

**Analisis Kualitas dan Perkuatan Massa Batuan  
Terowongan Eksplorasi Uranium Eko Remaja Kalan, Kalimantan Barat  
Menggunakan Metode *Rock Mass Rating* (RMR)**

***Analysis of Rock Mass Quality and Reinforcement of  
Uranium Exploration Tunnel Eko Remaja Kalan, West Kalimantan  
Using Rock Mass Rating (RMR) Method***

**Yuni Faizah<sup>\*</sup>, Wira Cakrabuana, Dhatu Kamajati, Putri Rahmawati**

Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir - BATAN

Jl. Lebak Bulus Raya No. 9, Pasar Jumat, Jakarta, Indonesia, 12440

\*E-mail: yuni.faizah@batan.go.id

Naskah diterima: 20 April 2020, direvisi: 7 Mei 2020, disetujui: 12 Mei 2020

DOI: 10.17146/eksplorium.2020.41.1.5859

**ABSTRAK**

Terowongan Eksplorasi Uranium Eko Remaja Kalan (TEURK) di Kalimantan Barat yang dibangun pada tahun 1980 merupakan salah satu sarana penelitian cebakan uranium di Indonesia. Terowongan ini menembus Bukit Eko Remaja sepanjang 618 m, mulai dari pintu Remaja hingga TRK-7. Mineralisasi uranium di lokasi ini dikontrol oleh urat-urat tak beraturan (*stockwork*) yang sangat rapat pada batuan metalanau dan metapelit. Tingginya kerapatan struktur geologi tersebut membentuk beberapa zona lemah di dalam terowongan. Zona lemah tersebut berpotensi menyebabkan terjadinya longsor batu dan tanah. Penyangga sementara terbuat dari tiang-tiang kayu dipasang di zona tersebut untuk perkuatan terowongan. Saat ini tiang kayu tersebut tidak lagi mampu menyangga terowongan sehingga sering terjadi longsor batu dan tanah di dalam terowongan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas massa batuan aktual dan menentukan jenis perkuatan yang sesuai agar terowongan tetap aman. Survei palu Schmidt dan *scanline* pada zona tak berpenyangga (kedalaman 50–297 m dan 355–538 m) dilakukan untuk mengambil data parameter klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa massa batuan TEURK di kedalaman tersebut memiliki nilai RMR 52-71 (sedang-baik). Perkuatan yang direkomendasikan adalah pemasangan baut batu dan beton semprot konvensional.

**Kata kunci:** terowongan, palu Schmidt, *scanline*, RMR, perkuatan

**ABSTRACT**

*Tunnel for Exploration of Uranium Eko Remaja Kalan (TEURK) in West Kalimantan, built-in 1980, is one of the uranium deposit research facilities in Indonesia. The tunnel penetrated Eko Remaja Hill along 618 m, from Remaja to TRK-7 access. Uranium mineralization in this area controlled by dense stockwork veins on metasilt and metasandstone rocks. The high-dense geological structures create some weak zones in the tunnel. These zones are potentially causing rocks and soil slides. Temporary supports made of wood-piles were installed in these zones to support the tunnel. Currently, these piles are not capable at the tunnel, so that rocks and soil slides occurred inside the tunnel. The research aimed to determine the quality of actual rock mass and determine the appropriate type of reinforcement to keep the tunnel safe. Schmidt hammer and scanline surveys on the unsupported zone (50–297 m and 355–538 m depth) carried out to collect the classification parameter data of Rock Mass Rating (RMR). The measurement result shows that the rock mass of TEURK on the depth has an RMR value of 52–71 (fair-good). Reinforcement recommendations for the tunnel are rock bolts and conventional shotcretes installation.*

