Bulletin of Scientific Contribution
GEOLOGY

Fakultas Teknik Geologi
UNIVERSITAS PADJADJARAN
homepage: http://jurnal.unpad.ac.id/bsc
p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X

Volume 17, No.3
Desember 2019

ANALISIS GEOLOGI TEKNIK PADA KESTABILAN LUBANG BUKAAN TAMBANG BAWAH TANAH MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

A. A. Inung Arie Adnyano, Rizqi Fahrizal Fallah
Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Sleman-Yogyakarta
Email : inungarie@itny.ac.id

ABSTRACT

One of the problems often faced in underground mining systems is the stability of the opening hole. The potential instability that occurs in underground opening holes will always require special handling, especially to maintain the safety of workers, and prevent disruption of production (Koesnaryo, 1999). The stability of the opening hole and the role of the thickness of the pillar left behind are closely related to the use of a buffer system. The role of the pillar is important for mining activities, the thinner the pillar is left, the greater the acquisition of ore, but the potential for collapse will be even greater. shows that the pillar must be strong and able to withstand the load within a certain period so that the mining process can take place properly. Therefore, stability analysis and pillar dimensions are needed so that the risk of instability can be overcome. This research was conducted at CKN_975_XC12_STH PT. Cibaliung Sumberdaya, located in Cimanggu District, Pandeglang Regency, Banten Province. This research was conducted to determine the strength of the rock excavated by estimating the value of the Safety Factor (FK) of the opening hole. The rock classification was carried out with the RMR system and FK values were obtained using the Mohr-Coulomb collapse criteria. Open hole modeling using the finite element method. Based on the characterization of rock mass around the opening hole is class IV (poor) with a range of values of RMRThe opening hole studied is thebuffer system existing 30-35.CKN_975_XC12_STH double drift with a distance of 5 meters which is feasible to use.

Keywords *: geotechnical engineering, underground mining, safety factor.*

ABSTRAK

Salah satu permasalahan yang sering dihadapi pada sistem penambangan bawah tanah adalah kestabilan lubang bukaan. Potensi ketidakstabilan yang terjadi pada lubang bukaan bawah tanah akan selalu membutuhkan penanganan khusus terutama untuk menjaga keselamatan pekerja, dan mencegah terganggunya produksi (Koesnaryo, 1999). Kestabilan lubang bukaan dan peranan ketebalan pilar yang ditinggalkan berkaitan erat dengan penggunaan sistem penyangga. Peranan pilar penting untuk aktifitas penambangan, semakin tipis pilar yang ditinggalkan, semakin besar perolehan bijih, akan tetapi potensi terjadi keruntuhan akan semakin besar. menunjukan bahwa pilar harus kuat dan mampu menahan beban dalam jangka waktu tertentu agar proses penambangan dapat berlangsung dengan baik. Maka dari itu, diperlukan analisis kestabilan dan dimensi pilar agar resiko akibat ketidakstabilan dapat teratasi. Penelitian ini dilakukan di CKN_975_XC12_STH PT. Cibaliung Sumberdaya, yang terletak di Kecamatan Cimanggu, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan batuan yang digali dengan memperkirakan nilai Faktor Keamanan (FK) lubang bukaan. Pengklasifikasian batuan dilakukan dengan RMR system dan nilai FK diperoleh menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb. Pemodelan lubang bukaan dengan menggunakan metode elemen hingga. Berdasarkan karakterisasi massa batuan disekitar lubang bukaan adalah terkekarkan kelas IV (*poor*) dengan kisaran nilai RMR 30 – 35. Lubang bukaan yang diteliti adalah Sistem penyangga *existing* CKN_975_XC12_STH *double drift* dengan jarak 5 meter layak digunakan.

Kata Kunci : geoteknik, tambang bawah tanah, faktor keamanan.

