



**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 16, No.1
April 2018

ESTIMASI KONDISI GEOTEKNIK MELALUI METODE *GEOLOGICAL STRENGTH INDEX* (GSI) DI *WEST EXTRACTION LEVEL TAMBANG DEEP ORE ZONE (DOZ) PT. FREEPORT INDONESIA*

Danny Wicaksono^{1),2)}, Zufaldi Zakaria²⁾, Iyan Haryanto²⁾, Purwa Wiguna¹⁾

¹⁾ PT. Freeport Indonesia

Jl. Mill 68, Tembapapura 99352, Telp. (0901)-465026

²⁾ Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung Sumedang KM 21, Jatinangor 45363, Telp. (022) 7796545, Fax. (022) 7796545

ABSTRACT

The Deep Ore Zone (DOZ) underground mine is one of Block Caving Mine series that located in Ertsberg district. DOZ is located at the Jayawijaya highland area at a depth of 1.45 kilometers from the surface. DOZ mine has a lot of variation and complexity that create the heterogeneous geotechnical condition. An effective geotechnical approach becomes an important factor in the planning of underground tunnels. The researchers chose the empirical calculation approach in the form of Geology Strength Index (GSI) because it uses more rock properties that are more easily seen in rock drill core samples. The modification of quantitative GSI were made to the parameters so it can be accurately viewed from the rock drill core samples. The result of West Extraction DOZ data show the relation of GSI qualitative value to rock and alteration from south to north. Where in the south area the GSI values are generally good-very good (60-100) but some areas of stock work geology structure with alteration sericite leads to a decrease in the value of GSI to fair-poor (20-60). Skarn rocks have varying conditions resulting in a high range of GSI values, poor GSI values scattered in rock contacts and skarn alterations that dominated by clay minerals. The northern part of the research area is in sedimentary rocks obtained poor GSI values spread east-west direction, this area is strongly influenced by fracture structures and contacts of sedimentary rocks with intrusive rock and skarn alteration. Block model GSI distribution provides input as the basis for decision making in planning the tunnel direction, the cost of tunnel development and the prevention of hazards in tunnel development.

Keywords: Deep Ore Zone, Skarn alteration, Geology Strength Index, Rock Quality Designation.

ABSTRAK

Tambang bawah tanah Deep Ore Zone (DOZ) merupakan salah satu tambang seri ambrukan yang terletak di distrik Ertsberg. DOZ berada pada area dataran tinggi Jayawijaya pada kedalaman 1.45 kilometer dari permukaan tanah. Tambang DOZ memiliki variasi dan kompleksitas Geologi yang tinggi sehingga menjadikan kondisi Geoteknik yang heterogen. Pendekatan geoteknik yang efektif menjadi faktor penting dalam perencanaan terowongan bawah tanah. Pendekatan perhitungan empiris berupa Geology Strength Index (GSI) dipilih oleh peneliti karena lebih banyak menggunakan sifat-sifat batuan yang lebih mudah dilihat dalam contoh inti batuan pengeboran. Modifikasi kuantitatif GSI dilakukan agar parameter-parameter yang digunakan dapat dengan tepat dilihat dari inti batuan pengeboran. Hasil studi data pada daerah West Extraction DOZ memperlihatkan hubungan nilai modifikasi kualitatif GSI terhadap batuan dan alterasi dari selatan ke utara, dimana di bagian selatan nilai GSI pada umumnya bagus-sangat bagus (60-100) tetapi beberapa area yang memiliki struktur geologi stockwork dengan alterasi serisit mengakibatkan penurunan nilai GSI hingga buruk-sedang (20-60). Batuan skarn memiliki kondisi yang bervariasi mengakibatkan sebaran nilai GSI dengan range yang tinggi, Nilai GSI yang buruk tersebar pada bagian kontak batuan dan alterasi skarn yang didominasi oleh mineral-mineral lempung. Bagian utara daerah telitian yaitu pada batuan sedimen didapatkan nilai GSI yang buruk menyebar dengan arah barat-timur, area ini sangat dipengaruhi oleh struktur patahan dan kontak batuan sedimen dengan batuan intrusi maupun ubahan skarn. Blok model sebaran GSI memberikan masukan sebagai

dasar pengambilan keputusan dalam merencanakan arah terowongan, biaya pembangunan terowongan dan penanggulangan bahaya dalam pembangunan terowongan.

Kata kunci: Deep Ore Zone, Alterasi skarn, Geology Strength Index, Rock Quality Designation.