**Keywords:** tunnel, Schmidt hammer, *scanline*, RMR, reinforcement.

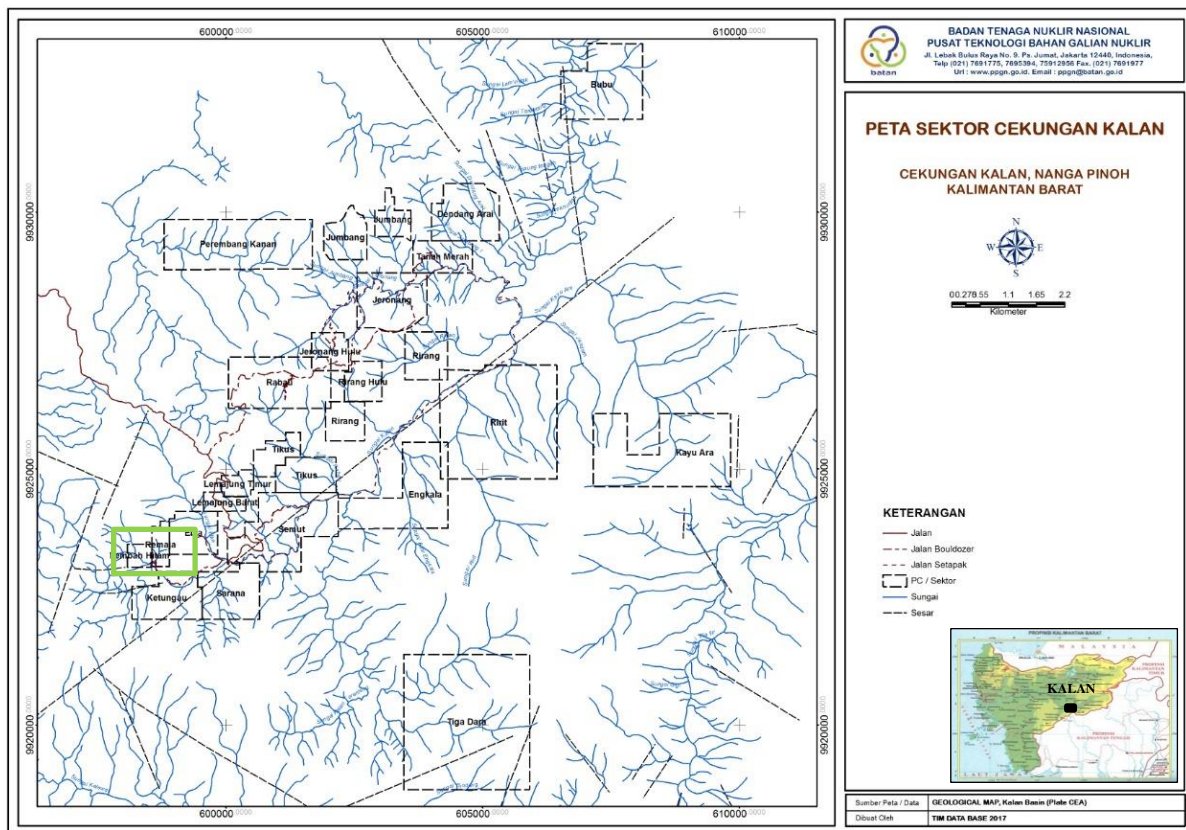
## PENDAHULUAN

Terowongan Eksplorasi Uranium Eko Remaja Kalan (TEURK), Kalimantan Barat merupakan aset penting Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang difungsikan sebagai sarana penelitian eksplorasi dan penambangan uranium di Indonesia. Secara administratif, terowongan ini berlokasi di Desa Kalan, Kecamatan Ella Hilir, Kabupaten Melawi, Provinsi Kalimantan Barat [1]. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Daerah Kalan terletak di lembah Sungai Kalan bagian hulu dan merupakan cabang kiri dari Sungai Ella Hilir yang bermuara di Sungai Melawi [2]. Kegiatan eksplorasi dan penambangan di terowongan berhenti beroperasi pada tahun 1991 [3].

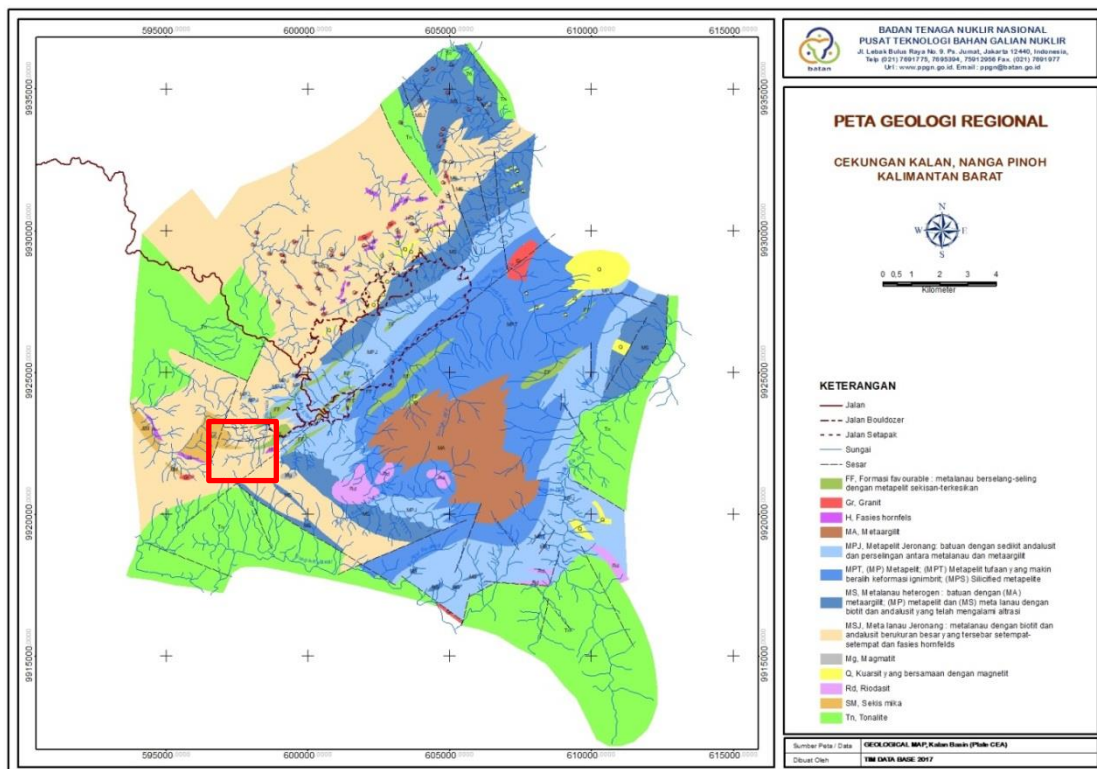
Terowongan Eko Remaja dibuat pada tahun 1980, yang menembus bukit Eko Remaja di kedua sisinya dan memiliki dua pintu utama yaitu Remaja dan TRK-7.

Terowongan ini berada pada elevasi 450 meter di atas permukaan laut dengan arah N 50° E sepanjang 618 meter [3, 4].

Geologi regional daerah Kalan dan sekitarnya tersusun atas Batuan Malihan Pinoh, Tonalit Sepauk, dan Granit Sukadana. Batuan Malihan Pinoh berumur Karbon–Trias dan tersusun atas sekis kuarsa-muskovit, filit, batusabak, batutanduk, beberapa tufa malih dan kuarsit, setempat mengandung andalusit, kordierit, dan biotit, jarang silimanit dan garnet [5]. Batuan Malihan Pinoh diintrusi oleh Tonalit Sepauk dan selanjutnya diintrusi lagi oleh Granit Sukadana [6]. Lokasi TEURK berada pada Grup Volcano Sedimenter Tipe Seri Bawah yang merupakan bagian dari Batuan Malihan Pinoh. Grup ini tersusun atas perselingan antara metalanau dengan metapelit yang mengandung biotit, andalusit, kordierit dan sisipan riodasit [6] (Gambar 2).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian (kotak hijau) termasuk sektor potensial Cekungan Kalan, Kalimantan Barat [7].

