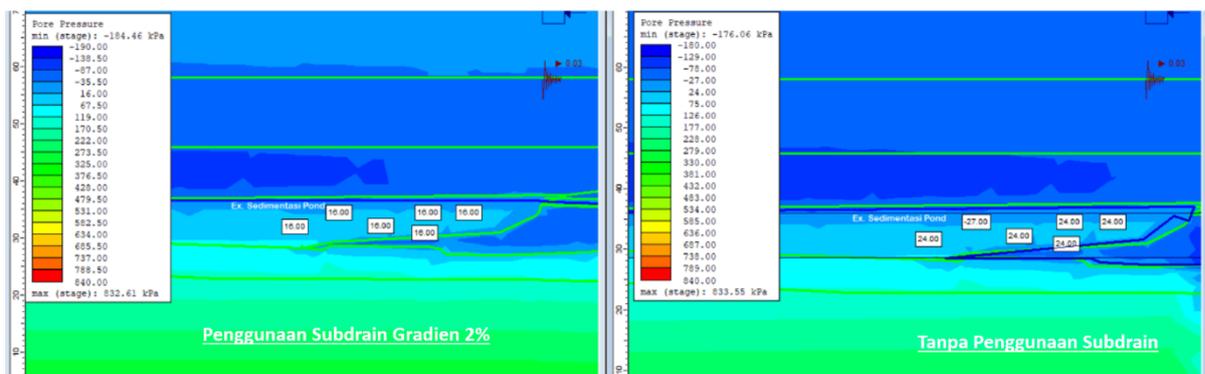


Gambar 05. Pengaruh Penampang Subdrain terhadap Tangkapan Aliran Pore Pressure

Tabel 01. Ukuran Pengaruh Penampang Subdrain

No	Tinjauan	Tangkapan Pore Pressure	
		Arah Horizontal (m)	Arah Vertikal (m)
1	Subdrain 01	31	3,8
2	Subdrain 02	44	4,3
3	Subdrain 03	39	5,5
4	Subdrain 04	39	4,9
5	Subdrain 05	45	4,9
6	Subdrain 06	38	5,3
7	Subdrain 07	42	4,5
8	Subdrain 08	35	3,9
Rata-rata		39	4,6

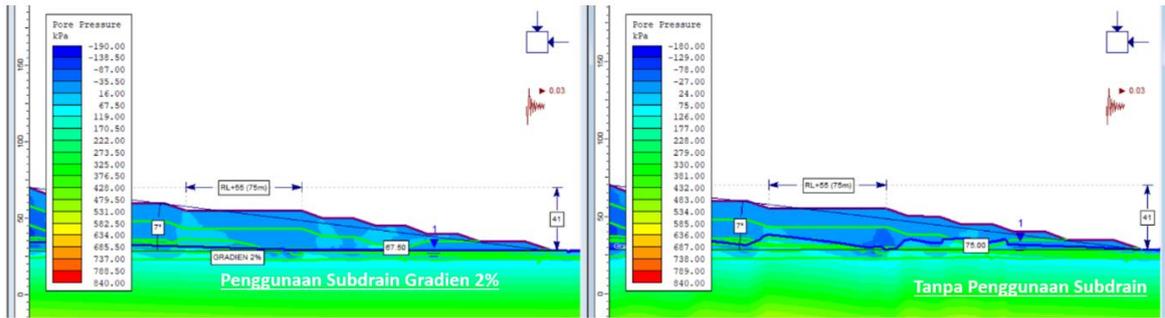
Pengaruh penggunaan subdrain terhadap bekas kolam sedimentasi yang disimulasikan sesuai (Gambar 06). Dengan titik tinjauan yang sama pada masing-masing simulasi didapatkan nilai pore pressure dengan kondisi tanpa subdrain sebesar 24 kPa, sedangkan jika menggunakan subdrain maka pore pressure tersebut turun menjadi 16 kPa.