PENDAHULUAN

Deep Ore Zone (DOZ) adalah salah satu dari seri tambang ambruk di area Ertsberg Mine. Tambang DOZ sudah berproduksi sejak tahun 2000 dan diperkirakan akan habis pada tahun 2018. Tambang DOZ terletak di dataran tinggi Jayawijaya, Mimika Papua pada kedalaman 1.45 km dari permukaan tanah.

Kondisi geologi daerah DOZ terbagi menjadi dua yaitu East Stockwork Zone (ESZ) dibagian selatan dan DOZ skarn dibagian utara. Variasi dan kompleksitas kondisi geologi di area DOZ menjadikan kondisi geoteknik yang heterogen, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih baik untuk menentukan rencana pembangunan terowongan dan penyangga terowongan yang mampu menahan namun tetap terjangkau secara biaya.

Pendekatan perhitungan empiris GSI digunakan untuk memperhitungkan kondisi geoteknik area terowongan yang akan dibangun. Perhitungan nilai GSI akan dilihat melalui data contoh batuan inti pengeboran, analisa dilihat melalui kondisi Rock Quality Designation dan kondisi struktur massa batuan yang akan menjadi dasar perhitungan nilai Quantitative GSI. Hasil Perhitungan GSI kuantitatif akan menjadi dasar untuk memperkirakan kondisi geoteknik pada daerah yang belum memiliki bukaan.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)

GSI dikembangkan sebagai metode perhitungan massa batuan yang dilakukan oleh seorang geologi atau geologi teknik yang berpengalaman dan berkualitas. Perkembangan penggunaan GSI menjadikan perubahan parameter perhitungan kondisi batuan berupa struktur massa batuan dan kondisi bidang diskontinuitas batuan tersebut secara kuantitatif (Quantification of GSI) (Hoek et al., 2013, Cai et al., 2004). Penulis

menggunakan modifikasi pendekatan Quantitative GSI untuk menentukan nilai massa batuan yang dilihat dari batuan inti pengeboran.

Contoh batuan yang digunakan untuk penelitian ini berasal dari batuan inti bor yang diambil pada daerah West Extraction Level di tambang DOZ PT. Freeport Indonesia. Contoh inti batuan pengeboran akan memberikan gambaran kondisi geologi berupa batuan, alterasi, struktur geologi, struktur massa batuan atau Rock Quality Designation (RQD) dan kondisi parameter-parameter geoteknik lainnya.

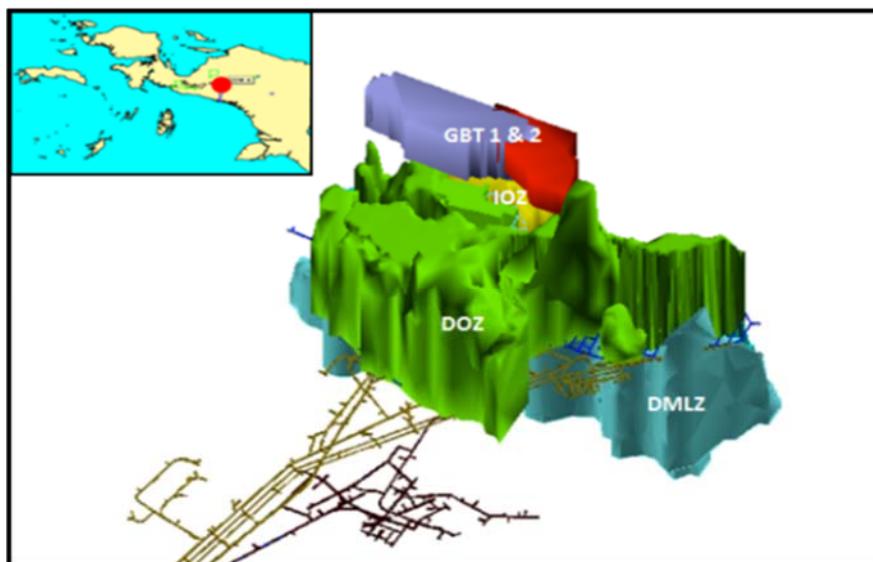
Pengamatan kondisi geologi pada inti batuan dilakukan untuk melihat detail kondisi geologi pada setiap area sebagai pembandingan untuk melihat hubungan atau pengaruh kondisi geologi terhadap kondisi geoteknik daerah telitian.