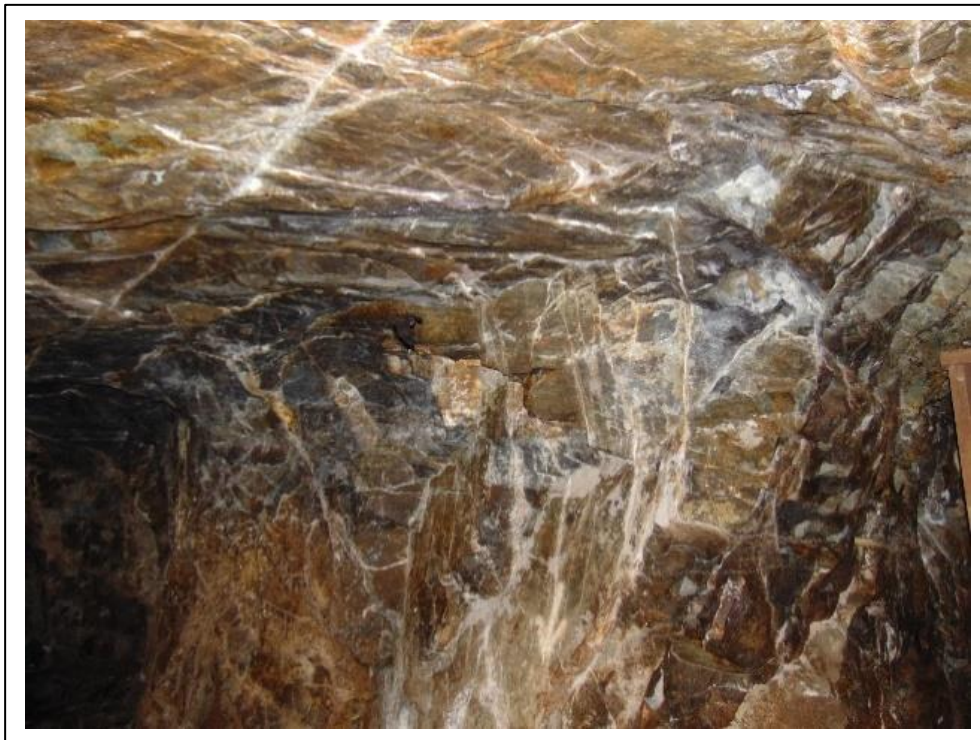


Gambar 2. Peta Geologi Regional Kalan dilengkapi dengan lokasi penelitian (kotak merah) [6].

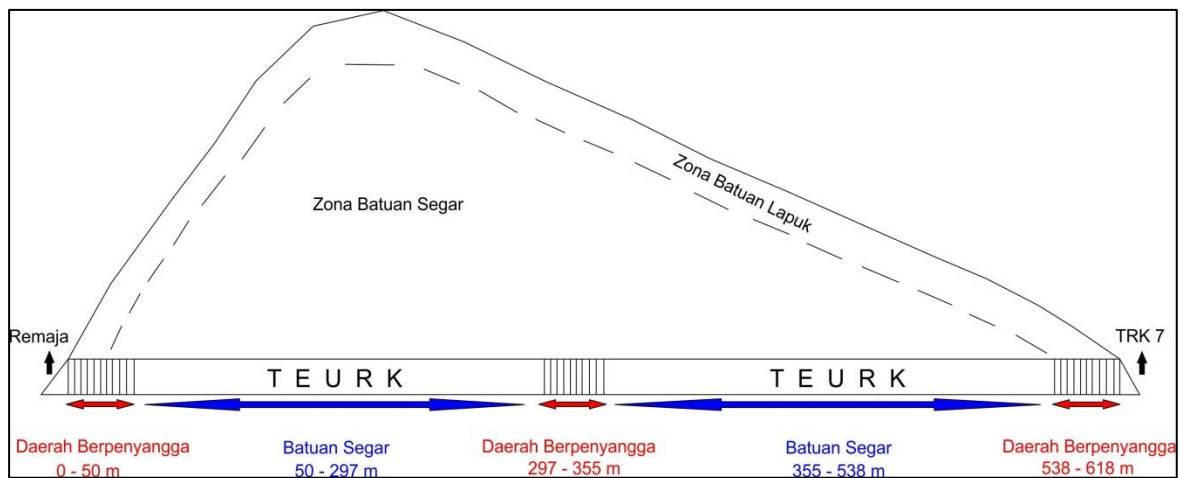
Struktur geologi di daerah ini dipengaruhi oleh dua kejadian deformasi, yaitu deformasi plastis dan deformasi getas (*brittle*). Deformasi diawali dengan perlipatan hingga pembentukan sekistositas pada batuan Trias. Perlipatan berarah N 70° E menunjam 30° ke timur laut, sementara sekistositas berarah 70° ke utara relatif sejajar dengan sumbu lipatan [7, 8]. Deformasi getas pertama menyebabkan terjadinya bukaan pada sekistositas dan pembentukan urat-urat searah sekistositas yang kemudian terisi oleh mineralisasi uranium di Jaman Kapur. Deformasi getas kedua membentuk urat-urat sentimetrik-desimetrik berisi kalsit dan gipsum yang memotong urat mineralisasi uranium [10]. Deformasi tektonik menyebabkan pembentukan urat-urat mineralisasi tak beraturan (*stockwork*) di daerah Kalan, termasuk di dalam terowongan Eko Remaja.

Zona batuan lemah di dalam terowongan terbentuk karena tingginya kerapatan struktur geologi (Gambar 3). Indikasi lipatan lokal bersistem konik dengan sumbu vertikal dan bukaan apikal 100° ditemukan di Eko-Remaja [6]. Kondisi ini menyebabkan batuan menjadi mudah lapuk dan hancur. Pada beberapa lokasi, terlihat zona batuan lapuk atau lemah yang berpotensi mengalami longsor batuan dan/atau tanah. Penyangga sementara berupa tiang kayu telah dipasang di beberapa lokasi tersebut dengan berdasarkan pola keruntuhan yang terjadi saat pembukaan terowongan. Studi terkait karakteristik massa batuan dan kebutuhan sistem penyangga saat itu belum dilakukan untuk pemasangan sistem penyanggaan [7]. Terowongan Eko Remaja memiliki tiga zona yang telah dipasang penyangga yaitu meter 0–50, meter 297–355, dan meter 538–618, serta dua zona di antaranya yang tidak dipasang penyangga (Gambar 4).





Gambar 3. Kondisi batuan dengan struktur geologi yang rapat di sekitar zona lemah.



Gambar 4. Morfologi dan lokasi pemasangan penyangga tiang kayu di TEURK.

Hingga tahun 2019, telah terjadi beberapa kali longsor di dalam TEURK. Beberapa tiang kayu penyangga di dalam terowongan tidak lagi mampu menyangga terowongan (Tabel 1 dan Gambar 5). Perlu dilakukan suatu upaya untuk meninjau kondisi massa batuan terowongan [11]. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kualitas massa batuan aktual dan analisis

perkuatan massa batuan yang dibutuhkan di TEURK. Akurasi dalam memprediksi dan menginterpolasi data geoteknik merupakan kunci keberhasilan pelaksanaan kegiatan lapangan untuk mendapatkan desain yang baik dan sesuai [12]. Desain teknik yang sesuai dapat menghindari kegagalan struktur keteknikan [13, 14].

Tabel 1. Rekaman kejadian longsor di TEURK.