Gambar 06. Pore Pressure pada Bekas Kolam Sedimentasi dengan Kondisi Penggunaan Subdrain & Kondisi Tanpa Penggunaan Subdrain

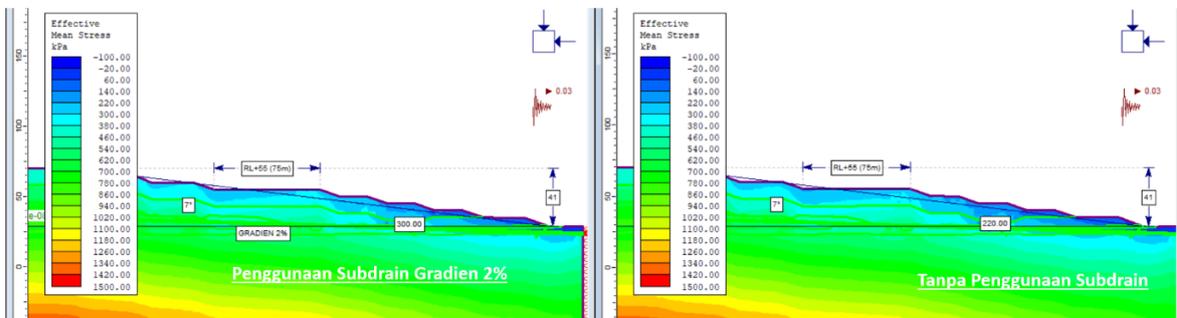
Peninjauan pore pressure tidak hanya pada bagian bekas kolam sedimentasi saja, namun juga dilakukan pada area bidang gelincir seperti (Gambar 07) dimana memiliki potensi dari bench elevasi RL+55 hingga bench elevasi RL+35 dengan acuan titik tinjau yang sama serta kondisi tanpa penggunaan subdrain dan menggunakan subdrain. Didapatkan dengan menggunakan subdrain nilai pore pressure sebesar 67,50 kPa,

sedangkan tanpa penggunaan subdrain sebesar 75 kPa.



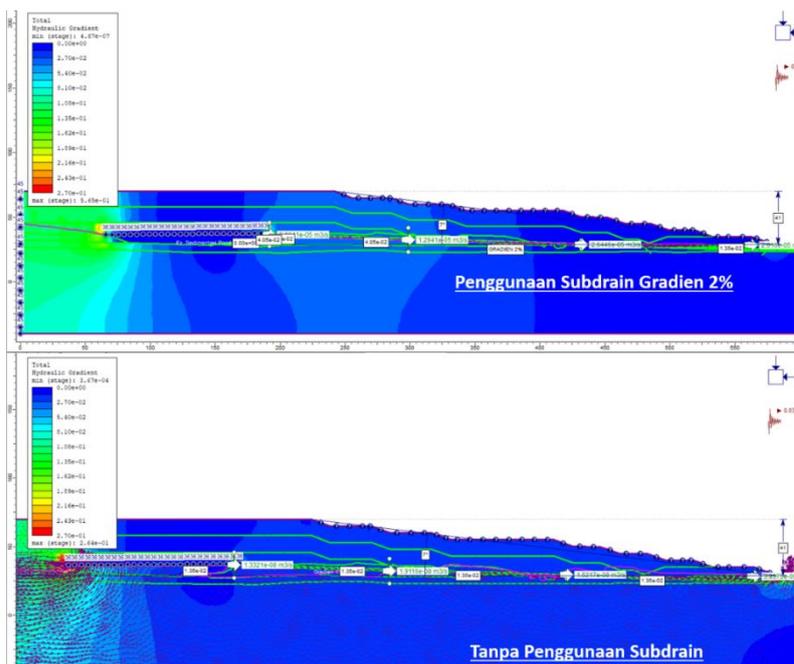
Gambar 07. Pore Pressure pada area potensi bidang gelincir dengan Kondisi Penggunaan Subdrain & Kondisi Tanpa Penggunaan Subdrain

Tegangan efektif pada area yang memiliki potensi bidang gelincir dilakukan peninjauan pada titik yang sama seperti simulasi (Gambar 08). Dari hasil Analisa didapatkan bahwa pengaruh penggunaan subdrain dapat meningkatkan tegangan efektif dari 220 kPa dengan kondisi tanpa subdrain menjadi 300 kPa dengan kondisi setelah menggunakan subdrain.