Modifikasi atau penyesuaian parameter qualitative GSI dilakukan pada parameter bidang diskontinuitas karena kurang relevannya parameter tersebut saat dilihat melalui contoh batuan inti pengeboran. Parameter yang dihilangkan adalah panjang bidang diskontinuitas yang akan bias bila hanya dilihat dari inti pengeboran. Nilai RQD didapatkan melalui perhitungan persentase panjang sampel dengan panjang lebih dari 10 cm terhadap total panjang core (Deere, 1963 dalam Hoek et al., 2013).

Metode analisis tersebut akan digunakan sebagai analisa estimasi sebaran kondisi geoteknik dan bagaimana hubungan kondisi geologi terhadap nilai GSI pada daerah penelitian.

KONDISI GEOLOGI

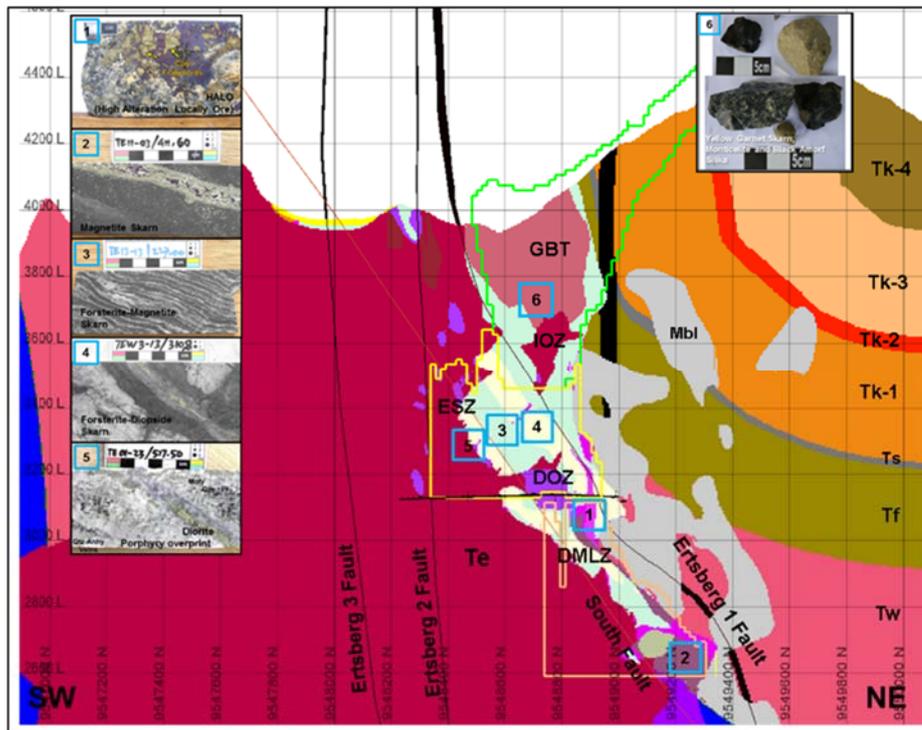
Tambang Deep Ore Zone (DOZ) berada di Distrik Ertsberg yang termasuk kedalam Kabupaten Mimika, Propinsi Papua, Indonesia (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi penelitian (kiri atas) dan Gambaran 3 dimensi series tambang ambrukan EESS (menghadap Utara).

Deep Ore Zone (DOZ) merupakan salah satu tambang dari series tambang ambrukan East Ertsberg Skarn System (EESS). EESS terdiri dari beberapa tambang yaitu Gunung Bijih Timur (GBT), Intermediate Ore Zone (IOZ), DOZ dan yang terdalam yaitu Deep Mill Level Zone (DMLZ) yang menerus secara vertikal hingga kedalaman 1.5 km, memanjang 1,4 Km kearah relatif barat laut-tenggara dan lebar 200-500 meter. Tambang DOZ telah berproduksi semenjak tahun 2000 dengan rata-rata produksi 60,000 ton/hari dengan rata-rata grade 0.57% Cu dan 0.71% Au. EESS Cu-Au skarn merupakan skarn tipe contact (Coutts et al., 1999) terbentuk pada area pertemuan batuan sedimen karbonat dibagian utara yaitu Formasi Kembelangan Ekmal, Formasi Waripi dan Formasi Faumai yang bereaksi dengan batuan intrusi yaitu Formasi Ertsberg Diorite berumur 2.76 ± 0.07 Ma (Cloos, 2013). Batuan Ertsberg Diorite mengintrusi pada zona lemah sesar Ertsberg 1, 2 dan 3 yang berarah barat laut-tenggara dibagian selatan Yellow Valley syncline. Batuan pada daerah tambang DOZ terdiri dari (1) Ertsberg diorite berupa batuan intermediet dan secara setempat-setempat