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan yang sering dihadapi pada sistem penambangan bawah

tanah adalah kestabilan lubang bukaan. Potensi ketidakstabilan yang terjadi pada lubang bukaan bawah tanah akan selalu membutuhkan penanganan khusus terutama untuk menjaga keselamatan pekerja, dan mencegah terganggunya produksi (Koesnaryo,1999). Kestabilan lubang bukaan dan peranan ketebalan pilar yang ditinggalkan berkaitan erat dengan penggunaan sistem penyangga. Peranan pilar sangatlah penting untuk aktifitas penambangan di level tersebut dan di sisi lain ketebalan pilar yang ditinggalkan sangat mempengaruhi perolehan bijih. Semakin tipis pilar yang ditinggalkan, semakin besar perolehan bijih, akan tetapi potensi terjadinya keruntuhan akan semakin besar. Hal ini menunjukan bahwa pilar harus kuat dan mampu menahan beban dalam jangka waktu tertentu yang diperlukan agar proses penambangan dapat berlangsung dengan baik.. Maka dari itu, diperlukan analisis kelayakan sistem penyangga dan dimensi pilar agar resiko akibat ketidakstabilan dapat teratasi. Penelitian ini dilakukan di Blok Cikoneng PT. Cibaliung Sumberdaya, yang terletak di Kecamatan Cimanggu, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten. Kegiatan tambang bawah tanah sangat beresiko tinggi sehingga sangat diperlukan penaganan yang ekstra hati-hati dalam pengerjaannya. Pembongkaran batuan akan berpengaruh langsung terhadap kekuatan dan bentuk batuan yang dibongkar, dengan demikian batuan akan mencari keseimbangan baru setelah adanya perlakuan yang diberikan terhadapnya. Dengan sifat alami batuan tersebut maka batuan akan mencari bidang bebas untuk berdeformasi dan memungkinkan tercapainya keseimbangan baru, perilaku ini ditunjukkan dengan adanya perpindahan pada dinding, atap dan pilar terowongan, longsoran ataupun ambrukan pada terowongan.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kelas massa batuan pada lubang bukaan CKN_975_XC12_STH.
2. Mengevaluasi sistem penyanggaan yang digunakan oleh PT. Cibaliung Sumberdaya melalui analisis menggunakan metode elemen hingga.
3. Menentukan sistem penyangga dan dimensi pilar yang tepat untuk mengatasi ketidakstabilan lubang bukaan melalui permodelan numerik.

TAHAPAN PENELITIAN

Dalam kegiatan penelitian, tahapan metodelogi penelititan diperlukan agar pengambilan dan pengolahan data lebih efisien dan terarah. Adapun tahapaan metodelogi penelitian yang digunakan yaitu sebagai berikut :

1. Studi Pustaka
   a. Metode tambang bawah tanah dan terowongan.
   b. Klasifikasi Massa Batuan.
   c. Permodelan Numerik (*Finite Element Method*)
   d. Sistem Penyangga (Hoek, E. Kaiser, 1995)
2. Observasi Lapangan
   a. Observasi dan pengamatan secara langsung dilapangan serta mencari data – data pendukung.
   b. Menentukan titik dan batas lokasi pengamatan agar penelitian tidak meluas, tidak keluar dari permasalahan yang ada, serta data yang diambil dapat dimanfaatkan secara efektif.
   c. Melakukan observasi lapangan dengan pengamatan secara langsung terhadap kondisi *hangingwall* dan *footwall*.
3. Pengambilan Data
   Pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :
   a. Data Primer:
      1) Kuat Tekan Batuan.
      2) RDQ Batuan.
      3) Spasi Bidang Diskontinu.
      4) Kondisi Bidang Diskontinu.
      5) Kondisi Air Tanah.
      6) Orientasi Bidang Diskontinu Terhadap Arah Penggalian.
      7) Pengukuran Dimensi Lubang Bukaan.
   b. Data Sekunder:
      1) Peta Lokasi Penelitian.
      2) Peta Geologi Regional (Batuan, stratigrafi, dan struktur geologi).
      3) Propertis *Split-set (tensile capacity, tributary area, bolt modulus, bond strength, and bond shear stiffness),* dan *Shotcrete (thickness, young's modulus, poisson's ratio, compressive strength, and tensile strength).*
      4) Propertis Batuan *(unit weight, young's modulus, intact compressive strength, mb, and s)*.
   c. Alat yang digunakan :
      1) Kompas Geologi
      2) Palu Geologi
      3) Alat Tulis
   4. Analisis Data
      a. Karakterisai dan klasifikasi massa batuan.
      b. Analisis dengan menggunakan permodelan numerik.
      c. Jumlah dan kombinasi sistem penyangga (*split-set,* dan *shotcrete*).
      d. Penentuan faktor keamanan pada lubang bukaan dengan

menggunakan kriteria runtuh Mohr-Coulomb.