No.	Tahun Kejadian	Kedalaman (m)
1	2009	314,25
2	2011	568
3	2011	598
4	2011	603
5	2014	560,68
6	2015	568,50
7	2019	600



Gambar 5. Longsor di dalam TEURK pada tahun 2019 (A) dan 2015 (B)

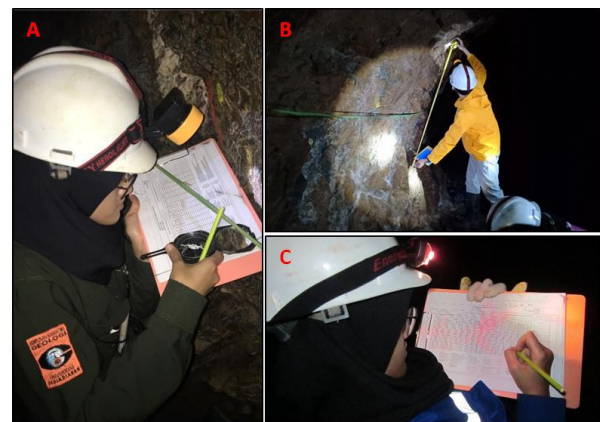
## METODOLOGI

Pengambilan data dilakukan pada bagian terowongan yang tidak dipasang penyangga, yaitu pada kedalaman 50–297 m dan 355–538 m. Pengambilan data menggunakan metode *scanline* dilakukan dengan interval jarak 5 meter (Gambar 6). Data yang diperoleh antara lain kuat tekan batuan, jumlah, orientasi dan jarak antar bidang diskontinuitas berikut kondisi diskontinuitas, serta pengamatan kondisi air tanah.

Data-data tersebut kemudian dikonversi ke dalam parameter *Rock Mass Rating* (RMR) untuk menentukan kualitas massa batuan dan rekomendasi keteknikan yang diperlukan. Penggunaan RMR dinilai lebih mudah dan fleksibel dalam praktik keteknikan [15]. Sistem klasifikasi ini juga telah dikalibrasi dan direvisi berdasarkan sejarah penggunaannya pada tambang batubara,

teknik sipil, dan terowongan kedalaman dangkal [16]. Parameter RMR dikenal sebagai sistem klasifikasi geomekanik yang paling umum digunakan yang terdiri atas 6 parameter [17–19], antara lain:

1. *Uniaxial Compressive Strength* (UCS);
2. *Rock Quality Designation* (RQD);
3. Spasi diskontinuitas;
4. Kondisi diskontinuitas;
5. Kondisi air tanah;
6. Orientasi diskontinuitas.



Gambar 6. Kegiatan pengambilan data yang dilakukan pada bagian terowongan yang tidak dipasang penyangga. (A) Pengukuran orientasi diskontinuitas massa batuan; (B) Pengukuran panjang dan kemenerusan diskontinuitas massa batuan; (C) Proses rekam data.

Data UCS diperoleh dari nilai kekerasan batuan yang diambil melalui survei palu Schmidt [20]. Penggunaan palu Schmidt relatif mudah dan tidak bersifat destruktif [21, 22]. Survei palu Schmidt dilakukan dengan cara menekan palu tegak lurus terhadap singkapan batuan, lalu melepaskannya dan membaca nilai yang muncul di piranti tersebut. Nilai kekerasan batuan selanjutnya dikonversi menjadi nilai kekuatan batuan dengan persamaan [23]:

$$UCS = \exp(0.818 + 0.059N) \quad (1)$$

UCS : *Uniaxial Compressive Strength* (MPa)  
N : nilai *rebound* palu Schmidt

Lima parameter selain UCS diperoleh melalui survei *scanline*. Survei *scanline* dilakukan dengan cara membentangkan garis pengamatan pada permukaan singkapan batuan dan mendeskripsi massa batuan serta bidang diskontinuitas yang berpotongan dengan garis pengamatan tersebut [24, 25]. Garis pengamatan dalam penelitian ini berupa tali yang dibentangkan secara mendatar pada dinding terowongan.

Penilaian RQD adalah suatu teknik untuk menilai kualitas massa batuan secara kualitatif dan kuantitatif berdasarkan tingkat kerapatan kekar dan retakan pada tubuh batuan [26]. Nilai RQD biasanya digunakan sebagai ukuran kualitas inti bor, yaitu perbandingan antara total panjang potongan inti bor yang memiliki panjang lebih dari 0,1 m dengan panjang total inti bor terambil dalam satu kali pengeboran [27]. Selain itu, nilai RQD juga dapat dihitung dengan sebuah formula yang mengandung parameter frekuensi diskontinuitas, yaitu jumlah diskontinuitas dibagi panjang interval pengamatan [28]. Formula untuk menghitung nilai RQD ditunjukkan oleh Persamaan (2).

$$RQD=100(0.1\lambda+1)e^{-0.1\lambda} \quad (2)$$

RQD : *Rock Quality Designation* (%)

$\lambda$  : frekuensi diskontinuitas (/m)

Spasi diskontinuitas ditentukan dengan mengukur jarak antar diskontinuitas [29]. Kondisi diskontinuitas dapat ditentukan dengan mengamati beberapa parameter diskontinuitas, seperti panjang, bukaan, kekasaran permukaan, isian, dan tingkat pelapukan [17, 30]. Kondisi air tanah ditentukan dengan pengamatan deskriptif aliran air tanah (kering, lembap, basah, menetes, atau mengalir) [29, 31]. Orientasi diskontinuitas dapat ditentukan dengan membandingkan kedudukan diskontinuitas terhadap kedudukan terowongan (searah, tegak lurus, atau tidak beraturan) [32]. Hasil pengamatan keenam parameter tersebut selanjutnya dikonversi dengan menggunakan skor dari masing-masing rentang nilai untuk menentukan nilai RMR [11]. Skor setiap parameter dan klasifikasi RMR tertera dalam Tabel 2 dan Tabel 3 [33, 34].

Tabel 2. Parameter RMR dan skornya [33, 34].

Parameter		Rentang nilai							
1.	Kekuatan material batuan utuh (UCS)	Indeks <i>point-load</i>	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Untuk nilai rendah digunakan uji kuat tekan		
		Kuat tekan uniaksial	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	<i>Bobot</i>		15	12	7	4	2	1	0
2.	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	<i>Bobot</i>		20	17	13	8	3		
3.	Spasi diskontinuitas		>2 m	0.6 - 2 m	200 – 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	<i>Bobot</i>		20	15	10	8	5		

Parameter		Rentang nilai				
4.	Kondisi bidang diskontinuitas	Permukaan sangat kasar, tidak menerus, tidak ada pemisah, batuan tidak lapuk	Permukaan agak kasar, jarak pemisah < 1mm, batuan agak lapuk	Permukaan agak kasar, jarak pemisah < 1 mm, batuan sangat lapuk	Permukaan <i>slickensided</i> atau jarak pemisah 1-5 mm	Jarak pemisah > 5 mm
	<i>Bobot</i>	30	25	20	10	0
5.	Aliran per 10 m panjang terowongan (L/m)	Tidak ada	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
	Tekanan air pada kekar	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Kondisi umum	Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir
	<i>Bobot</i>	15	10	7	4	0

Tabel 3. Klasifikasi RMR [33, 34]

Bobot	Nomor Kelas	Deskripsi
100 – 81	I	Batuan sangat baik
80 - 61	II	Batuan baik
60 - 41	III	Batuan sedang
40 - 21	IV	Batuan buruk
< 21	V	Batuan sangat buruk

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan parameter RMR dilakukan di dinding terowongan pada elevasi 450 mdpl yang tersusun atas batuan metalanau dan metapelit schistose sebagai sisipan metapelit Jeronang [6]. Batuan metaampelit ditemukan juga, namun keberadaannya tidak terlalu banyak dijumpai (Gambar 7).

