

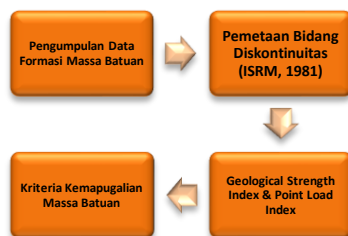
# Penentuan Kriteria Kemampugalian Massa Batuan Andesit Menggunakan Metode *Geological Strength Index*

George Belly Sahetapy\*, Nurany

Universitas Khairun, Ternate, Indonesia

\*Corresponding author  
[georgesahetapy@unkhair.ac.id](mailto:georgesahetapy@unkhair.ac.id)

## Graphical abstract



## Abstract

Rock masses are intact rocks separated by geological structures such as joints, faults, folds, and etc. Excavability is the ability of a rock mass to be excavated using mechanical excavation or blasting. Determining the criteria for excavability of the andesite rock mass in this study used the Geological Strength Index (GSI) method published by Marinos and Hoek (2000). GSI is an empirical method that takes into account the structure rating and surface condition rating factors. Based on the results of the analysis, the criteria for excavability in the Andesite Massive (AM) rock mass with a GSI Index value of 70 (S2D1), GSI 73 (S2D1), and Point Load Index of 2,795 MPa are blasting. As well as GSI 61 (S3D2), and a Point Load Index of 2,795 MPa is a hammer. The criteria for excavability in the Andesite Fracture (AF) rock mass with a GSI value of 40-48 (S4D1 – S5D1) and a Point Load Index of 2,131 MPa is ripping and a GSI value of 29 (S5D3) is digging.

Keywords: Andesite, Geological Strength Index, Scanline, Excavability



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

## 1. PENDAHULUAN

Kriteria kemampugalian merupakan kemampuan massa batuan untuk digali dengan alat gali mekanis konvensional. Penentuan kriteria kemampugalian perlu dilakukan investigasi lapangan seperti pemetaan struktur geologi, kondisi struktur geologi, tingkat pelapukan dan air tanah yang mengacu kepada *International Rock Society Mechanics* [1]. Penilaian kemampugalian menurut Duncan [2] mempertimbangkan beberapa parameter seperti batuan terkekarkan penyusun massa batuan, sifat, luas dan orientasi rekahan, struktur geologi seperti patahan dan pelipatan.

Nilai indeks kekuatan batuan ( $I_{s50}$ ) dan indeks jarak struktur geologi ( $I_f$ ) merupakan parameter yang diusulkan Franklin (1971) [3] untuk penilaian kriteria kemampugalian. Dalam penelitian tersebut kriteria kemampugalian dibagi dalam penggalian, penggaruan, peledakan untuk peremukan dan peledakan untuk hancuran. Weaver [4] menggunakan sistem klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating* (RMR) dalam penilaian kemampuan penggalian suatu massa batuan. Sistem klasifikasi RMR Bienwaski [5] mengusulkan kriteria kemampugalian berdasarkan karakteristik massa batuan, seperti kekuatan batuan, ukuran blok, orientasi atau kedudukan struktur geologi, dan kekuatan batuan terkekarkan.

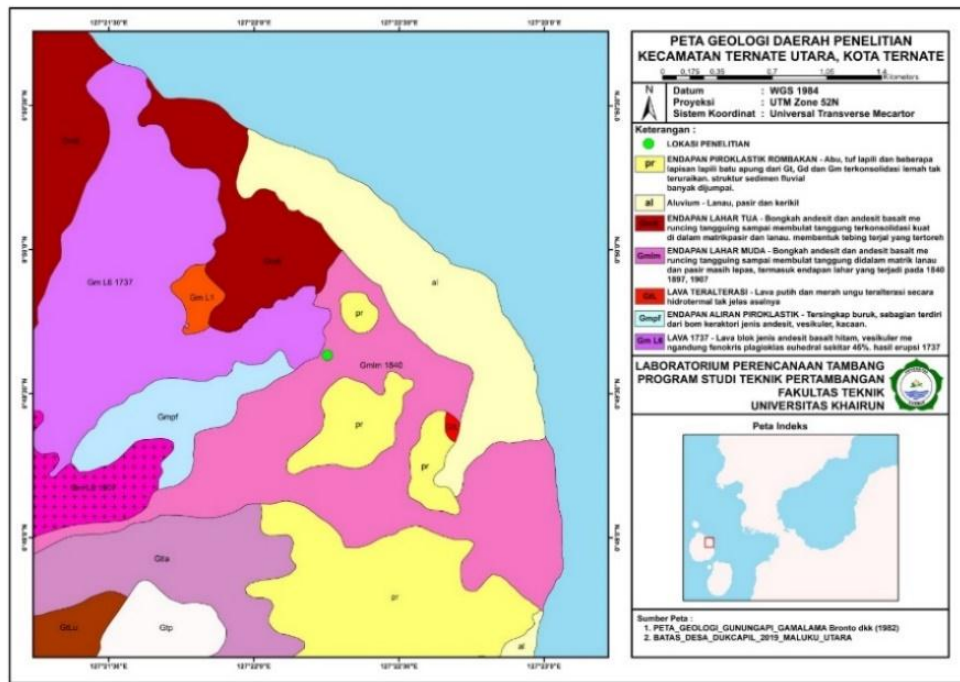
Sistem klasifikasi massa batuan lainnya seperti *Geological Strength Index* [6] digunakan untuk mendeskripsikan massa batuan dengan mengkorelasi setiap tipe batuan metode penerapan penggalian. Hoek dan Kurzulovic [7] mengusulkan massa batuan dapat digali hingga nilai GSI 0 - 40 MPa dan nilai kekuatan massa batuan 1 MPa, sedangkan penggaruan nilai GSI 41 - 60 MPa dan nilai kekuatan massa batuan 10 MPa metode penggalian yang sesuai dengan nilai GSI  $\geq 60$  MPa dan kekuatan massa batuan