terpengaruh oleh tiga system alterasi yang berbeda (potassic, propylitic dan phyllic), (2) Diorit dengan alterasi endoskarn setempat-setempat yang tersebar melalui struktur-struktur atau zona rekahan, (3) Batuan exoskarn dengan variasi berupa batuan forsterite skarn, magnetite – forsterite skarn dan massive magnetite, (4) DOZ breccia yang terbentuk pada fase akhir hidrotermal melalui zona lemah atau permeable pada kontak marble-skarn (Coutts et al., 1999) (Gambar 2). EESS Cu-Au material type mendiskripsikan DOZ breccia sebagai High Altered Localized Ore (HALO). Kondisi batuan dan alterasi yang heterogen menjadikan parameter-parameter Geoteknik di area DOZ menjadi bervariasi. Analisa atau estimasi geoteknik diharapkan dapat memberikan masukan dalam perencanaan tambang sehingga dapat mengurangi potensi bahaya ambrukan terowongan yang menyebabkan kerugian kesehatan maupun keuangan karena kesalahan dalam proses perencanaannya. Informasi ini juga akan memberikan masukan dalam proses perawatan terowongan atau tambang.



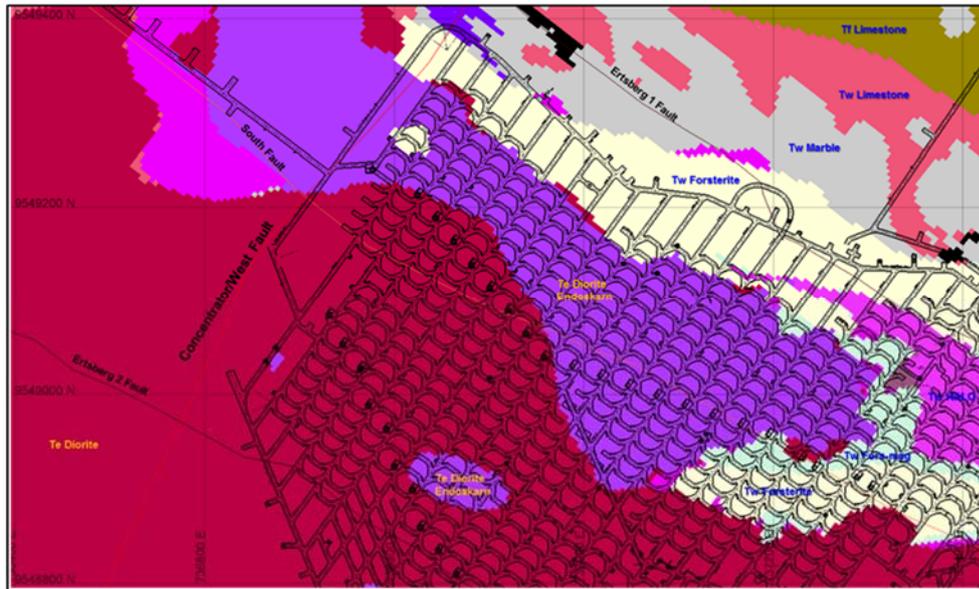
Gambar 2. Penampang geologi menghadap baratdaya dengan gambaran series tambang ambrukan EESS (GBT, IOZ, DOZ dan DMLZ) dan Ore type tambang EESS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi West Extraction Level DOZ

Geologi daerah West Extraction Level dilihat berdasarkan data-data pengeboran yang melewati area ini menunjukkan bahwa daerah ini melewati beberapa litologi yang berbeda berikut urutan litologi dari bagian Selatan menuju Utara:

- Batuan Intrusi Monzonite-Diorite (Monzodiorite) dengan warna abu-abu terang hingga gelap, dengan ukuran kristal halus-sedang, memiliki tekstur equigranular, dengan komposisi mineral kuarsa, hornblenda, biotit, setempat-setempat terdapat juga kalkopirit, pirit, auagit dan epidot, didominasi oleh alterasi potassic porphyritic dengan phyllic yang muncul pada zona struktur di area DOZ, muncul karakter endapan porphyry sehingga memunculkan mineral-mineral bijih seperti bornit, kalkopirit dan molibdenum di dalam batuan Ertberg Diorite.
- Batuan Intrusi Monzodiorite Endoskarn merupakan batuan intrusi yang berubah karena kontak intrusi Ertsberg Diorite dengan larutan skarn. Teksture batuan intrusi masih terlihat namun terdapat mineral-mineral penciri skarn seperti garnet, diopsid, amfibol dan anhidrit.
- Batuan Exoskarn Forsterite merupakan batuan skarn berupa forsterite, diopsid, kuarsa dan hornfels yang berubah dari batuan sedimen karbonatan Formasi Waripi. Berwarna abu-abu kehijauan dengan garis-garis hitam terkadang berwarna putih pucat, Terlihat bentuk bidang perlapisan sedimen dengan kemiringan ke utara.
- Batuan Exoskarn Forsterite-Magnetite dan magnetit masif merupakan hasil ubahan skarn pada exoskarn dengan dominasi mineral magnetit. Kehadiran magnetit mengikuti perlapisan sedimen dan secara selektif mengubah bidang-bidang tertentu menjadi massif magnetite. Batuan memiliki kadar bijih tinggi yang dijadikan sebagai material high grade pada tambang DOZ.
- Batuan sedimen berubah Marble-Dolomite merupakan batuan sedimen yang terletak dibagian utara DOZ. Bagian ini biasa disebutkan sebagai area hanging wall karena merupakan bagian atas dari sesar Ertsberg 1. Area ini terdiri dari batuan mamer pada bagian tedekat skarn lalu berubah menjadi dolomit dan batuan sedimen karbonat Formasi Waripi di bagian utara.



Gambar 3. Kondisi Geologi daerah penelitian.

Modifikasi Quantitative GSI

Modifikasi metode pedekatan GSI digunakan untuk menyesuaikan kondisi dimana penilaian parameter-parameter geoteknik hanya dilihat dari data contoh batuan inti pengeboran. Parameter-parameter yang digunakan dalam penentuan nilai Geoteknik kuantitatif GSI adalah Rock Quality Designation (RQD), rating dari panjang bidang diskontinuitas, rating pemisahan atau lebar celah, rating roughness atau kekasaran bidang, rating infilling atau isian pada rekahan dan rating lapukan (Marinos & Hoek, 2000, Cai et al., 2004). Penggunaan kualitatif

GSI (Hoek et al., 2013) pada data contoh batuan inti pengeboran disesuaikan dengan perubahan beberapa rating. Perubahan yang dilakukan antara lain: (1) dihilangkannya rating panjang bidang diskontinuitas karena keterbatasan lebar bidang yang dilihat (2) Weathering atau rating pelapukan juga dilihat berdasarkan alterasi yang melemahkan. Nilai-nilai rating yang dihilangkan dibagi disetiap rating yang ada, sehingga nilai modifikasi GSI didapat dari jumlah setengah nilai RQD ditambah dengan jumlah rating modifikasi JCond89 (table 1).

Table 1. rating modifikasi Jcond89 (Hoek et al., 2013).

Condition of Discontinuities	Very Rough surfaces no separation unweathered wall rock	slightly rough surface separation <1 mm slightly weathered walls	slightly rough surfaces separation <1mm highly weathered walls	slikensided surfaces/gouge <5 mmthick or separation 1-5 mm continuous	soft gouge >5mm thick or separation > 5 mm continuous
Rating	30	25	20	10	0
Separation (aperture) Rating	none	< 0.1mm	0.1-1 mm	1-5 mm	>5 mm
Roughness rating	7.5	6	4.5	1.25	0
	very Rough	Rough	Slightly rough	Smooth	slikensided
Infilling (gouge) Rating	7.5	6	3.5	1.25	0
	none	Hard infilling < 5 mm	Hard filling >5 mm	soft infilling < 5mm	soft infilling > 5 mm
Weathering Rating	7.5	5	2.5	2.25	0
	Unweathered	Slightly Weathered	Moderate Weathered	Highly Weathered	Decomposed
	7.5	6	3.5	1.25	0

Analisa RQD dilakukan dengan metode perhitungan persentase panjang sampel dengan panjang lebih dari 10 cm terhadap total panjang core (Deere., 1963 dalam Hoek et al., 2013), dilakukan terhadap data-data inti batuan pengeboran yang melewati daerah penelitian. Peneliti membagi nilai-nilai RQD menjadi 6 klasifikasi 0-25 Sangat Buruk, 25-50 Buruk, 50-75 Sedang, 75-90 Bagus dan 90-100 sangat bagus (Gambar 4). Nilai parameter infilling atau isian mineral dibagi menjadi empat karakter yang dibandingkan berdasarkan besaran bidang isian dan mineral pengisinya. Penelitian ini menentukan parameter infilling berdasarkan

