

Simulasi Pengaruh Ketinggian Genangan *Chemical solution* Terhadap Kestabilan *Heap leach*

Andromeda Nabella^{1*}, Budi Sulistianto², Tri Karian³

¹⁻³Rekayasa Pertambangan, FTTM, Institut Teknologi Bandung
Corr Author: *¹andromedanabella30@gmail.com

ABSTRAK

Heap leach statik merupakan metode pemisahan logam berharga dengan batuanannya. PT XYZ adalah perusahaan tambang yang menggunakan *heap leach* statik dengan cara *stacking* material *fresh ore* di atas material *spent ore* untuk diirigasi menggunakan *chemical solution*. Proses ini terus berlanjut ketika akan ada material *fresh ore* yang akan diirigasi sehingga terbentuk tumpukan *ore* yang semakin meninggi. Saat proses irigasi, *fine material ore* akan turun mengisi rongga-rongga antara F2 sehingga membawa dampak *chemical solution* tidak menerus menuju pipa-pipa *drainage* yang ada dibawah F2. Hal ini membawa dampak, *chemical solution* terjebak dalam badan *heap leach*. Monitoring *Vibrating Wire Piezometer* dilakukan untuk mengetahui tinggi genangan *chemical solution* pada *heap leach*. Dalam penelitian ini permodelan tinggi genangan *chemical solution* berdasarkan 2 titik yaitu VWP 12 & VWP 13. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh ketinggian genangan *chemical solution* terhadap kestabilan *heap leach*. Metode kesetimbangan batas dengan permodelan *software Slide2* digunakan untuk mensimulasikan tinggi genangan untuk memperoleh analisis. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa tinggi genangan berbanding terbalik dengan kestabilan *heap leach*. Semakin tinggi genangan *chemical solution* maka semakin rendah kestabilan badan *heap leach*. *Heap leach* yang kondisinya tidak stabil, ditandai dengan $FK=1,058$ dan $POF=27\%$ ketika ketinggian genangan *chemical solution* berada pada elevasi 44,39 (VWP 12) dan 70.18 (VWP 13). Rekomendasi yang diberikan dari hasil analisis ialah pemasangan *drainage horizontal* di *lift* 1 dan 2, menginstalasi *geomembran/liner* di atas *lift* 5 dan pembuatan *buttress* di *toe heap leach* akan menstabilkan *heap leach* dengan $FK=1,980$ dan $POF=0\%$.

Kata kunci: *Heap leach Statik*, Kestabilan *heap leach*, *Fresh ore* & *Spent ore*, Ketinggian *chemical solution*

ABSTRACT

Static heap leach is a method of separating valuable metals from the rock. PT XYZ is a mining company that uses static heap leach by stacking fresh ore material on top of spent ore material for irrigation using chemical solutions. This process continues when there is fresh ore material that will be irrigated so that an ever-increasing pile of ore is formed. During the irrigation process, fine ore material will fall to fill the cavities between F2, resulting in the chemical solution not continuing to flow to the drainage pipes below F2. This has the effect that the chemical solution is trapped in the heap leach body. Vibrating Wire Piezometer monitoring is carried out to determine the height of the chemical solution pool in the heap leach. In this research, the modeling of the height of the chemical solution pool is based on 2 points, namely VWP 12 & VWP 13. The aim of this research is to determine the effect of the height of the chemical solution pool on the stability of the heap leach. The limit equilibrium method with Slide2 modeling software is used to simulate the inundation height to obtain analysis. The results of this study show that the inundation height is inversely proportional to the stability of the heap leach. The higher the chemical solution pool, the lower the stability of the heap leach body. Heap leach, which is in an unstable condition, is characterized by $FK=1.058$ and $POF=27\%$ when the height of the chemical solution pool is at an elevation of 44.39 (VWP 12) and 70.18 (VWP 13). The recommendations given from the results of the analysis are installing horizontal drainage on lifts 1 and 2, installing geomembrane/liner on lift 5 and making a buttress on the toe heap leach will stabilize the heap leach with $FK=1,980$ and $POF=0\%$.

Keywords: Static heap leach, Heap leach stability, Fresh ore & Spent ore, Chemical solution level

Submitted: 14-09-2022; Revised: 22-11-2023; Accepted: 29-01-2024; Available Online: 01-03-2024

Published by: Mining Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Lambung Mangkurat

This is an open access article under the CC BYND license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

©2024, Geosapta

PENDAHULUAN

PT XYZ adalah perusahaan pertambangan emas yang melakukan pelindian sebelum pemurnian komoditas bahan galian yang ditambanginya. Teknik *static heap leach* dipilih sebagai metode pelindian komoditasnya.

Proses *heap leach* statik ialah *stacking* material *fresh ore* di atas pelataran (*pad*) untuk diirigasi oleh *chemical solution* berupa sianida. Ketika *ore* telah terleaching selama 120 hari, maka *fresh ore* telah bisa dianggap menjadi *spent ore*, dan material *fresh ore* yang baru dapat ditumpuk diatas *spent ore*. Hal tersebut dilakukan terus menerus sehingga terbentuklah tumpukan *spent ore* dan *fresh ore* pada suatu pelataran yang semakin meninggi.