Nilai UCS yang diperoleh dari survei palu Schmidt berkisar antara 23,3–137,6 MPa dengan nilai rata-rata 61,9 MPa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa batuan dinding TEURK termasuk dalam kategori lemah sampai sangat kuat dengan rata-rata kuat [29]. Grafik hasil pengukuran UCS pada setiap interval kedalaman TEURK dapat dilihat pada Gambar 8.

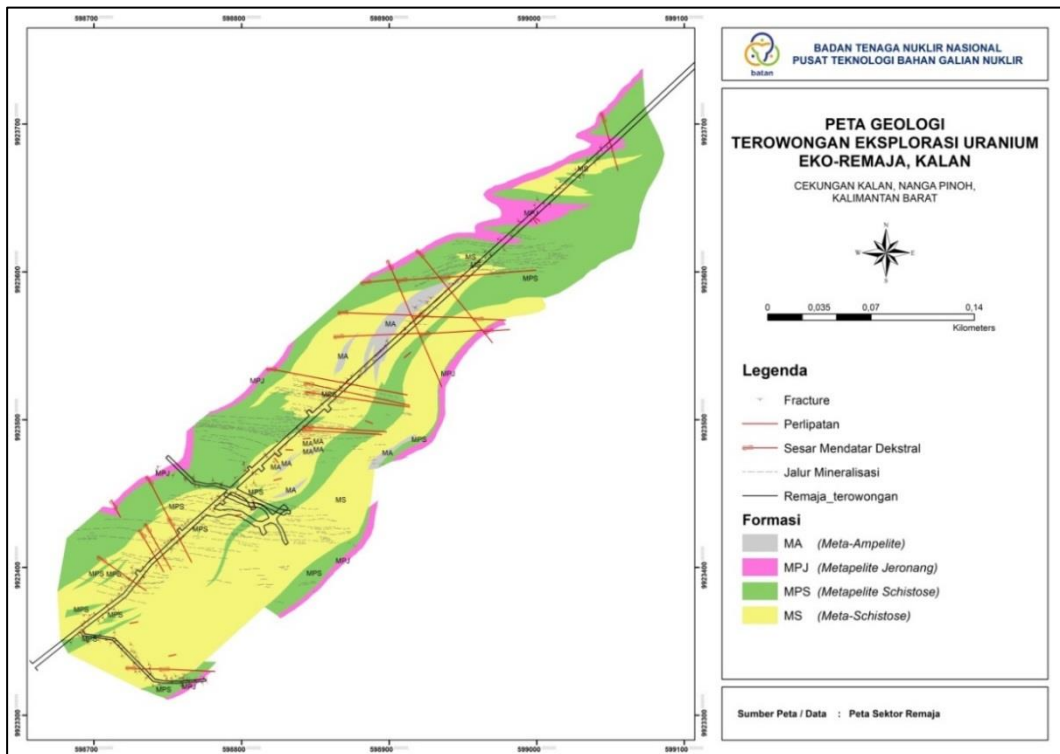
Berdasarkan hasil pengamatan jumlah diskontinuitas melalui garis pengamatan, diperoleh nilai RQD berkisar antara 66,94–97,53 % dengan nilai rata-rata 81,85 %. Nilai tersebut menunjukkan bahwa batuan dinding TEURK termasuk dalam kategori baik sampai sangat baik dengan rata-rata baik [29].

Spasi diskontinuitas berkisar antara 7,61–41,18 cm dengan rata-rata 13,61 cm. Bidang diskontinuitas yang diamati memiliki kondisi bidang permukaan yang halus, datar, dan agak lapuk dengan isian kuarsa, kalsit, dan felspar. Panjang bidang diskontinuitas berkisar antara 0,3 m hingga lebih dari 3 m dan lebar bukaan diskontinuitas rata-rata 4 mm. Kondisi air tanah di lokasi pengamatan adalah kering sampai lembab, pada beberapa

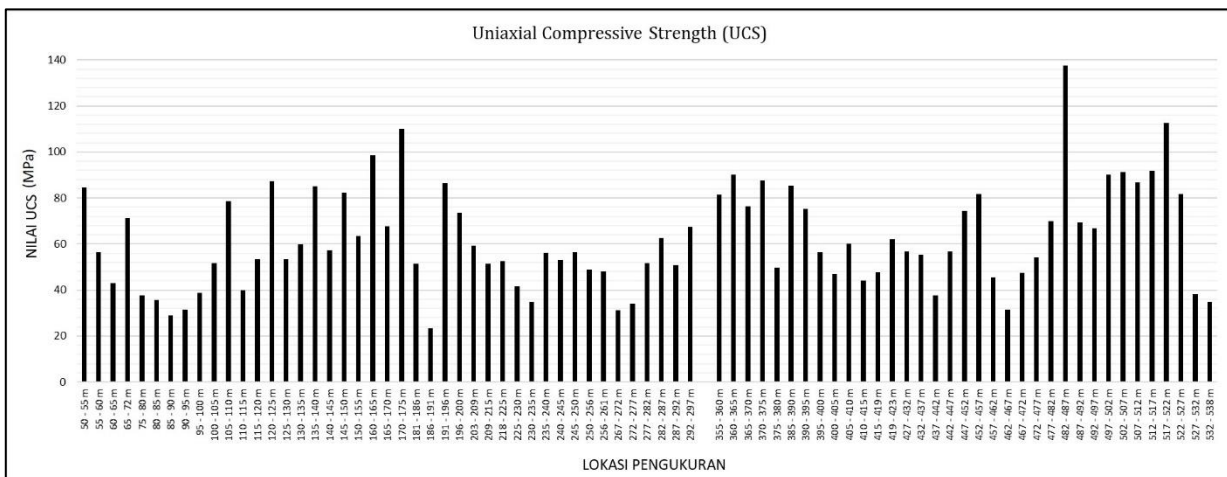
titik air tanah mengalir di lubang bekas pengeboran.