Hoek et al. (2013) yaitu infilling lemah atau soft lebih tebal dari 5 mm, infilling lemah dengan tebal kurang dari 5 mm, infilling lemah atau soft kurang dari 5 mm dan infilling kuat lebih dari 5 mm (Gambar 5). Pengamatan data-data kuantitatif GSI dapat dilakukan oleh lebih dari satu orang, beberapa parameter perlu dilakukan penyamaan persepsi. Data kalibrasi dilakukan oleh beberapa ahli saat penilaian parameter kekasaran dan lapukan sehingga mendapatkan kesimpulan untuk penyamaan persepsi yang digunakan pada proyek atau di area tertentu. Para ahli di daerah penelitian menentukan bahwa kekasaran bidang dapat

dilihat berdasarkan bidang struktur baik berupa bidang sesar maupun bidang vein dengan penampakan bidang pergerakan merupakan bidang sesar yang sama-sama melemahkan kondisi geoteknik. Nilai

akan dilihat berdasarkan kandungan lempung, mineral ubahan dan alterasi yang melemahkan pada batuan seperti phylitic pada batuan intrusi (Gambar 6).



Gambar 4. Gambaran klasifikasi nilai RQD.



Gambar 5. Gambaran klasifikasi mineral pengisi bidang discontinue.



Gambar 6. A: Kondisi vein dan isian pada batuan inti pengeboran, B: Kondisi bidang sesar pada inti batuan, C: Contoh batuan yang mengalami pelapukan atau ubahan yang melemahkan bantuan, D: Proses diskusi dan perekaman data pada batuan inti pengeboran.

Sebaran Parameter-Parameter Nilai Geoteknik dan Qualitative GSI

Data qualitative GSI diambil dari 19 data contoh batuan pengeboran dengan panjang pengeboran 500-900 meter. Sebaran data GSI berupa RQD dibagi menjadi 5 yaitu; (1) 0-25% sangat buruk, (2) 25-50% buruk, (3) 50-75% sedang, (4) 75-90% baik dan (5) 90-100% sangat baik. Pola sebaran nilai RQD terlihat bahwa dibagian selatan didominasi oleh nilai baik-sangat baik dan secara drastis

setempat-setempat menjadi jelek-sangat jelek dan didominasi sangat jelek di bagian utara (Gambar 7). Pola sebaran GSI sendiri terlihat sama dimana nilai GSI dibagi menjadi 5 yaitu; (1) 0-20 sangat buruk, (2) 20-40 buruk, (3) 40-60 sedang, (4) 60-80 baik dan (5) 80-100 sangat baik. Nilai GSI di bagian selatan didominasi oleh nilai baik dan setempat-setempat buruk hingga sedang, di bagian utara lebih didominasi oleh nilai buruk-sangat buruk (Gambar 8).



Gambar 7. Peta distribusi nilai RQD dari data pengeboran di West Extraction Level DOZ.