Chemical solution yang digunakan untuk irigasi *ore* seharusnya keluar melalui pipa-pipa dibawah tumpukan *ore* dan F2 (*gravel*). Pada ujung pipa-pipa tersebut terdapat *laundrybox*. Apabila *grade chemical solution* hasil *leaching* tersebut tinggi maka *chemical solution*nya akan dialirkan menuju kolam *pregnant leach solution pond* (PLS) untuk diolah di ADR menjadi *bullions*. Namun, apabila *grade chemical solution* hasil *leaching* rendah maka akan dialirkan menuju kolam *intermediet leach solution pond* (ILS) untuk digunakan sebagai irigasi primer. Penentuan *grade* berdasarkan hasil uji sampel yang diambil pada setiap *laundrybox*.

Heap leach statik PT XYZ pernah mengalami ketidakstabilan. Diduga penyebabnya adalah adanya

chemical solution hasil proses irigasi yang terperangkap didalam *heap leach*. *Fine material ore* terbawa turun selama proses irigasi dan mengisi rongga-rongga F2 (*gravel*) di bawah tumpukan *fresh ore* dan *spent ore*. Akibatnya *chemical solution* tidak bisa mengalir menuju pipa-pipa drainase di bawah F2. Apabila irigrasi terus dilakukan, maka genangan *chemical solution* yang terperangkap akan semakin meningkat dan menyebabkan ketidakstabilan pada *heap leach*. *Chemical solution* memiliki tekanan pori seperti air. Tekanan pori yang meningkat akan mengurangi tegangan normal dan menyebabkan kekuatan geser material penyusun *heap leach* akan semakin lemah. Oleh karena itu, dilakukan analisis ini dengan mensimulasikan pengaruh ketinggian genangan *chemical solution* terhadap kestabilan *heap leach*, dengan tujuan untuk mengetahui sampai setinggi berapa *chemical solution* yang dapat menyebabkan ketidakstabilan pada *heap leach* statik PT XYZ.

METODOLOGI

Penelitian ini diawali mengetahui latar belakang permasalahan, Kemudian dilanjutkan Dengan pengamatan lapangan, pengumpulan data primer dan sekunder. Penelitian ini mengasumsikan longoran berbentuk *non circular* sehingga dipilih metode janbu. Faktor keamanan berdasarkan metode Janbu didefinisikan sebagai berikut [1]:

$$FK = \frac{fo \cdot EX / (1 + \frac{Y}{FK})}{EZ + Q} \tag{1}$$

Dimana:

$$X = (c + (\gamma_r \cdot h - \gamma_w \cdot h_w) \tan \phi) (1 + \tan^2 \psi_b) \Delta x$$

$$Y = \tan \psi_b \cdot \tan \phi$$

$$Z = \gamma_r \cdot h \cdot \Delta x \cdot \tan \psi_b$$

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot Z^2$$

Aproksimasi faktor koreksi *fo* :

$$fo = 1 + K \left[\frac{d}{r_c} - 1.4 \left(\frac{d}{r_c} \right)^2 \right] \tag{2}$$

untuk :

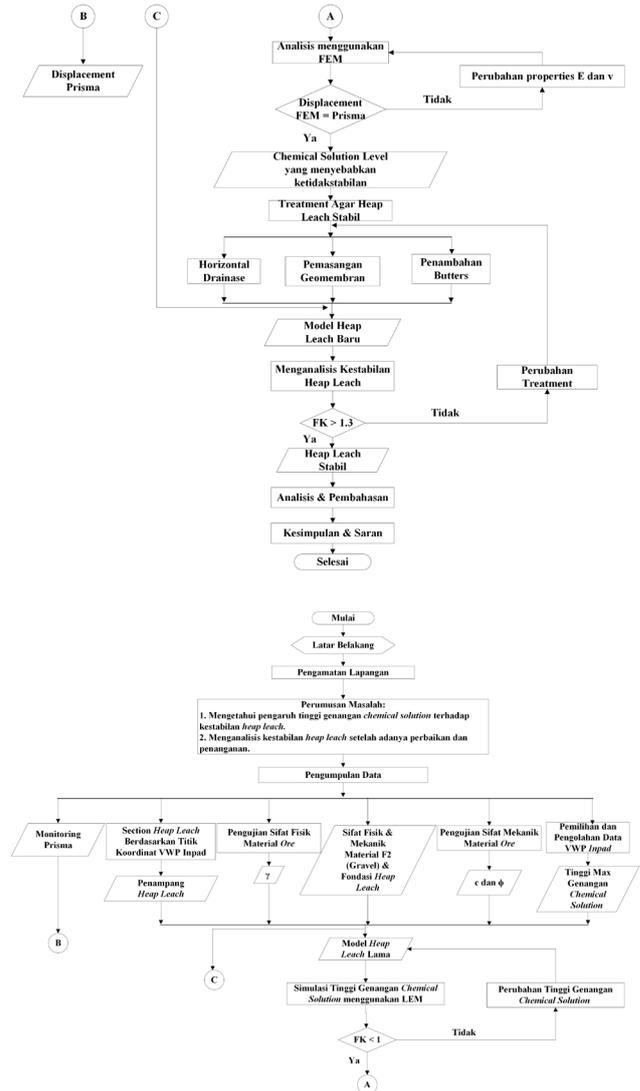
$$c' = 0 ; K = 0.31$$

$$c' > 0 ; \phi' > 0 ; K = 0.50$$

Permodelan dan analisis dilakukan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) dengan menggunakan *software* Slide 2 dan metode *finite element method*.