TOPOGRAFI DAN GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

PT. Ciabaliung Sumberdaya merupakan daerah perbukitan dengan ketinggian antara 300 hingga 620 meter dpl dengan kemiringan lereng 7 – 20 %. Perbukitan tertinggi terletak di sebelah barat daerah KP. Eksplorasi Cibaliung, yakni Gunung Honje dengan ketinggian 620 m di atas permukaan laut dan termasuk dalam kawasan Taman Nasional Ujung Kulon.

Sungai utama yang mengalir di daerah ini adalah Sungai Citeluk, Sungai Cikoneng, dan Sungai Cibeber, yang mengalir dari utara ke selatan dan umumnya membentuk pola pengaliran rektangular.

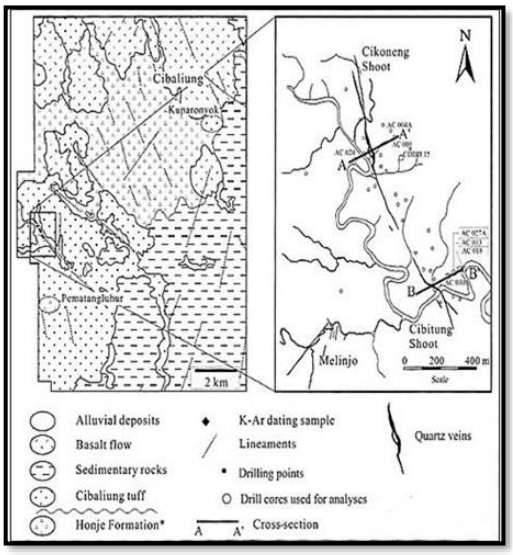
Sejarah geologi daerah penelitian dimulai dengan terendapkannya Formasi Honje yang diperkirakan berumur Miosen Akhir. Formasi ini terdiri dari lava andesit dan breksi volkanoklastik dengan beberapa sisipan sedimen tufaan. Kemudian, intrusi andesit sampai diorit dan terkadang granodiorit menerobos Formasi Honje. Intrusi ini berasosiasi dengan *Heterolithic Milled Matrix Breccia* (HMMB) atau *diatreme*, yang terbentuk setelah intrusi tapi sebelum terbentuknya urat epitermal, dimana HMMB ini merupakan pemicu terbentuknya mineralisasi di daerah penelitian. Kemudian terjadi perlipatan pada Formasi Honje karena penerobosan intrusi tersebut. Setelah Formasi Honje tersingkap dan tererosi, lau diendapkan Formasi Tuf Cibaliung di atas Formasi Honje secara tidak selaras. Kemudian dilanjutkan dengan pensesaran berarah baratlaut-tenggara, utara baratlaut-selatan tenggara, dan timurlaut-baratdaya.

Setelah itu, diendapkan Formasi *Younger Sediment Rock* berumur Pliosen di atas Formasi Honje bagian timurlaut secara tidak selaras. Dimana, formasi ini dilapisi oleh aliran lava basalt tipis yang menebal ke arah timur karena merupakan hasil dari erupsi pusat vulkanisme yang terletak di sebelah timur daerah penelitian.

Cebakan bijih di KP. Eksploitasi Cikoneng - Cibitung terbentuk pada komplek dilational jog yang bertepatan dengan pola struktur "*sigmoid bends*" pada daerah perpotongan antara sistem patahan berarah baratlaut-tenggara, utara baratlaut- selatan tenggara, dan timurlaut-baratdaya. Sehingga zona mineralisasi vertikal terbentuk lebih panjang daripada lateralnya, dimana hal ini merupakan hasil kombinasi efek dilatasi dari tiga set patahan utama.