Pengukuran kedudukan diskontinuitas menunjukkan bahwa bidang diskontinuitas di TEURK berorientasi tegak lurus terhadap TEURK itu sendiri. Sebagai contoh, pada interval kedalaman 355–360 m, kedudukan umum bidang diskontinuitas adalah N 335° E/ 63° dan N 138° E/ 57° sementara TEURK

memiliki tren N 50° E. Dalam kondisi tersebut, orientasi diskontinuitas dinilai sangat baik [32] dan faktor koreksi yang digunakan adalah nol sehingga tidak ada pengurangan nilai RMR [29]. Pola sebaran bidang diskontinuitas TEURK pada kedalaman 355–360 m dapat dilihat pada Gambar 9. Rangkuman hasil analisis parameter RMR dapat dilihat di Tabel 4.

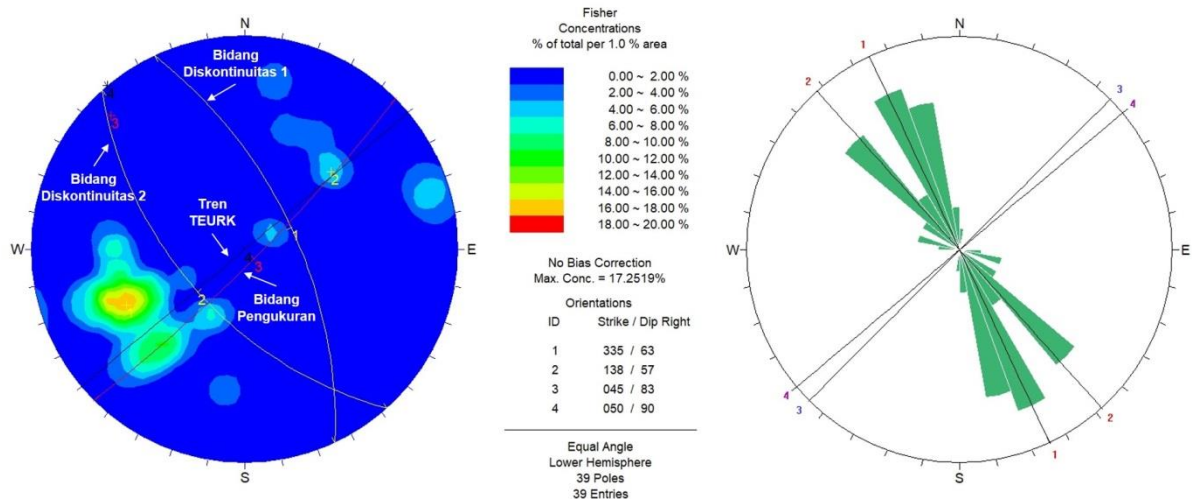


Gambar 7. Peta geologi TEURK [4].



Gambar 8. Grafik hasil pengukuran UCS pada interval kedalaman 50–297 dan 355–538 m. Sumbu x menunjukkan interval kedalaman TEURK dan sumbu y menunjukkan nilai UCS dalam satuan megapascal (MPa).





Gambar 9. Pola sebaran bidang diskontinuitas TEURK pada interval kedalaman 355-360 m.

Tabel 4. Rangkuman hasil analisis parameter RMR.

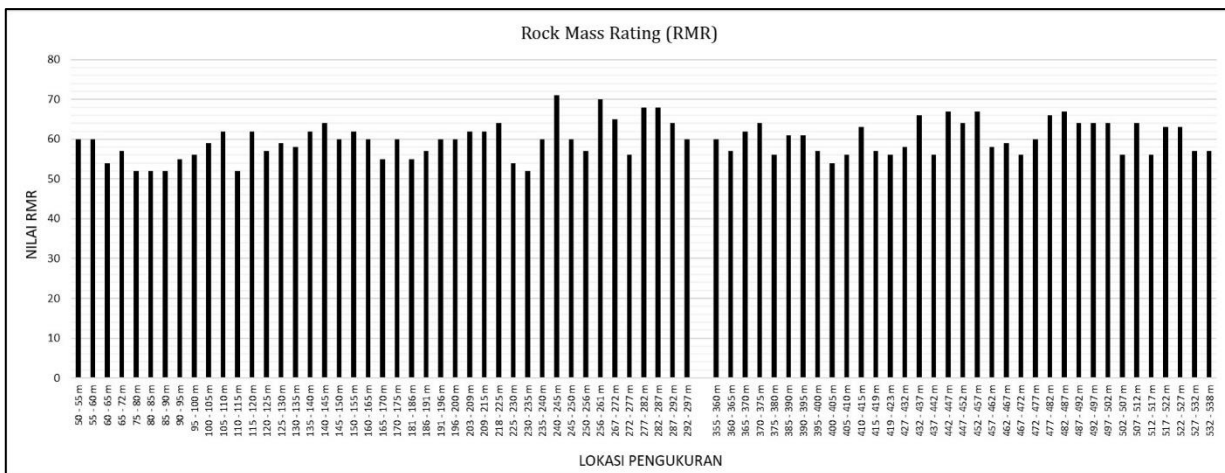
Parameter RMR					
UCS	RQD	Spasi Diskontinuitas	Kondisi Diskontinuitas	Kondisi Air Tanah	Orientasi Diskontinuitas
23,3 - 137,6 MPa, rata-rata 61,9 MPa (kategori lemah-sangat kuat, rata-rata kuat)	66,94 - 97,53%, rata-rata 81,85% (kategori baik-sangat baik, rata-rata baik)	7,61-41,18 cm, rata-rata 13,61 cm	Bidang permukaan halus, datar dan agak lapuk dengan isian kuarsa, kalsit, dan felspar. Panjang bidang berkisar 0,3- lebih dari 3 m, lebar bukaan rata-rata 4 mm.	Kering - lembab. Pada beberapa titik mengalir melalui lubang bekas pengeboran.	Tegak lurus terhadap terowongan

Pengolahan data keenam parameter di atas menghasilkan nilai RMR TEURK yang berkisar antara 52–71 (kelas III–II), artinya batuan termasuk dalam kategori sedang (*fair*) sampai baik (*good*) [17]. Secara umum terlihat bahwa batuan di dalam terowongan berkategori sedang (nilai RMR 52–60). Hal ini menunjukkan bahwa di kedalaman tersebut didominasi oleh batuan yang relatif lapuk (nilai UCS di bawah 60 MPa) dengan kerapatan bidang diskontinuitas tinggi (spasi diskontinuitas rendah). Kelembaban batuan relatif tinggi, bahkan terlihat aliran air tanah

di beberapa lubang bor. Sementara itu, beberapa titik pengukuran memperlihatkan nilai RMR pada rentang kelas 61–71 sehingga batuanya termasuk dalam kategori baik. Kondisi ini ditemukan di 31 lokasi pengukuran (Gambar 10). Batuan di kedalaman tersebut umumnya dalam kondisi relatif segar bahkan di interval kedalaman 482–487 m menunjukkan nilai UCS hingga 137 MPa (Gambar 8). Kondisi batuan relatif kering hingga lembab.