Hasil analisis dengan FEM adalah *Displacement*, sehingga dapat dibandingkan dengan *Displacement* di lapangan berdasarkan monitoring prisma. Dengan demikian hasil analisis terkait simulasi pengaruh ketinggian *chemical solution* yang menyebabkan ketidakstabilan akan lebih baik.

Secara keseluruhan, alur Penelitian ini dirangkum secara lengkap didalam diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar-1.



Gambar-1. Diagram Alir Penelitian

Data Penelitian

Data primer yang digunakan adalah sifat fisik dan mekanik material *ore* penyusun *heap leach*. Sifat fisik dan sifat mekanik yang digunakan merupakan hasil pengujian di Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang Institut Teknolgi Bandung. Material *ore* yang diuji terdiri atas 3 yaitu *fresh ore*, *spent ore* dan *spent ore* jenuh.

Sifat fisik yang digunakan adalah *unit weight*. Perbandingan antara berat butir tanah dengan volume disebut juga dengan *unit weight* [2]. Sifat mekanik yang digunakan adalah kohesi dan sudut gesek dalam. Dua parameter tersebut merupakan parameter kuat geser. Kuat geser batuan dapat didefinisikan sebagai perlawanan sifat internal batuan terhadap tegangan yang bekerja sepanjang bidang geser dalam batuan [3].

Uji sifat fisik yang digunakan adalah uji sifat fisik batuan hancuran [4]. Uji sifat fisik batuan hancur memiliki prosedur yang sama dengan uji sifat fisik batuan utuh. Perbedaan dari uji sifat fisik batuan hancur adalah memasukkan sampel kedalam cawan dengan jumlah yang sama dengan ukuran butir yang bervariasi seperti Gambar-2.

Uji sifat mekanik yang digunakan adalah uji kuat geser langsung batuan hancur. Uji kuat geser langsung batuan hancur ini menggunakan alat yang dikembangkan oleh Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang Institut Teknologi Bandung (Gambar-3). Ada sedikit Modifikasi yang dilakukan, yaitu penambahan *apparatus box* sebagai wadah untuk sampel batuan hancur yang akan di uji seperti Gambar-3 [4].



Gambar 2- Uji Sifat Fisik Batuan Hancur



Gambar 3- Uji Kuat Geser Langsung Batuan Hancur

Hasil uji lab yang berupa properties material ore penyusun *heap leach* dapat dilihat pada Tabel-1.

Tabel- 1. Properties Materil Ore Penyusun *Heap leach*

Material Ore	Unit Weight (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut Gesek Dalam (°)
Fresh ore	17.82	24.2	32.05
Spent ore	17.33	5	31.83
Spent ore Jenuh	18.58	1.5	27.44

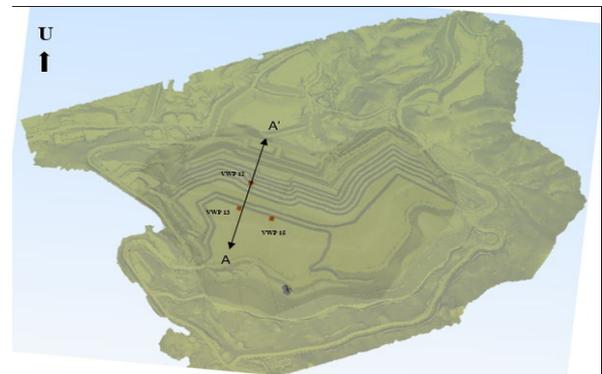
Sedangkan data sekunder dalam penelitian ini terdiri atas: properties material penyusun pondasi *heap leach*, penampang *heap leach*, Tinggi genangan *chemical solution* berdasarkan monitoring *Vibrating Wire Piezometer* (VWP), *Displacement* berdasarkan monitoring prisma.

Heap leach terdiri atas 2 bagian utama yaitu: pondasi *heap leach* dan badan *heap leach*. Kedua bagian tersebut dibatasi oleh *geomembran/liner* yang bersifat kedap air. Badan *heap leach* tersusun atas F2 (*gravel*) dan material ore. Sedangkan pondasi *heap leach* terdiri atas batuan *insitu*. Tabel-2 menunjukkan properties material penyusun pondasi *heap leach* yang digunakan pada penelitian ini.