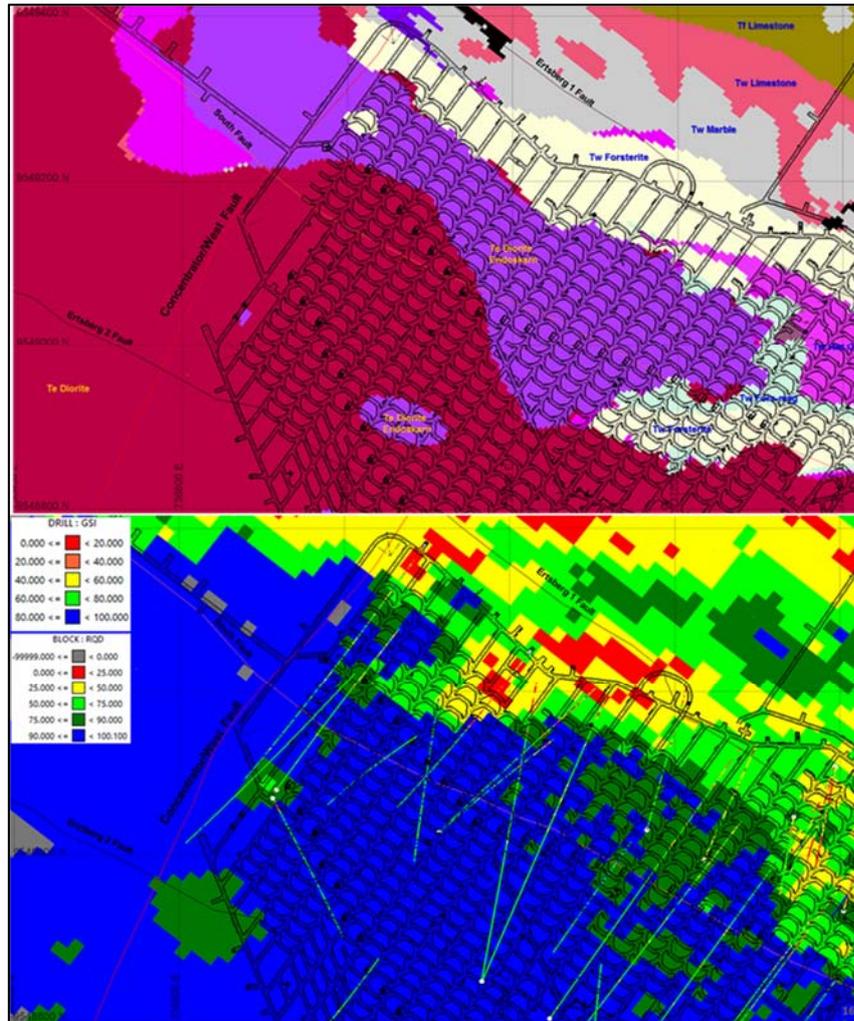


Gambar 8. Peta distribusi nilai GSI dari data pengeboran di West Extraction Level DOZ.

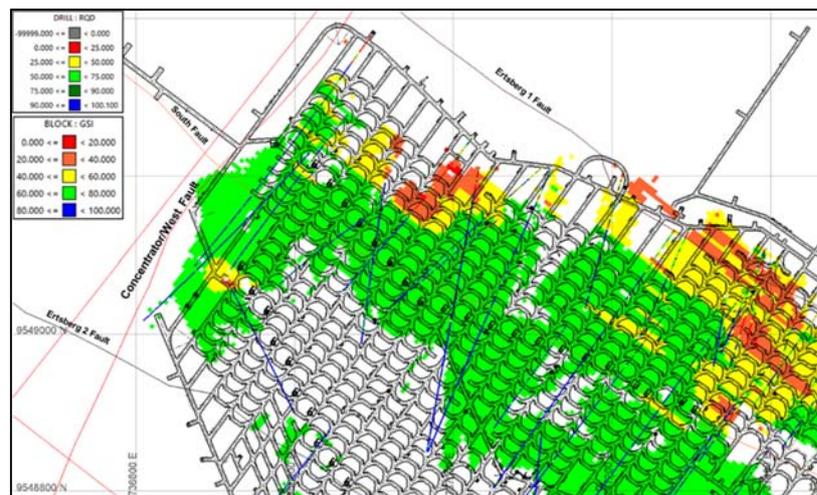
Sebaran batuan pada telitian West Extraction Level DOZ dibandingkan dengan nilai RQD dan nilai kualitatif GSI terlihat bahwa nilai pendekatan geoteknik dibagian selatan atau pada batuan Ertsberg Diorite memiliki sebaran baik-sangat baik (60-100) dengan nilai buruk (20-40) pada bagian selatan dimana terlihat nilai RQD yang secara setempat turun menjadi sedang pada area stockwork dengan alterasi phyllic. Nilai pendekatan geoteknik pada batuan Diorite dengan alterasi endoskarn terlihat sebaran yang bervariasi dari sangat baik-sangat buruk (0-100) dimana nilai sangat buruk-sedang (0-60) tersebar pada bagian kontak antara batuan Diorite Endoskarn dengan Forsterite Waripi. Nilai sebaran pada batuan alterasi exoskarn dan batuan sedimen cenderung didominasi oleh nilai sangat buruk-sedang (0-60) dengan setempat-setempat baik-sangat baik (60-100). Sebaran data GSI pada batuan sedimen di utara dipengaruhi oleh data struktur dan kontak alterasi yang memanjang dengan arah barat-timur. Pola sebaran nilai kualitatif GSI sangat dipengaruhi oleh nilai RQD pada contoh inti batuan pengeboran, sedangkan nilai kondisi struktur berupa alterasi dan bidang sesar hanya secara setempat atau kecil menurunkan nilai kualitatif GSI. Pola sebaran RQD itu sendiri dapat dipengaruhi oleh pola sebaran alterasi berupa kontak alterasi yang melemahkan ataupun berupa zona sesar atau breksiasi yang mengakibatkan batuan menjadi rusak atau hancur. Nilai RQD di

bagian diorite selatan juga terlihat menurun diakibatkan oleh area zona stockwork yang terisi oleh mineral-mineral lemah seperti anhydrite dan sericite sehingga mudah terlapuk dan pecah, hadir setempat-setempat membentuk pola melingkar sesuai dengan geometri dan intensitas vein pada daerah tersebut (Gambar 9).