Setiap nilai atau kelas dalam RMR memiliki implikasi dan aplikasi lanjut untuk berdasarkan nilai atau kelas RMR [32, 34] (Tabel 5). Rekomendasi perkuatan untuk zona batuan sedang (*fair rock*) di TEURK adalah baut batu (*rock bolt*) sistematis sepanjang 4 m berspasi 1,5–2 m pada mahkota dan dinding dengan jala kawat (*wire mesh*) pada mahkota serta beton semprot konvensional (*conventional shotcrete*) sepanjang 50–100 mm pada mahkota dan 30 mm dalam dinding [32, 35]. Sementara itu, rekomendasi

dimanfaatkan secara teknis. Rekomendasi perkuatan TEURK dapat diberikan perkuatan untuk zona batuan baik (*good rock*) adalah baut batu lokal sepanjang 3 m berspasi 2,5 m pada mahkota dengan sesekali dipasang jala kawat serta beton semprot konvensional sepanjang 50 mm pada mahkota di lokasi yang dibutuhkan [32, 35]. Aplikasi rekomendasi perkuatan terowongan ini diharapkan dapat mengatasi masalah longsor batuan dan/atau tanah di dalam terowongan.



Gambar 10. Grafik hasil penghitungan nilai RMR pada interval kedalaman 50–297 dan 355–538 m. Sumbu x menunjukkan interval kedalaman TEURK dan sumbu y menunjukkan nilai RMR.

Tabel 5. Rekomendasi perkuatan berdasarkan nilai RMR (kotak hijau) [32, 34].

Kelas massa batuan	Opsi Perkuatan Terowongan Batuan berdasarkan Sistem RMR		
	Baut batu (diameter 20 mm, disemen penuh)	Beton semprot konvensional	Set baja
Sangat baik RMR = 81-100	Secara umum, tidak membutuhkan perkuatan kecuali pembautan titik sekali waktu		
Baik RMR = 61-80	Baut lokal sepanjang 3 m pada mahkota, berspasi 2,5 m, dengan sesekali dipasang jala kawat	50 mm pada mahkota pada lokasi yang dibutuhkan	Tidak ada
Sedang RMR = 41-60	Baut sistematis sepanjang 4 m pada mahkota dan dinding, berspasi 1,5-2 m, dengan jala kawat pada mahkota	50-100 mm pada mahkota dan 30 mm pada dinding	Tidak ada
Buruk RMR = 21-40	Baut sistematis sepanjang 4-5 m pada mahkota dan dinding, berspasi 1-1,5 m, dengan jala kawat	100-150 mm pada mahkota dan 100 mm pada dinding	Rangka ringan-sedang berspasi 1,5 m pada lokasi yang dibutuhkan
Sangat buruk RMR < 20	Baut sistematis sepanjang 5-6 m pada mahkota dan dinding, berspasi 1-1,5 m, dengan jala kawat; menggunakan baut terbalik	150-200 mm pada mahkota, 150 mm pada dinding, dan 50 mm pada muka	Rangka sedang-berat berspasi 0,75 m dengan <i>steel lagging</i> dan <i>forepoling</i> jika diperlukan; <i>close invert</i>

## KESIMPULAN

Nilai RMR di TEURK berkisar antara 52–71 (batuan sedang–batuan baik). Secara umum batuan direntang kedalaman 50–297 m dan 355–538 m adalah batuan berkategori sedang, namun di kedalaman tertentu batumannya berkategori baik. Rekomendasi perkuatan untuk zona batuan sedang (RMR 52–60) adalah baut batu sistematis 4 m (spasi 1,5–2 m) pada mahkota dan dinding dengan jala kawat pada mahkota serta beton semprot 50-100 mm pada mahkota dan 30 mm dalam dinding. Pada zona batuan baik (RMR 61–71) rekomendasi perkuatan yang diberikan adalah baut batu lokal 3 m (spasi 2,5 m) pada mahkota dengan sesekali dipasang jala kawat serta beton semprot 50 mm pada mahkota di lokasi yang dibutuhkan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Ir. Yarianto Sugeng Budi Susilo, M.Si. (Kepala PTBGN-BATAN), Kurnia Setiawan Widana, M.T. (Kepala Bidang TPP-PTBGN), Heri Syaeful, M.T. (Kepala Bidang Eksplorasi-PTBGN), Alm. Umar Sarip, A.Md. (ex-Kepala Loka BGN-PTBGN), Suharji, S.T. (Tenaga Ahli) dan seluruh anggota tim yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAKOSURTANAL, “Peta Rupabumi Lembar Nanga Pinoh, Kalimantan,” 2004.
- [2] H. Syaeful, Suharji, dan A. Sumaryanto, “Pemodelan Geologi dan Estimasi Sumberdaya Uranium di Sektor Lemajung, Kalan, Kalimantan Barat,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir*, pp. 329–342, 2014.
- [3] A. Zaenal, “Beton Cetak Bertulang sebagai Alternatif Pengganti Kayu Penyangga di Terowongan Eksplorasi U Eko Remaja Kalimantan Barat,” *Prosiding Seminar Geologi Nuklir dan Sumberdaya Tambang*, 2006.
- [4] H. S. Karyono, “Analisis Kontrol Tektonik pada Vein Mineralisasi di Bukit Eko, Kalan, Kalimantan Barat,” *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-2 IAGI*, pp. 115–128, 1991.
- [5] Amiruddin dan D. S. Trail, “Peta Geologi Lembar Nanga Pinoh Kalimantan Skala 1:250.000,” Bandung, 1993.
- [6] S. Tjokrokardono, B. Soetopo, L. Subiantoro, dan K. S. Widana, “Geologi dan Mineralisasi Uranium Kalan, Kalimantan Barat,” *Kumpulan Laporan Hasil Penelitian Tahun 2005*, Jakarta: BATAN, pp. 27–52, 2005.
- [7] D. Kamajati, H. Syaeful, dan M. Berliana Garwan, “Evaluasi Massa Batuan Terowongan Eksplorasi Uranium Eko-Remaja, Kalan, Kalimantan Barat,” *Eksplorium*, vol. 37, no. 2, pp. 89–100, 2016.
- [8] S. Tjokrokardono, D. Soetarno, M. S. Sapardi, L. Subiantoro, dan R. Witjahyati, “Studi Geologi Regional dan Mineralisasi Uranium di Pegunungan Schwanner Kalimantan Barat dan Tengah,” *Prosiding Seminar Geologi Nuklir dan Sumberdaya Tambang*, pp. 64–84, 2004.
- [9] H. S. Karyono dan M. Ruhland, “Use of Multiscalar Processing of Remotely Sensed Data in Kalan Fracturation Networks West Kalimantan, Indonesia for Future Mineralization Research,” *ISPRS Journal Photogrammetry Remote Sensing*, vol. 45, pp. 428–441, 1990.
- [10] A. G. Muhammad dan F. D. Indrastomo, “Validitas dan Reliabilitas Data Estimasi Kadar Uranium Sektor Lembah Hitam, Kalan, Kalimantan Barat,” *Eksplorium*, vol. 40, no. 2, pp. 75–88, 2019, doi: 10.17146/eksplorium.2019.40.2.5672.
- [11] Z. T. Bieniawski, *Engineering Rock Mass Classification: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. 1989.
- [12] F. Ferrari, T. Apuani, dan G. Giani, “Rock Mass Rating Spatial Estimation by Geostatistical Analysis,” *International Journal of Rock Mechanism and Mining Science.*, vol. 70, pp. 162–176, 2014.
- [13] M. Akin, “Slope Stability Problems and Back Analysis in Heavily Jointed Rock Mass: A Case Study from Manisa, Turkey,” *Rock Mechanism Rock Engineering*, vol. 46, pp. 359–371, 2013.
- [14] Purwanto, et al., “Fundamental Study on Support Systemat Cibaliung Underground Gold Mine, Indonesia,” *Procedia Earth Planet. Science*, vol. 6, pp. 419–425, 2013.
- [15] V. M. Khatik dan A. K. Nandi, “A Generic Method for Rock Mass Classification,” *Journal Rock Mechanism and Geotechnical Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 102–116, 2018.
- [16] A. Lateef, “Most Used Rock Mass Classifications for Underground Opening,” *American Journal of Engineering and Applied. Sciences*, pp. 403–411, May 2010.
- [17] Z. T. Bieniawski, “Classification of Rock Masses for Engineering: The RMR System and Future Trends, Comprehensive Rock Engineering,” *Rock*