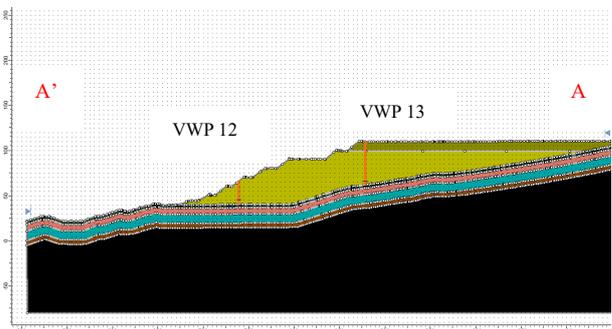
Tabel- 2 Properties Material Penyusun Pondasi *Heap leach*

Material	Unit Weight (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut Gesek Dalam (°)
F2 (<i>gravel</i>)	14	0	14
Liner			
Clay Compacction	17	4	17
Colluvium Silty Clay	18	15	23
Saprolite A	19	30	25
Extremely Weathered Diorite	21	50	26
Saprolite B	19	30	25
Bedrock	25.1	120.9	49.1

Penelitian ini menggunakan dua penampang *heap leach*, yaitu: penampang *heap leach* sebelum terjadi ketidakstabilan dan penampang *heap leach* setelah adanya perbaikan dan penambahan pemasangan *geomembran/liner*. Penampang *heap leach* sebelum terjadi ketidakstabilan diperoleh dengan membuat *section heap leach* yang melewati 2 titik VWP yang terpasang pada *heap leach* sebelum terjadi ketidakstabilan. Perhatikan Gambar-4 yang menggambarkan posisi *section A-A'*. Hasil *section* dari Gambar-4 diperoleh penampang *heap leach* yang dapat dilihat pada Gambar-5.



Gambar-4. *Heap leach* Sebelum Terjadi Ketidakstabilan



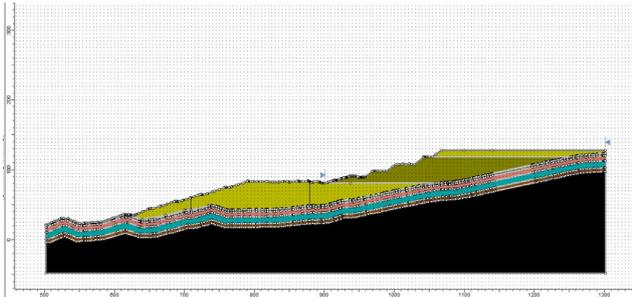
Gambar-5. Penampang *Heap leach* Sebelum Terjadi Ketidakstabilan

Sedangkan untuk penampang *heap leach* setelah adanya perbaikan dan penambahan pemasangan *geomembran/liner* seperti Gambar-6.

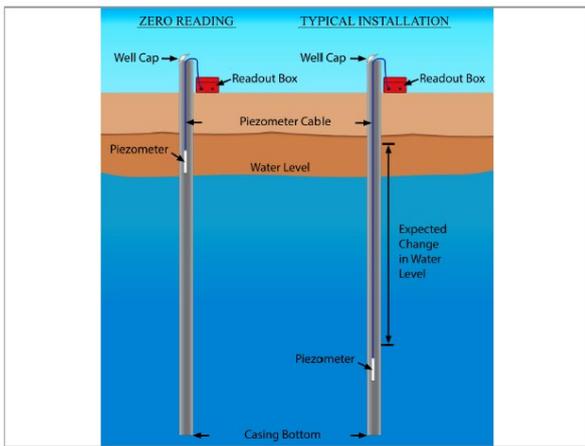
Vibrating Wire Piezometer merupakan alat monitoring muka air tanah yang mekanisme kerjanya menangkap sensor yang dapat dibaca di *readbox*. Hal-hal yang perlu diperhatikan saat instalasi *Vibrating Wire Piezometer* (VWP) adalah sebagai berikut:

- Kalibrasi
- Elevasi & Koordinat
- *Installation Zero Reading*

Perolehan nilai *installation Zero Reading* diperoleh ketika WVP diinstal dan bertemu oleh air seperti Gambar-7 [5].

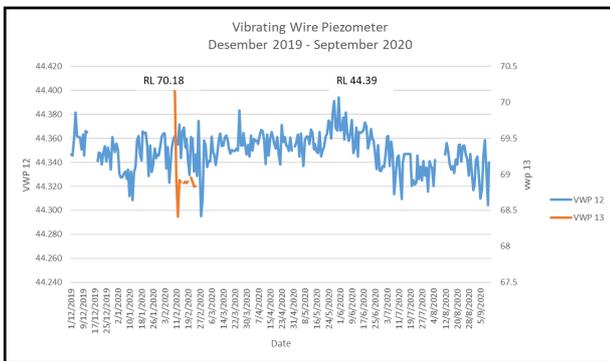


Gambar-6. Penampang *Heap leach* Setelah Adanya Perbaikan dan Penambaham Pemasangan *Geomembran*



Gambar-7. Perolehan *Installation Zero Reading*

Ketinggian *chemical solution* dapat dimonitoring dengan WVP yang terpasang pada *heap leach*. WVP yang digunakan dalam memodelkan adalah data WVP 12 & 13. Berdasarkan grafik pada Gambar 8, diketahui bahwa data WVP 12 & WVP 13 mengalami fluktuasi.