≥ 15 MPa adalah peledakan. Menurut G. Tsiambos dan H. Saroglou [8] menyimpulkan bahwa peledakan untuk GSI ≥ 65 MPa dengan  $IS_{50} \geq 3$  MPa dan GSI 60 MPa dengan  $IS_{50} \leq 3$  MPa. Kriteria penggaruan umumnya dicapai pada massa batuan dengan nilai GSI antara 20 – 45 MPa dengan  $IS_{50} \geq 3$  MPa dan nilai GSI antara 20 – 55 MPa dengan  $IS_{50} \leq 3$  MPa.

Dalam penelitian ini, sistem *Geological Strength Index* (GSI) digunakan untuk menentukan kriteria kemampuan studi kasus di Kelurahan Tubo, Ternate Utara dengan formasi massa batuan andesit yang merupakan hamparan produk vulkanik Gunung Api Gamalama melalui erupsi tahun 1840, 1897 dan 1907 [9]. Hasil yang diperoleh menjadi acuan untuk merekomendasi kriteria penggalian kepada masyarakat sekitar, yang mana singkapan batuan dimanfaatkan oleh masyarakat untuk bahan bangunan pondasi [10].

**2. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan pada Kelurahan Tubo letak geografis pada koordinat 127°22'30,6" BT - 00°49'46,86" LU. Secara administratif, lokasi penelitian berada di Tubo, Kecamatan Ternate Utara, Kota Ternate, Provinsi Maluku Utara untuk mencapai lokasi penelitian, secara umum perjalanan dimulai dari Kampus UNKHAIR sejauh 13,6 km dengan waktu tempuh ± 34 menit menggunakan kendaraan mobil. Lokasi penelitian terdapat bongkahan andesit yang merupakan hamparan vulkanik Gunungapi Gamalama yang terjadi pada tahun 1840, 1897 dan 1907 [9].



Gambar 1. Peta Geologi Lokasi Penelitian

Penelitian ini bertujuan menentukan kriteria kemampuan menggunakan *Geological Strength Index*, metodologi penelitian dimulai dengan observasi lapangan, pengumpulan data formasi batuan, pemetaan bidang diskontinuitas (ISRM, 1981)[1] data yang diperoleh berupa orientasi atau kedudukan bidang diskontinuitas serta kondisi bidang diskontinuitas (kekasaran, tingkat pelapukan dan material pengisi). Pengambilan contoh batuan/ *rock sampling* di lapangan selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan uniaksial [1]. Nilai *Point Load Index* (PLI) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan [3]

$$UCS = 20 - 25PLI \dots\dots\dots(1)$$

*Geological Strength Index* (GSI) merupakan sistem untuk menilai parameter-parameter karakteristik massa batuan yang diusulkan oleh Marinov [6]. Penentuan nilai GSI mengacu kepada parameter utama berdasarkan hubungan antara *Structure Rating* (SR) dan *Surface Condition Rating* (SCR).

a. *Structure Rating, SR*

Secara kuantitatif peringkat struktur (SR) diperoleh dari besaran volumetric blok/*joint volumetric* terhitung, pada batuan terkekarkan kuat dan acak, *joint volumetric* massa batuan ( $J_v$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan (2)

$$Jv = \left(\frac{M}{L}\right)^3 \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