Gambar 08. Tegangan Efektif pada area Potensi Bidang Gelincir dengan Kondisi Penggunaan Subdrain & Kondisi Tanpa Penggunaan Subdrain

Untuk mengetahui perbedaan discharge aliran pore pressure dari dampak penimbunan bekas kolam sedimentasi, maka pada (Gambar 09). dilakukan simulasi arah memanjang rencana subdrain dengan kondisi penggunaan subdrain dan kondisi tanpa penggunaan subdrain. Sehingga didapatkan hasil discharge pada table 02..



Gambar 09. Pengaruh Subdrain terhadap Disposal dengan Kondisi Penggunaan Subdrain & Kondisi Tanpa Penggunaan Subdrain

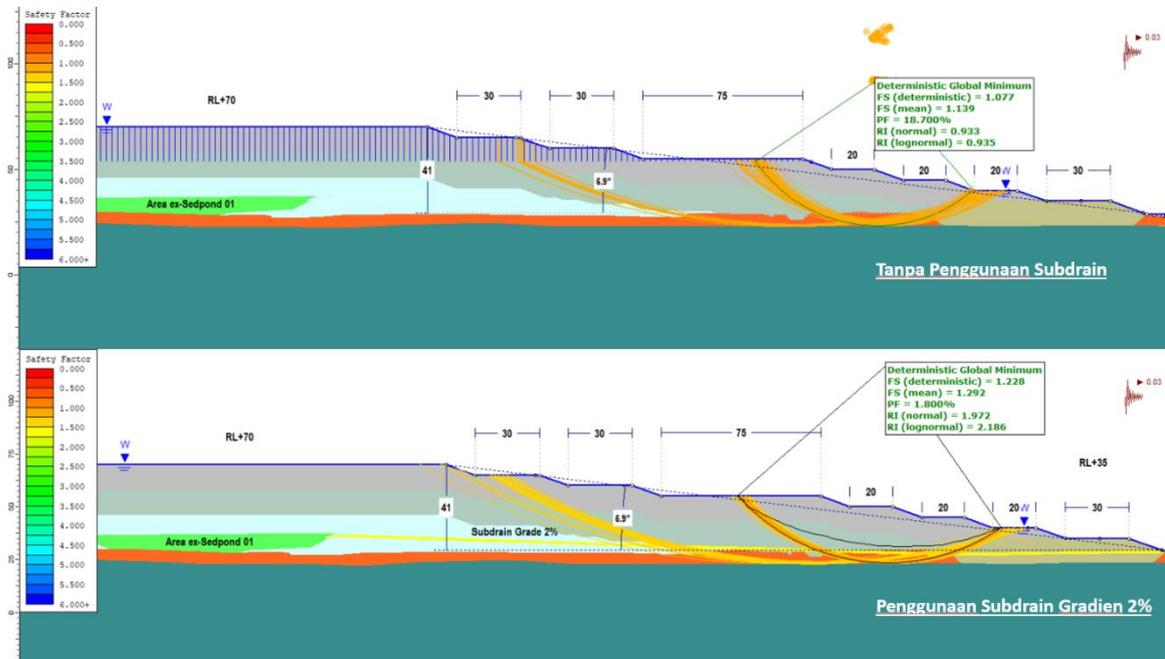
Tabel 02. Ukuran Pengaruh Penampang Subdrain

No	Tinjauan Bentang	Discharge (m ³ /s)	
		Subdrain Grade 2%	Non Subdrain
1	0 L	2,26E-05	1,33E-08
2	1/3 L	1,29E-05	1,91E-08
3	2/3 L	2,64E-05	1,52E-08
4	1 L	2,62E-05	3,84E-09
Rata-rata		2,20E-05	1,29E-08

Jika diperhatikan dari hasil penyebaran arah vector pore pressure dapat disimpulkan bahwa arah aliran pore pressure lebih teratur dan terarah mengikuti grade dari rencana subdrain.

C.3. Hasil Analisa Simulasi Kestabilan Geometri Disposal

Berdasarkan analisa pore pressure dan tegangan efektif bahwa memiliki pengaruh terhadap kestabilan lereng disposal. Oleh sebab itu dilakukan Analisa metode limit equilibrium untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng disposal OPD KGU terhadap pengaruh penggunaan subdrain. Pada simulasi yang ditujukan (Gambar 10) memiliki dua kondisi, yaitu kondisi tanpa subdrain dan kondisi menggunakan subdrain.