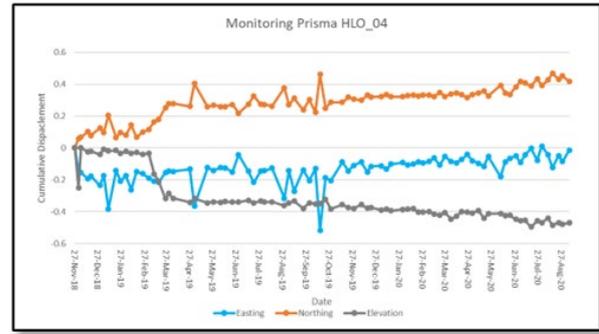


Gambar-8. Grafik Ketinggian *Chemical solution level*

Ketinggian *chemical solution* yang digunakan merupakan ketinggian maksimal pada tahun Desember 2019- September 2020, yaitu 70.18 untuk WVP 13 dan 44.39 untuk WVP 12.

Hasil dari monitoring prisma pada *heap leach* adalah pergerakan dari *heap leach*. Dimana pergerakan berdasarkan monitoring prisma terbagi atas 3 arah yaitu *easting*, *nothing* dan *elevation*. Penelitian ini mengacu pada data monitoring prisma HLO-4 yang terletak pada lift

ke 5. Pada Gambar-9, terlihat fluktuasi pergerakan *heap leach* ke arah *easting*, *northing* maupun *elevation*.

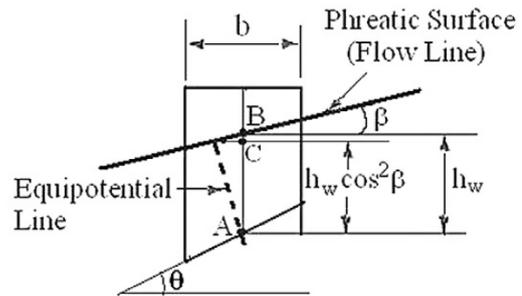


Gambar-9. Pergerakan *Heap leach* Berdasarkan Prisma

Berdasarkan data pada grafik diatas akan dilakukan pengolahan sehingga diperoleh *total displacement*, *vertical displacement* dan *horizontal displacement* pada *heap leach lift 5*.

Permodelan

Permodelan ketinggian *chemical solution* dilakukan berdasarkan data ketinggian WVP 12 & WVP 13. Permodelan ini menggunakan *water tabel* dengan metode *Hu coefficient*. Metode *Hu coefficient* adalah metode yang berguna untuk memperkirakan tekanan pori. Disaat tidak adanya data yang akurat untuk memperkirakan ketinggian air. Dalam *software Slide 2 Hu coefficient* didefinisikan dalam faktor 0 dan 1. Dimana $Hu=1$ adalah kondisi hidrostatik dan $Hu=0$ adalah kondisi kering [6].



Gambar-10. *Pore Pressure* Pada Bawah Irisan

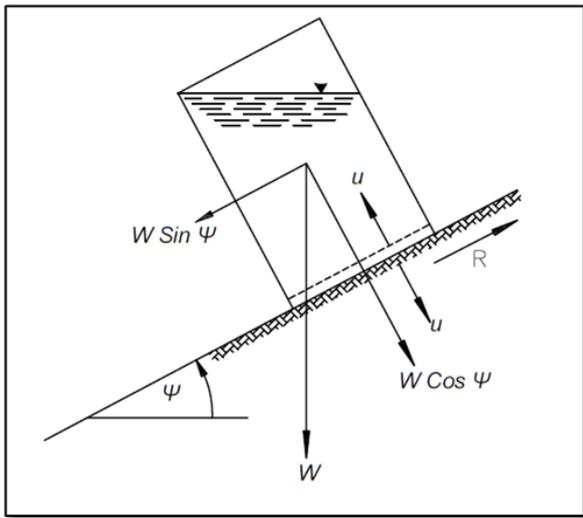
Gambar-10 menunjukkan garis permukaan freatik dan garis ekuipotensial yang melalui titik A di dasar irisan. Jika titik B pada permukaan freatik yang terletak tepat di atas titik A berada pada jarak h_w di atas titik A, head tekanan di titik A adalah $h_w \cos^2 \beta$. β adalah kemiringan permukaan di titik B. Ketika peizometer berada di titik A, muka air dalam tabung *piezometer* akan naik ke titik C pada jarak $h_w \cos 2\beta$ di atas titik A, maka titik C berada pada permukaan *piezometer*. Tekanan pori di bagian bawah irisan dapat ditulis sebagai berikut:

$$U = \gamma_w \cdot h_w \cdot Hu \tag{3}$$

$$U = \gamma_w \cdot h_w \cdot (\cos^2 \beta) \tag{4}$$

dimana u = *pore pressure*, γ_w = *unit weight air*, h_w ketinggian air, dan β = kemiringan permukaan freatik [7].