Pola sebaran nilai kualitatif GSI akan memberikan data interpretasi sebaran kondisi geoteknik melalui data pengeboran sehingga memberikan gambaran yang lebih dalam dalam perencanaan terowongan dan antisipasi bahaya dalam pembukaan terowongan. Data drilling memiliki sebaran yang terbatas dibandingkan pemetaan terowongan sehingga dalam pemodelannya diperlukan batasan jarak keyakinan geologi. Jarak keyakinan geologi akan menjadi batas data sedangkan diluar batas area tersebut memiliki keyakinan rendah dengan pendekatan data kesamaan interpretasi geologi berupa batuan, alterasi dan penerusan struktur. Sebaran pemodelan geologi akan terlihat seperti gambar 10 dimana area yang berwarna putih merupakan area di luar batas jarak keyakinan geologi. Blok model kualitatif akan memberikan gambaran sebaran geoteknik saat melakukan perencanaan terowongan sehingga dalam persiapan dana, arah bukaan terowongan dan rencana penanggulangan bahaya akan lebih tepat dan memiliki dasar perencanaan yang kuat.



Gambar 9. Peta pembandingan kondisi geologi dengan block model ROD dan distribusi nilai GSI dari data pengeboran di West Extraction Level DOZ.



Gambar 10. Peta distribusi nilai block model GSI dan distribusi nilai ROD dari data pengeboran di West Extraction Level DOZ.

KESIMPULAN

Estimasi sebaran data Geoteknik menggunakan pendekatan metode Kualitatif

GSI memperlihatkan sebaran yang baik di bagian batuan yang solid yaitu Ersberg Diorite namun pada daerah yang dipengaruhi

oleh struktur geologi dan alterasi yang menurunkan nilai RQD akan melemahkan nilai GSI daerah tersebut. Batuan skarn memiliki sebaran nilai GSI yang bervariasi dimana nilai tersebut sangat dipengaruhi oleh pola RQD pada daerah kontak alterasi dan sebaran alterasi-alterasi yang didominasi oleh mineral ubahan yang lemah seperti anhidrit dan mineral-mineral lempung. Bagian Utara area penelitian memiliki nilai GSI yang lemah yang dipengaruhi oleh patahan regional sehingga menurunkan nilai RQD pada area penelitian. Nilai sebaran kualitatif GSI lebih banyak dipengaruhi oleh sebaran RQD dan pola struktur geologi. Nilai GSI akan lebih baik apabila dapat menambahkan data-data kekerasan batuan dan data ditemukannya air dan gas sehingga memberikan gambaran yang lebih mendetail. Pembelajaran dan studi secara berkelanjutan akan memberikan perkembangan yang lebih baik sehingga dapat memberikan masukan yang lebih mendetail dalam interpretasi sebaran geoteknik melalui data pengeboran.

Strength Index Chart, 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, San Francisco, CA, USA.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada manajemen PT Freeport Indonesia, Divisi Geo-Engineering, Underground Mine Geological Departement yang telah mendukung dan memberikan ijin kepada penulis untuk mempublikasikan penelitian ini, serta kepada rekan-rekan yang tidak bisa sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Coutts, N.P., Flint, D., Belluz, N., Susanto, H., Edward, A., 1999, Geology Of The Deep Ore Zone, Ertzberg East Skarn System, Irian Jaya, PACRIM '99 Congress, Bali, Indonesia.
- Cloos, M., 2013, Origin of the Giant Cu-Au Ore Bodies Of The Ertzberg District In Papua, Indonesia: Collision Delamination, a Bubbling Magma Chamber, and Thottling Cupolas, Proceeding Of Papua And Maluku Resources 2013, Bali, Indonesia.
- Cai, M, Kaiser. P. K., Uno, H., Tasaka, Y., Minami, M., 2004, Estimation Of Rock Mass Deformation Modulus and Strength Of Jointed Hard Rock Masses Using The GSI System, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 41 (2004) 3–19
- Marinos, P., Hoek, E., 2000, GSI-A Geologically Friendly Tool For Rock Mass Strength Estimation, Proc. GeoEng2000 Conference, Melbourne, Australia.
- Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S., 2013, Quantification Of The Geological