Gambar 10. Perbandingan Faktor Keamanan dengan Kondisi Penggunaan Subdrain & Kondisi Tanpa Penggunaan Subdrain

Dari hasil Analisa didapatkan bahwa factor keamanan lereng disposal tanpa menggunakan subdrain sebesar FK 1,077 dikategorikan Failure, sedangkan menggunakan subdrain sebesar FK 1,228 dikategorikan Stabil.

C.4. Tahapan Pekerjaan Subdrain dan Kegiatan Penimbunan

Dalam penelitian ini, dimasukkan teknis operasional terkait pembentukan subdrain dan tahapan kegiatan penimbunan yang masuk dalam *Kajian Teknis Pembentukan Disposal Kolam Sedpond 01*.

C.4.1. Pembentukan Subdrain

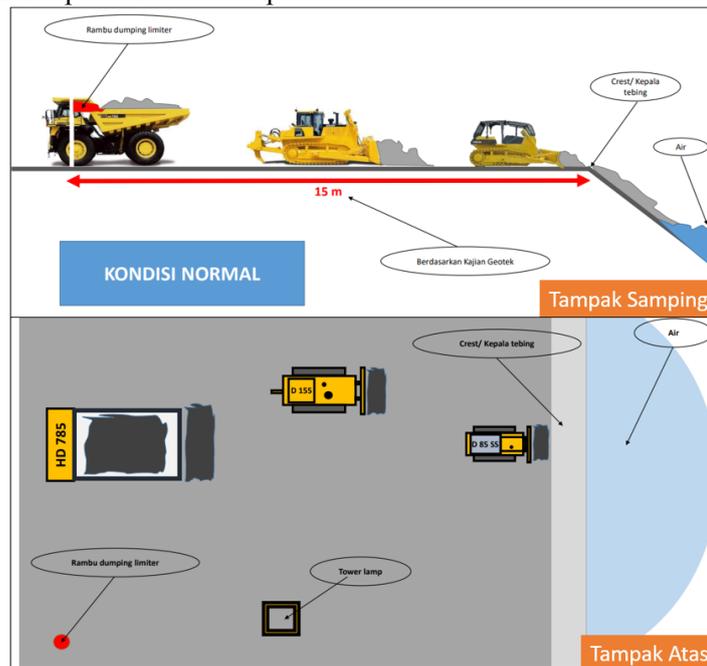
Pembentukan subdrain dilakukan sebelum kegiatan penimbunan di area kolam dilakukan. Pembentukan subdrain dilakukan dari tanggal 11 Oktober 2020 sampai 11 November 2020 dengan total durasi 1 bulan.