Faktor keamanan adalah perbandingan antara gaya penahan dengan gaya penggerak. Jika sebuah balok dipengaruhi oleh air [8]. Maka gaya tekan pada air akan mengurangi gaya normal yang mengurangi gaya penahan yang menahan balok atau mengurangi kuat geser yang dimiliki balok tersebut.



Gambar-11. Kestabilan Lereng

Jika balok di pengaruhi oleh air, maka faktor keamanan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

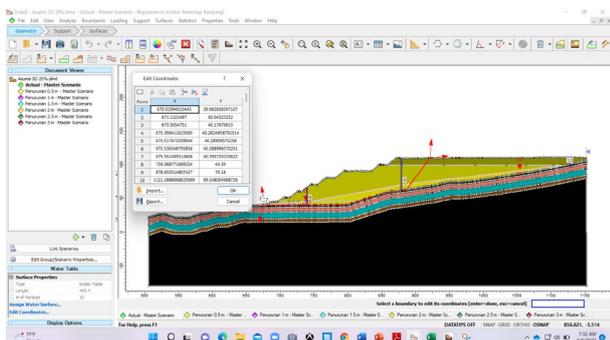
$$\text{Faktor Keamanan} = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \quad (5)$$

$$= \frac{R}{W \sin \Psi} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \tau &= c + (\sigma_n - U) \tan \phi \\ &= c.A + ((W \cos \Psi) - U) \tan \phi \end{aligned} \quad (7)$$

Dimana R adalah gaya penahan, W adalah berat balok, Ψ adalah kemiringan lereng, τ adalah kuat geser, c adalah kohesi, σ_n adalah tegangan normal dan u adalah pore pressure.

2 titik VWP dikorelasikan dengan ujung water tabel terletak pada toe heap leach (Gambar-12). Ketinggian VWP 12 dan 13 adalah ketinggian yang maksimum dari data 2019-2020. Perubahan ketinggian hanya berlaku pada titik VWP 12 dan VWP 13 didalam model penampang 2D heap leach.



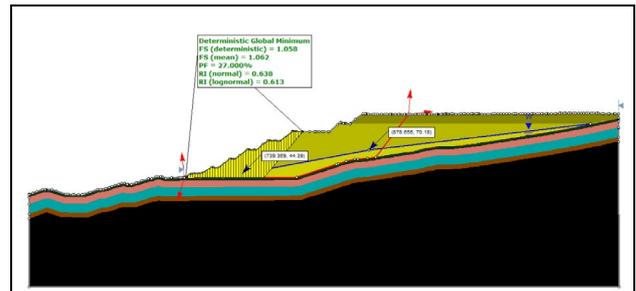
Gambar-12. Permodelan ketinggian chemical solution pada heap leach

Hal tersebut dilakukan dengan elevasi chemical solution yang berbeda hingga model menunjukkan heap leach tidak stabil dengan $FK < 1$ dan bidang longsor yang terjadi. Ketika model telah menunjukkan $FK < 1$ dilakukan permodelan dengan menggunakan software RS2 dengan metode Finite Element Method (FEM) untuk mengetahui displacement yang terjadi pada bidang longsor yang ditunjukkan pada software Slide 2. Lalu displacement tersebut dibandingkan dengan displacement hasil monitoring di lapangan.

Permodelan kedua dilakukan pada penampang heap leach yang baru. Dengan asumsi bagian tumpukan yang telah terjadi ketidakstabilan sebelumnya itu kering akibat perbaikan dan penanganan antara lain yaitu: pemasangan horisontal drainage di lift 1 dan 2, pemasangan geomembran/liner di lift 5 dan menambahkan butters di toe heap leach. Sehingga diasumsikan bahwa chemical solution hasil irigasi tumpukan heap leach baru tidak dapat masuk kedalam tumpukan heap leach yang telah mengalami ketidakstabilan sebelumnya. Analisis model ini, harus menunjukkan $FK < 1.3$ sesuai Kepmen ESDM 1827 untuk lereng keseluruhan dengan keparahan longsor tinggi [9]. Apabila tidak, maka dilakukan perbaikan dan penanganan kembali.

HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh diketahui bahwa terjadi ketidakstabilan ketika ketinggian chemical solution berada pada elevasi yang paling tertinggi pada tahun 2019-2020. Hal ini ditunjukkan dari hasil Running model seperti Gambar-13.



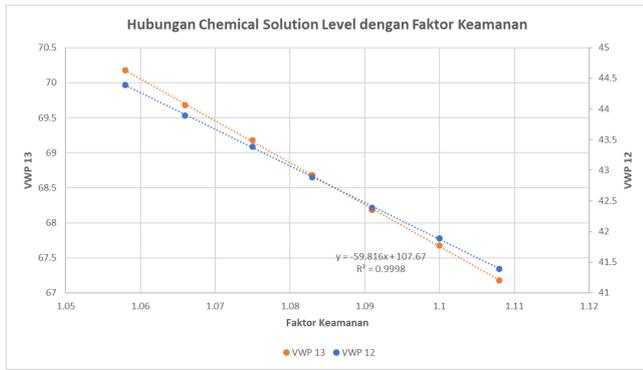
Gambar-13. Hasil Running dengan Ketinggian Chemical solution Maksimum Pada Heap leach

Gambar-13 memperlihatkan elevasi chemical solution di elevasi 44.39 (VWP 12) dan 70.18 (VWP 13). Pada elevasi tersebut, heap leach berada pada keadaan tidak stabil. Faktor minimum berada pada lift 1 s.d lift 5 yaitu sebesar 1.058 dengan POF sebesar 27%. Perhitungan POF (Probability Of Failure) pada penelitian ini mengasumsikan standar deviasi 20% dari mean.