Secara struktur geologi, prospek emas di KP. Eksplorasi Cibaliung terletak dalam koridor struktur yang berarah baratlaut-tenggara dengan lebar 3,5 km dan panjang 6 km. Dua struktur yang berarah utara baratlaut-selatan tenggara, yang kaya cadangan emas adalah urat Cikoneng di sebelah utara dan urat Cibitung di sebelah selatan. Urat yang mengandung emas ini masing-masing memiliki ukuran tebal 1- 10 meter, panjang 140-200 meter, dengan kedalaman sampai lebih 300 meter dan masih menerus ke bawah.

Mineralisasi emas - perak di KP. Eksplorasi Cibaliung terdapat di dalam urat kuarsa yang dapat dikategorikan sebagai mineralisasi tipe "*low sulphidation epithermal adularia-sericite*" (Hayba, 1985; Bonham, 1986) atau "*epithermal quartz gold-silver vein*" (Corbett & Leach, 1998; Leach & Corleet, 2000).



Gambar 1. Peta Lokasi KP.Eksplorasi dan KP.Eksploitasi (PT. Cibaliung Sumberdaya, 2009)

DASAR TEORI

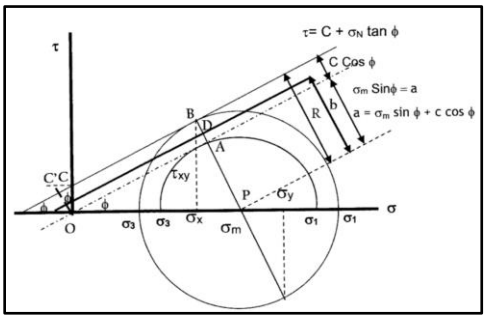
KLASIFIKASI MASSA BATUAN

Klasifikasi massa batuan pada penelitian ini menggunakan sistem *Rock Mass Rating* (Bieniawaski, 1989). Dalam klasifikasi geomekanika, diperlukan adanya pengamatan dan perlakuan khusus dari batuan untuk dapat mengetahui karakteristik dari batuan yang akan diteliti. Perlakukan tersebut dapat berupa pengukuran maupun pengujian sifat fisik dan sifat mekanik pada batuan. Untuk itu perlu dilakukan pengambilan conto dari batuan untuk diuji pada laboratorium. Dalam hubungannya untuk mengetahui karakteristik massa batuan, perlu dilakukan uji sifat fisik dan sifat mekanik batuan. Sehingga dapat diperoleh data klasifikasi massa batuan.

KRITERIA KERUNTUHAN MOHR-COULOMB

Pendekatan klasik yang digunakan untuk mendesain suatu model keteknikan adalah dengan mempertimbangkan hubungan antara kapasitas C (kekuatan atau gaya penahan) dari suatu elemen terhadap penekan atau penggerak D (tegangan atau gaya penggerak). Faktor keamanan (*safety factor*) dari suatu model keteknikan adalah F = C/D, dan keruntuhan diasumsikan terjadi apabila F kurang dari 1.

Untuk perhitungan angka keamanan (S.F = *Safety Factor*) dipakai kriteria *Mohr-Coulomb,* angka keamanan (*safety factor*) dihitung berdasarkan rumusan berikut :



Gambar 2. Perhitungan FK menurut Kriteria Runtuh Mohr-Coulomb.

$$a = PA + AB \quad \ldots\ldots 1$$
$$b = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad \ldots\ldots 2$$
$$\frac{PA}{OP} = sin\emptyset \quad \ldots\ldots 3$$
$$PA = OP\ sin\emptyset \quad \ldots\ldots 4$$
$$PA = \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\right) sin\emptyset \quad \ldots\ldots 5$$
$$AB = C'O = CO\ cos\emptyset \quad \ldots\ldots 6$$
$$CO = Cohesi = \breve{C} \quad \ldots\ldots 7$$
$$AB = \breve{C}\ cos\emptyset \quad \ldots\ldots 8$$
$$a = PA + AB \quad \ldots\ldots 9$$
$$FK = \frac{a}{b} = \frac{\left(\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\right) sin\emptyset + \breve{C} cos\emptyset}{\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right)} \quad \ldots\ldots 10$$

Keterangan :
FK = faktor keamanan
σ_1 = tegangan mayor (MPa)
σ_3 = tegangan minor (MPa)
Φ = sudut geser dalam (º)
C = kohesi (MPa)