- Testing and Site Characterization*, vol. 3, pp. 553–574, 1993.
- [18] S. Muntazir Abbas dan H. Konietzky, “Rock Mass Classification Systems,” *Introduce to Geomechanism.*, pp. 1–48, 2017.
- [19] M. Mohammadi dan M. Farouq, “Modification of Rock Mass Rating System: Interbedding of Strong and Weak Rock Layers,” *Journal of Rock Mechanism and Geotechnical Engineering*, vol. 9, no. 6, pp. 1165–1170, 2017.
- [20] N. Bilgin, H. Copur, dan C. Balci, “Use of Schmidt Hammer with Special Reference to Strength Reduction Factor Related to Cleat Presence in A Coal Mine,” *International Journal of Rock Mechanism and Mining Sciences*, vol. 84, pp. 25–33, 2016.
- [21] B. F. Ogunbayo, C. O. Aigbavboa, dan O. I. Akinradewo, “Analysis of Compressive Strength of Existing Higher Educational Institutions (HEI) Concrete Column using a Schmidt Rebound Hammer,” *Journal of Physic: Conference Series*, vol. 1378, no. 3, 2019.
- [22] A. Brencich, G. Cassini, D. Pera, dan G. Riotto, “Calibration and Reliability of the Rebound (Schmidt) Hammer Test,” *Civil Engineering and Architecture.*, vol. 1, no. 3, pp. 66–78, 2013.
- [23] I. Yilmaz dan H. Sendir, “Correlation of Schmidt Hardness with Unconfined Compressive Strength and Young’s Modulus in Gypsum from Sivas (Turkey),” *Engineering Geology.*, vol. 66, no. 3, pp. 211–219, 2002.
- [24] H. I. Chamine, M. J. Afonso, L. Ramos, dan R. Pinheiro, “Scanline Sampling Techniques for Rock Engineering Surveys: Insights from Intrinsic Geologic Variability and Uncertainty,” *Engineering Geology of Society Territory*, vol. 6, pp. 357–361, 2015.
- [25] G. A. J. Kartini, I. Gumilar, B. Brahmantyo, B. Bramanto, dan N. Haerani, “Hasil Pengukuran Terrestrial Laser Scanner untuk Deteksi Rekahan dalam Kaitannya dengan Analisis Struktur Geologi (Studi Kasus: Tebing Citatah 125, Jawa Barat),” *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geology.*, vol. 9, pp. 107–117, 2018.
- [26] S. K. Haldar, *Mineral Exploration: Principles and Applications*, 2nd ed. Elsevier Ltd, 2018.
- [27] L. Zhang, “Determination and Applications of Rock Quality Designation (RQD),” *Journal of Rock Mechanics Geotechnical Engineering.*, vol. 8, no. 3, pp. 389–397, 2016.
- [28] S. D. Priest dan J. A. Hudson, “Discontinuity Spacings in Rock,” *International Journal of Rock Mechanism and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 13, pp. 135–148, 1976.
- [29] Z. T. Bieniawski, “The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications,” *Proceedings of the 4<sup>th</sup> Congress of the International Society for Rock Mechanics*, pp. 41–48, 1979.
- [30] S. Dochez, F. Laouafa, C. Franck, S. Guedon, F. Martineau, M. Bost dan J. D. Amato, “Influence of Water on Rock Discontinuities and Stability of Rock Mass,” *Procedia Earth Planetary Science*, vol. 7, pp. 219–222, 2013.
- [31] B. Celada, I. Tardáguila, P. Varona, A. Rodríguez, dan Z. T. Bieniawski, “Innovating Tunnel Design by an Improved Experience-based RMR System,” *Proceeding of the World Tunnel Congress 2014 – Tunnels a better Life*, pp. 1–9, 2014.
- [32] Z. T. Bieniawski, *Rock Mechanics Design In Mining and Tunnelling*, A. A. Balkema, Rotterdam, 1984.
- [33] A. R. Lawson dan Z. T. Bieniawski, “Critical Assessment of RMR-based Tunnel Design Practices: A Practical Engineer’s Approach,” *Rapid Excavation & Tunneling Conference*, June, 2013.
- [34] B. Singh dan R. K. Goel, *Engineering Rock Mass Classification: Tunneling, Foundations, and Landslides, 1<sup>st</sup> ed.* Butterworth-Heinemann, 2011.
- [35] H. Rehman, A. M. Naji, J. J. Kim, dan H. K. Yoo, “Empirical Evaluation of Rock Mass Rating and Tunneling Quality Index System for Tunnel Support Design,” *Applied Sciences.*, vol. 8, 2018.