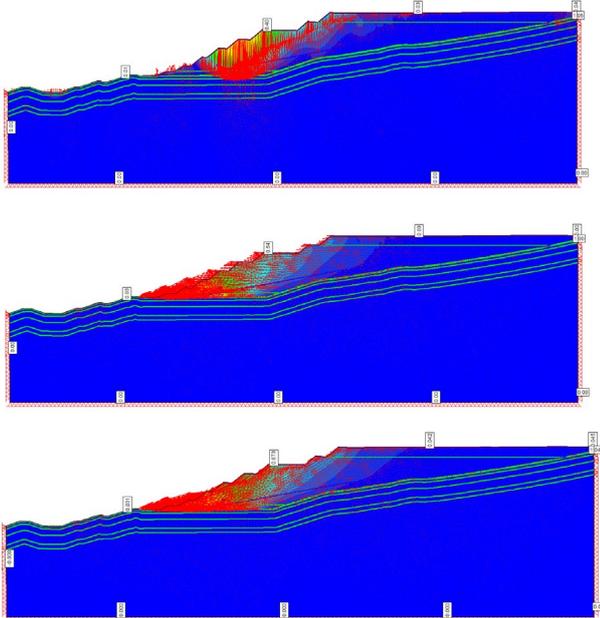
Selanjutnya, dilakukan simulasi penurunan untuk mengetahui hubungan antara tinggi genangan chemical solution dengan faktor keamanan heap leach.

Berdasarkan grafik diatas diketahui bahwa terdapat hubungan berbanding terbalik antara ketinggian genangan chemical solution dengan faktor keamanan [10].

Analisis menggunakan software RS2 juga dilakukan untuk mengetahui Displacement yang terjadi ketika model Chemical solution level berada pada elevasi 44.39 dan 70.18.



Gambar 14- Grafik Hubungan tinggi genangan *chemical solution* dengan Faktor Keamanan *Heap leach*



Gambar-14. *Displacement Model Heap leach* dengan RS2

Dari Gambar-14 diketahui bahwa terjadi *displacement* yang terbesar pada lift 1 sampai lift 5. Dimana besaran *displacement* yang terjadi pada lift 5 dapat dilihat pada Tabel-3.

Tabel- 3 *Displacement Model RS2* dengan *chemical solution* pada elevasi 44.39 dan 70.18

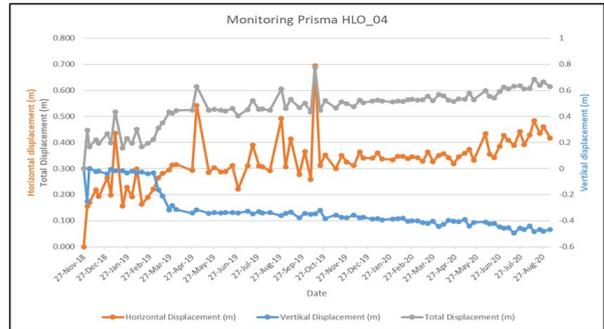
Total Displacement (m)	Vertical Displacement (m)	Horizontal Displacement (m)
0.673	0.40	0.54

Jika dilihat dari Gambar-14 diketahui bahwa total *displacement* yang terjadi bergerak searah muka *heap leach*. Sedangkan jika divalidasi oleh *displacement* yang terjadi di lapangan berdasarkan monitoring prisma diketahui bahwa *displacement* yang terjadi dari tahun 2019-2020 adalah seperti Gambar-15.

Grafik diatas menunjukkan *displacement* yang terjadi ke arah *vertical* yang ditandai oleh garis biru mengalami penurunan secara signifikan dan mengalami konstan. Sedangkan *displacement horizontal* yang ditandai oleh warna oren diperoleh dari resultan *displacement easting* dan *northing* prisma HLO-4 lihat grafik pada Gambar-9. *Displacement horizontal* ditandai oleh garis oren menunjukkan pergerakan yang signifikan ke arah timur laut yaitu resultan dari *easting* dan *northing*.

Sehingga dapat dikatakan bahwa pergerakan berdasarkan total *displacement* (garis warna abu-abu) yang terjadi pada lift 5 adalah pergerakan ke arah timur laut dan mengalami penurunan.

Displacement yang terjadi di lapangan pada lift 5 berdasarkan grafik Gambar-15 pada 6 September 2020 dapat dilihat pada Tabel-4.