Gambar 11. Progress Pembentukan Subdrain di Area Sedpond 01

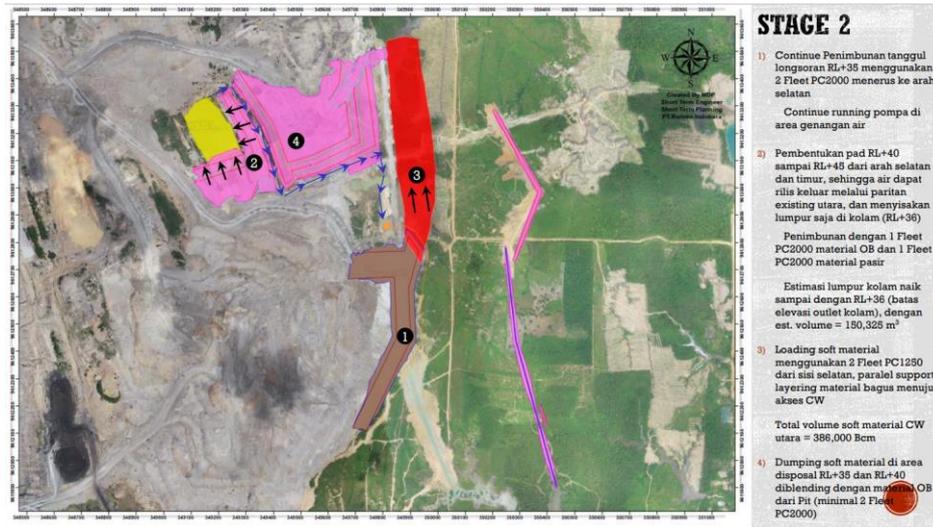
C.4.2. Penimbunan Area Kolam Sedpond 01

Kegiatan penimbunan di area Kolam Sedpond 01 termasuk kedalam kegiatan kritis karena merupakan kegiatan dumping diatas air yang memiliki resiko tinggi (Gambar 12). Sehingga dalam operasional kegiatan penimbunan mengacu dalam prosedur kegiatan penimbunan kritis yang masuk dalam Kajian Teknis Pembentukan Disposal Kolam Sedpond 01.



Gambar 12. Ilustrasi kegiatan penimbunan diatas air

Penimbunan pada bagian kolam Sedpond 01 dilakukan pengaturan arah penimbunan agar air terdesak keluar menuju Sedpond 06 dan lumpur yang tersisa dapat berkurang kandungannya melalui subdrain yang dibentuk ketika ditimbun. Penimbunan RL+40 sampai RL+45 dilakukan dari arah Selatan dan Timur agar air keluar melalui drainase di bagian utara menuju sedpond 06. Ketika air sudah habis dan menyisakan lumpur maka jalur drainase ditutup untuk menghindari lumpur masuk ke sedpond 06.



Gambar 13. Tahapan penimbunan area kolam Sedpond 01

Kinerja subdrain dapat dilihat pada (Gambar 14) yang menunjukkan bahwa output dump stabil dengan kondisi tertimbunnya bekas kolam sedimentasi. Aliran air dan udara yang keluar dari subdrain mengarah ke sedpond 06 untuk dikendalikan baku mutu airnya, agar tidak mencemari lingkungan.



Gambar 14. Kondisi akhir penimbunan Sedpond 01

C.5. Perhitungan *Cost and Benefit*

Perhitungan *cost and benefit* didasarkan pada biaya yang dikeluarkan untuk implementasi subdrain di *basement* disposal area Sedpond 01. Dengan penggunaan subdrain maka didapatkan keuntungan terkait tidak diperlukan pemindahan lumpur sedimentasi di sedpond 01.