Apabia nilai FK > 1 maka batuan dinyatakan dalam kondisi aman, jika nilai FK < 1 maka batuan dinyatakan runtuh dan jika nilai FK = 1 maka batuan dinyatakan dalam keadaan kondisi kritis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL KEGIATAN LAPANGAN

Data hasil kegiatan lapangan adalah pengklassifikasian batuan. Pengklassifikasian batuan menggunakan Rock Mass Rating System (Bianawski, 1984).Pengklasifikasian kelas batuan berdasarkan sistem RMR ini berdasarkan penilaian kuantitatif terhadap kondisi kualitatif dan kuantitatif masa batuan yang terdiri atas kuat tekan batuan utuh, *Rock Quality Designation, spasi joint*, kondisi retakan, kondisi air tanah di *stope* (hasil *maping*). Data tersebut, kemudian dikoreksi (*adjustment*) dengan orientasi *strike/dip* batuan terhadap *stope*.

Hasil penilaian menunjukkan batuan di lubang bukaan CKN_975_XC12_STH berada pada kelas IV (*poor*) dengan kisaran nilai RMR 30 – 35, klassifikasi massa batuannya dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 1. Hasil Pembobotan Klasifikasi Massa Batuan Lokasi Penelitian

Parameter		Kondisi	*Rating*			
			25/3/2019	28/3/2019	30/3/2019	31/3/2019
Uniaxial Compressive Strength		25 - 50 Mpa	4	4	4	4
Rock Quality Designation		13	8	8	8	8
Spasi Bidang Diskontinyu		60 - 200 mm	8	8	13	8
Kondisi Ketidakmenerusan	Panjang Kemenerusan	3 - 10 m	2	2	2	2
	Bukaan/Rekahan	1 - 5 mm	1	1	1	1
	Kekasaran Permukaan Kekar	Agak Kasar	4	4	4	4
	Material Pengisi	Keras > 5 mm	4	4	4	4
	Pelapukan	Sedang	4	4	4	4
Kondisi Air Tanah		Lembab	10	7	7	7
Orientasi *Strike/Dip*		Srike Sejajar Arah Kemajuan Lubang Bukaan, Dip (45 - 90)	-12	-12	-12	-12
RMR			33	30	35	30
KELAS MASSA BATUAN			IV	IV	IV	IV

Tabel 2. Dimensi dan Kondis Lubang Bukaan Saat Penelitian Dilakukan.

Lokasi	Tanggal	Dimensi		Batuan	Elevasi	Kedalaman	Keterangan
		Lebar (m)	Tinggi (m)		(m)	(m)	
CKN_975_XC12_STH	25 Maret 2019	3.3	4.33	*Andesite & Quartz Vein*	975	207	*Production*
	28 Maret 2019	4.2	4.40	*Andesite & Quartz Vein*	975	207	*Production*
	30 Maret 2019	3.4	4.49	*Andesite & Quartz Vein*	975	207	*Production*
	31 Maret 2019	4.2	3.77	*Andesite & Quartz Vein*	975	207	*Production*

Parameter yang akan diinterpretasi berdasarkan hasil model *numeric* berupa sigma 1, sigma 3, dan faktor keamanan, di sekitar lubang bukaan (*right/left wall, roof,* dan pilar).

Material *back filling* diambil dari material disekitar lubang bukaan. Material sekitar lubang bukaan terdiri dari batuan andesit dan material lainnya *(waste).*

Beberapa pendekatan yang digunakan dalam uji model *numeric* adalah :

1. Ukuran *stope* sesuai dengan hasil pengukuran lapangan.
2. Penggambaran kondisi *stope*, baik *filling floor*, tinggi *pillar*, maupun *filling* diatas *pillar* akan digambarkan sesuai dengan *stope*.
3. Permodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Phase*^{2}.

PEMBAHASAN

Penentuan kekuatan suatu lubang bukaan didasarkan pada kekuatan batuan yang dibongkar untuk pembuatan lubang bukaan itu sendiri. Dalam hal ini analisis kestabilan lubang bukaan pada CKN_975_XC12_STH dengan metode *Cut and Fill* ditentukan dari kestabilan batuan pada *stope*. Setiap *stope* memiliki kestabilan yang berbeda-beda, mulai dari kondisi aman, kritis hingga kondisi tidak aman. Bentuk dan geometri dari *vein* itu sendiri juga mempengaruhi kestabilan lubang

bukaan. Sehingga dalam pembahasan ini akan dilakukan analisis terhadap kestabilan lubang bukaan dan pilarnya.