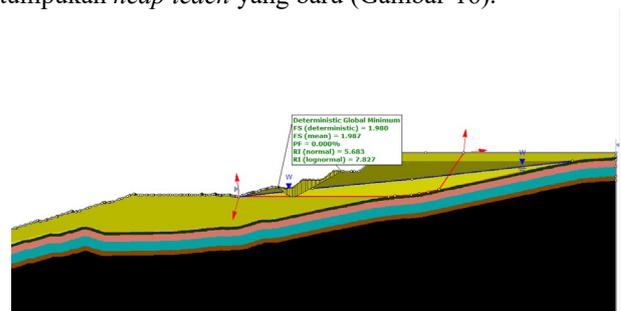


Gambar 15- Grafik *Displacement Monitoring Prisma HLO-04*

Tabel- 4 *Displacement Monotoring Prisma HLO-04*

Total Displacement (m)	Vertical Displacement (m)	Horizontal Displacement (m)
0.63	0.47	0.42

Dari simulasi tersebut diketahui bahwa ketidakstabilan yang terjadi akibat *chemical solution* pada ketinggian VWP 12=44.39 dan VWP 13=70.18. Selanjutnya PT XYZ melakukan penanganan berupa memasang *horizontal drainage*, menginstal *geomembran* dan membuat *butters* pada *toe heap leach*. Hal ini diharapkan agar tumpukan *heap leach* yang baru akan stabil. Berdasarkan analisis yang dilakukan peneliti, pada tumpukan *heap leach* yang baru (Gambar-16).



Gambar-16. Hasil Analisis *Heap leach* Setelah Adanya Perbaikan dan Penanganan menggunakan Metode LEM

Berdasarkan peraturan Kepmen ESDM 1827 untuk lereng keseluruhan dengan kategori kelongsoran tinggi Faktor Keamanan Min adalah 1.3- 1.5 dengan POF Max 5% (Tabel-5) diketahui bahwa tumpukan *heap leach* “stabil”. Hal ini dikarenakan hasil analisis dengan metode LEM menunjukkan faktor keamanan *global minimum heap leach* adalah 1.980 dengan POF= 0%. Nilai faktor keamanan analisis LEM lebih besar dibandingkan nilai faktor keamanan berdasarkan Kepmen ESDM 1827 untuk lereng keseluruhan dengan keparahan longsoran tinggi. POF hasil analisis LEM juga lebih kecil dibandingkan nilai POF pada Kepmen ESDM 1827.

Tabel- 5 Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang [9].

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Kriteria dapat diterima		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (Min)	Probabilitas Longsor (maks) POF (FK≤1)
Lereng Tunggal	Rendah s.d Tinggi	1.1	Tidak Ada	25-50%
Inter-Ramp	Rendah	1.15-1.2	1	25%
	Menengah	1.2-1.3	1	20%
	Tinggi	1.2-1.3	1.1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1.2-1.3	1	15-20%
	Menengah	1.3	1.05	10%
	Tinggi	1.3-1.5	1.1	5%

Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Indonesia. 2018.

10. Frans JS, Nurfalaq MH. Studi Geoteknik Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Tambang Batubara. Indonesian Mining Professionals Journal Vol. 1 No 1. 2019;1:12-21.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Ketinggian genangan *chemical solution* berpengaruh terhadap kestabilan *heap leach*. *Heap leach* “tidak stabil” ketika *chemical solution* berada pada elevasi 70.18 dan 44.39 pada titik VWP 13 & VWP 12. Hal tersebut diindikasikan oleh analisis yang menunjukkan FK=1,058 dengan POF=27%
- PT XYZ melakukan perbaikan dan penanganan antara lain: memasang horizontal drainase, membuat *buffers* dan menginstal *geomembran/liner*.
- Kondisi *heap leach* “stabil” untuk ditumpuk kembali ketika telah dilakukan perbaikan dan penanganan dengan FK=1.980 dan POF=0%

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengungkapkan terima kasih kepada seluruh karyawan PT XYZ untuk tempat, waktu dan kesempatan guna melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

1. Arif I. Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang Yang Berkelanjutan Dengan Menjaga Kestabilan Lereng. Gramedia Pustaka Utama; 2016 Aug 19.
2. Braja MDas. Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis). Surabaya: Institut Teknologi 10 Nopember. 1991.
3. Rai MA, Wattimena R., Kramadibrata S. Mekanika Batuan. Bandung:ITB Press. 2014.
4. Suryaputra S. Uji Kuat Geser Batuan Hancuran di Laboratorium, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung. 2019.
5. Geokon. Instruction Manual Model 4500 series *Vibrating Wire Piezometers*. USA. 2014.
6. Rocscience, Inc. 2D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis. <https://www.rocsience.com/help/slide2/tutorials>. Diakses pada tanggal 9 Mei 2022.
7. Huang YH. Slope stability analysis by the limit equilibrium method: Fundamentals and methods. American Society of Civil Engineers. 2014. Pp 106-112.
8. Hoek E, Bray JD. Rock slope engineering. CRC press; 1981 Jun 30.
9. Kementerian ESDM RI. Keputusan MenteriESDM