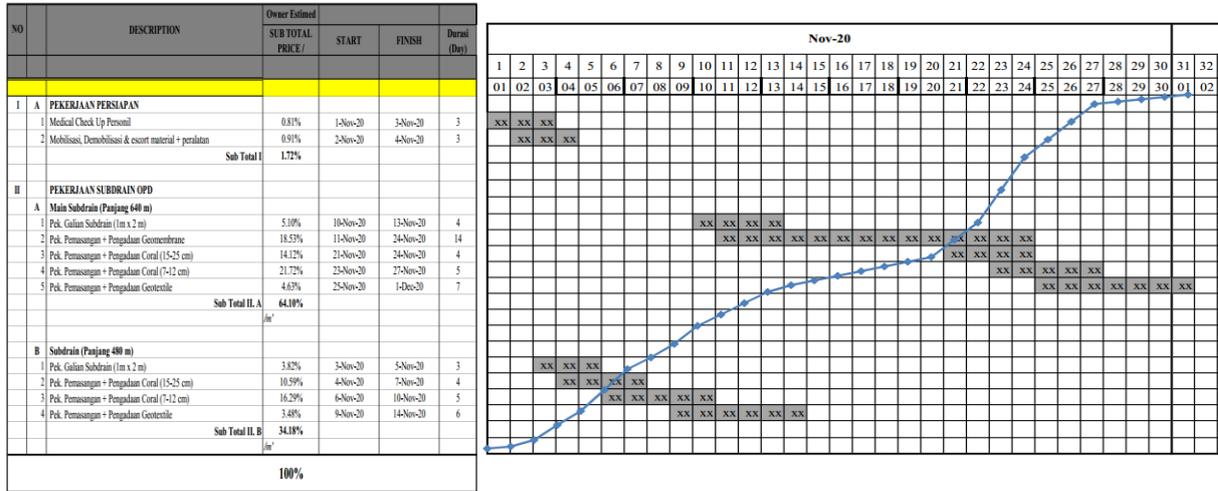
Tabel 03. Perhitungan Project Subdrain

No	Uraian	Unit	Volume	Harga Satuan	Biaya
1	Medical Check Up Personil	Ls	1	Rp 9.000.000,00	Rp 9.000.000,00
2	Mobilisasi, Demobilisasi	LS	1	Rp 15.000.000,00	Rp 15.000.000,00
3	Pekerjaan Galian	m3	2464	Rp 44.230,00	Rp 108.982.720,00
4	Pemasangan Geotextile	m2	4480	Rp 27.530,00	Rp 123.334.400,00
5	Pemasangan Gravel	m3	3154	Rp 74.794,56	Rp 235.902.049,25
Total Biaya					Rp 492.219.169,25

Dengan pembuatan subdrain yang menggunakan material gravel dari area Girimulya Barat maka

pembuatan subdrain membutuhkan durasi selama 30 hari berdasarkan kurva s seperti table 04.

Tabel 04. Kurva S durasi pekerjaan Subdrain



Sedangkan jika dilakukan loading mud secara metode konvensional membutuhkan biaya sebesar Rp. 5.820.180.375,- dengan durasi selama 60 hari.

D. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Pengujian permeabilitas material gravel yang digunakan sebagai isi subdrain dengan grade 2% di lokasi penelitian memiliki nilai 0,003 m/s
2. Dari hasil simulasi dengan implementasi subdrain didapatkan penurunan nilai pore pressure pada bagian bekas sedpond dari 24 kPa menjadi 16 kPa. Penurunan nilai pore pressure tersebut secara total meningkatkan nilai tegangan efektif dari 220 kPa menjadi 300 kPa
3. Implementasi subdrain pada rencana desain disposal yang berada di area bekas sedpond 01 meningkatkan nilai Faktor keamanan dari FK 1.077 pada kondisi tanpa subdrain menjadi FK 1.228
4. Tahapan pekerjaan dimulai dengan pembentukan subdrain terlebih dahulu, dimana sebelum dilakukan penimbunan subdrain gradien 2% harus dipastikan terbentuk agar aliran pore pressure dapat mengalir dengan sesuai rencana. Arah penimbunan mengarah ke utara untuk mendesak lumpur dan air, agar dapat mengalir ke drainase yang telah direncanakan.
5. Implementasi Subdrain pada area penelitian berhasil menurunkan biaya yang dikeluarkan untuk persiapan basement disposal sebesar 91,5%. Penurunan didapatkan dari selisih biaya jika dilakukan pemindahan lumpur sedimentasi dan biaya konstruksi subdrain. Secara durasi persiapan disposal, didapatkan percepatan pekerjaan persiapan disposal sebanyak 30 hari dengan implementasi subdrain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, dengan rasa syukur kehadiran Allah SWT, berkat limpahan dan rahmatNya Tim Penyusun mampu menyelesaikan makalah perhapi ini dengan baik. Tim Penulis juga mengucapkan terimakasih atas bantuan dari semua pihak sehingga kendala – kendala yang dihadapi selama penulisan dapat diselesaikan yaitu Atas bimbingan, pengarahannya dan fasilitatornya sehingga makalah ini dapat terbentuk, terutama kepada :

1. Bapak Riadi Simka Pinem selaku Kepala Teknik Tambang PT. Borneo Indobara
2. Bapak Dede Wijayanto selaku General Manager Mine Development & Contract PT. Borneo Indobara
3. PERHAPI karena telah menyelenggarakan TPT XXXII PERHAPI 2023

DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, L. W., dkk. (2001): *Slope Stability and Stabilization Methods, 2nd edition*, John Wiley & Sons, 35 – 36.
- Das, B.M., (1985): *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*, (Mochtar, N.E., dan Mochtar I.B., Terjemahan), Erlangga, 84, 123.
- Wyllie, C. and Mah, W. (2004) *Rock Slope Engineering Civil and Mining*. In: Hoek, E. and Bray, J.W., Eds., *Rock slope Engineering*, Taylor & Francis Group, 229 p.