HASIL PERMODELAN NUMERIK

Hasil pemodelan numerik akan memberikan penilaian terhadap lubang bukaan hasil penggalian. Pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak *phase*^{2} menghasilkan luaran yang dapat digunakan untuk menghitung besar sigma 1, sigma 3, dan factor keamanan. Perhitungan akan dilakukan pada CKN_975_XC12_STH.

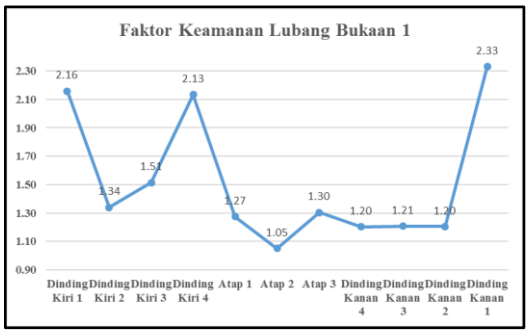
FAKTOR KEAMANAN

Nilai Faktor Keamanan (FK) juga menggunakan perangkat lunak *phase*^{2} dalam penentuan nilainya. Perhitungan nilai faktor keamanan didasarkan pada kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb yakni perbandingan antara kekuatan batuan dengan beban yang diberikan kepadanya. Adapun parameter yang digunakan pada penentuan nilai FK ini adalah sudut geser dalam (☐), kohesi (C), sigma 1 (☐1) dan sigma (☐3).

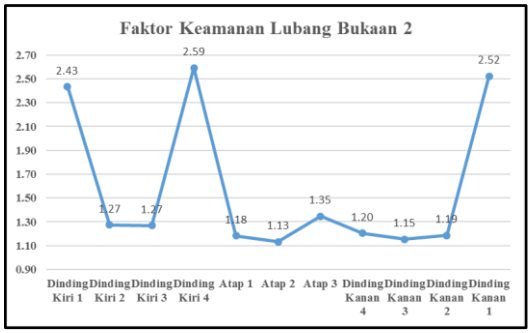
Nilai Faktor Keamanan setelah dilakukannya analisis terlihat mengalami kenaikan pada semua sisi lubang bukaan. Hal ini terjadi karena kestabailan batuan dapat terjaga dan mengalami kenaikan sehingga dapat mencegah terjadinya keruntuhan.. Gaya-gaya yang berada pada semua sisi lubang bukaan tidak dapat menekan kearah bukaan karena telah disangga sehingga dapat menjaga kestabilan batuan. Jika dilihat dari hasil perhitungan Faktor Kamanan ini maka dapat dipastikan bahwa batuan ini aman dan tidak *failure.* Data hasil perhitungan faktor keamanannya dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 3. Nilai Faktor Keamanan

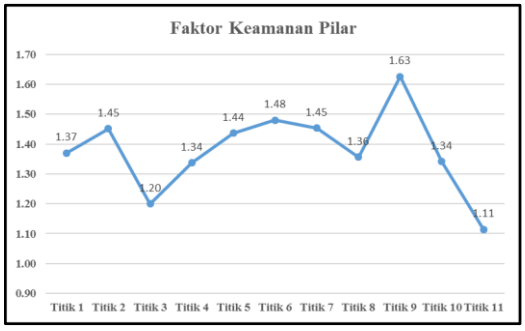
Lubang Bukaan			Pilar	
Titik Pengamatan	Faktor Keamanan		Titik Pengamatan	Faktor Keamanan
	Lubang Bukaan 1	Lubang Bukaan 2		
Dinding Kiri 1	2.16	2.43	Titik 1	1.37
Dinding Kiri 2	1.34	1.27	Titik 2	1.45
Dinding Kiri 3	1.51	1.27	Titik 3	1.20
Dinding Kiri 4	2.13	2.59	Titik 4	1.34
Atap 1	1.27	1.18	Titik 5	1.44
Atap 2	1.05	1.13	Titik 6	1.48
Atap 3	1.30	1.35	Titik 7	1.45
Dinding Kanan 4	1.20	1.20	Titik 8	1.36
Dinding Kanan 3	1.21	1.15	Titik 9	1.63
Dinding Kanan 2	1.20	1.19	Titik 10	1.34
Dinding Kanan 1	2.33	2.52	Titik 11	1.11



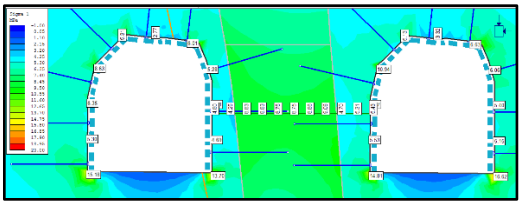
Gambar 3. Grafik Faktor Keamanan Lubang Bukaan 1



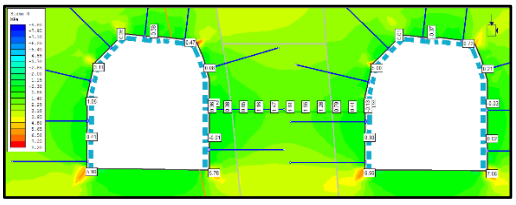
Gambar 4. Grafik Faktor Keamanan Lubang Bukaan 2



Gambar 5. Grafik Faktor Keamanan Pilar



Gambar 6. Nilai Sigma 1



Gambar 7. Nilai Sigma 1

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis adalah :

1. Berdasarkan karakterisasi massa batuan, klasifikasi massa batuan CKN_975_XC12_STH adalah kelas IV (*poor*) dengan kisaran nilai RMR 30 – 35.
2. Berdasarkan hasil analisis, sistem penyangga yang digunakan pada lubang bukaan CKN_975_XC12_STH *double drift* dengan jarak 5 meter layak digunakan.
3. Kombinasi penyangga rekomendasi PT. Cibaliung Sumberdaya dapat meningkatkan nilai FK>1 pada seluruh sisi lubang bukaan dan pada pilar CKN_975_XC12_STH. Maka dari itu, kombinasi penyangga dapat diterapkan untuk mengatasi ketidaklayakan penyangga pada lubang bukaan CKN_975_XC12_STH dengan dimensi pilar sebesar 5 meter.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada PT. Cibaliung Sumberdaya dan semua yang telah membantu dalam kegiatan penelitian di lokasi, serta Tim dosen Program Studi Teknik Pertambangan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

Azizi, M., S. Kramadibrata, R. K. Wattimena, I. Djati, Y. Adriyansyah. 2012. *Analisis Resiko Kestabilan Tambang Terbuka (Sudi Kasus Tambang Mineral x).* Prosiding Simposium dan Seminar Geomekanika ke-1 Tahun 2012.

Barton, N. *Forty years For The Q System In Norway And Abroad.*

Bieniawski, Z. T. 1989. *Engineering Rock Mass Classification.* Canada : John Wiley and Sons Corp.

Brady, B. H. G. Brown, E. T. 1994. *Rock Mechanics For Underground Mining 2nd Edition.* UK.

Brown, E. T. *Rock characterization testing and monitoring.* ISRM *suggested method,* Oxford, Pergamon. 1981.

Deere, D. U. 1989. *Rock Quality Designation (RQD) After 20 Years.* Florida.

Hoek, E. 1987. *Support In Undergorund Hard Rock Mines.* Canada.

Hoek, E., J. Bray. 2005. *Rock Slope Engineering 4th Edition.* New York : Institute of Mining and Metallurgy.

Hoek, E., E. T. Brown. 1988. *The Hoek - Brown Failure Criterion.* Canada.

Hoek, E., P. K. Kaiser, W. F. Bawden. 1995. *Support Of Underground Excavations In Hard Rock.* Rotterdam : Mining Research Directorate.

Palmstrom, A. 1996. *The Rock Mass Index (RMi) Applied in Rock Mechanics And Rock Engineering.* Norway.

Rai, M. A., S. Kramadibrata, R. K. Wattimena. 2012. *Mekanika Batuan*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.

2019, Data Geoteknik, Departemen *Quality Control*, PT Cibaliung Sumberdaya, Kabupaten Pandeglang.