M = jumlah kekar pada garis bentangan pemetaan bidang diskontinuitas

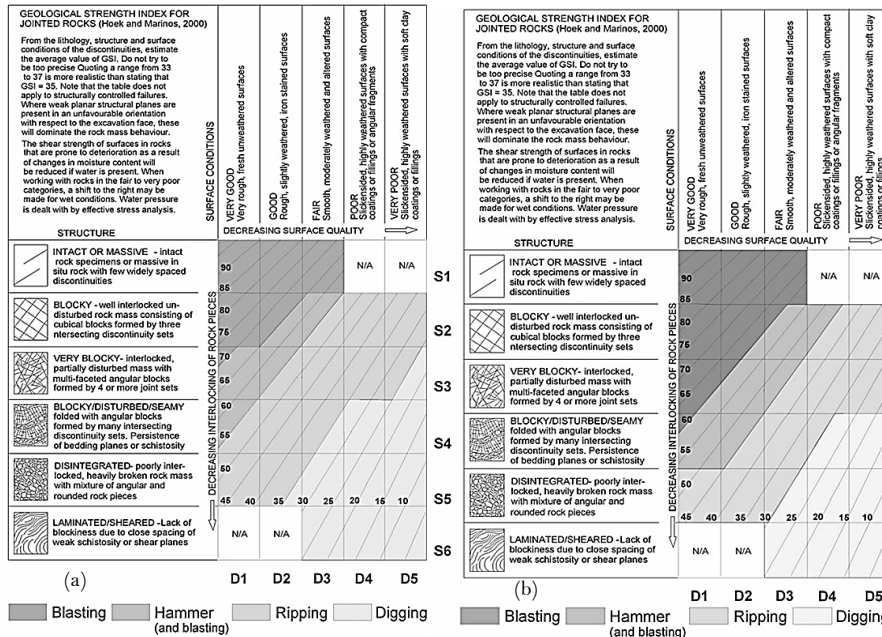
L = Panjang garis bentangan/scanline (meter)

b. *Surface Condition Rating, SCR*

Mengestimasi besarnya peringkat kondisi permukaan (SCR) berdasarkan penjumlahan 3 parameter, yaitu tingkat kekasaran (*roughness, R<sub>r</sub>*), tingkat pelapukan (*weathering, R<sub>w</sub>*), dan material pengisi (*infilling, R<sub>f</sub>*).

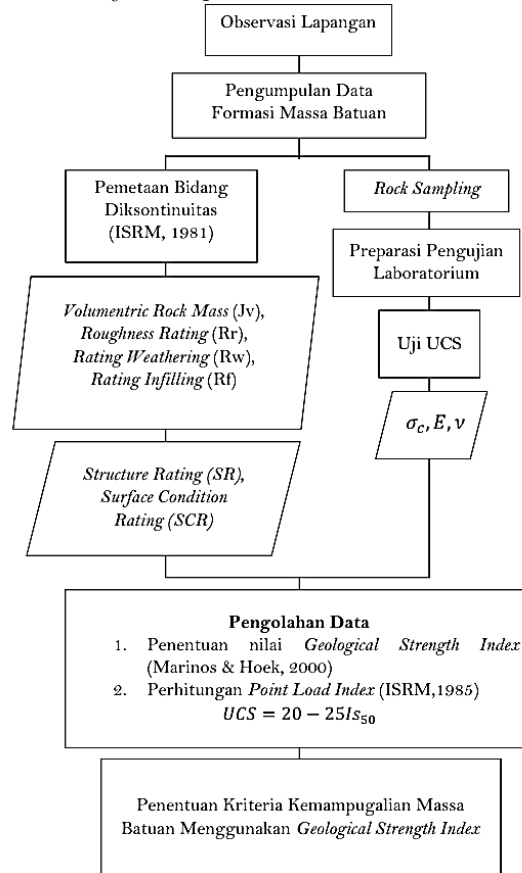
$$SCR = R_r + R_w + R_f \dots\dots\dots(3)$$

Kriteria kemampugalian merupakan kemampuan massa batuan untuk digali dengan alat gali mekanis konvensional. Penentuan kriteria kemampugalian perlu dilakukan investigasi lapangan seperti pemetaan struktur geologi, kondisi struktur geologi, tingkat pelapukan dan air tanah yang mengacu kepada *International Rock Society Mechanics* [1]. Penelitian ini menggunakan bagan klasifikasi *Geological Strength Index* untuk menentukan kriteria kemampugalian peledakan (*blasting*), pemukul dan peledakan (*hammer and blasting*), penggaruan (*ripping*), dan penggalian (*digging*) pada massa batuan yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan *Geological Strength Index* untuk penilaian kriteria kemampugalian massa batuan (a) kekuatan massa batuan  $I_{S50} \leq 3$  MPa, (b) kekuatan massa batuan  $I_{S50} \geq 3$  MPa [11]

Secara garis besar alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Alur penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian termasuk dalam formasi geologi Gmlm atau endapan lahar muda berupa bongkah andesit basalt meruncing tanggung di dalam matriks lanau dan pasir lepas, termasuk dalam endapan lahar yang terjadi pada tahun 1840, tahun 1897 dan tahun 1907 [9]. Pengambilan contoh batuan pada titik-titik lokasi penelitian yang mewakili keadaan batuan sejenis yang diteliti lebih lanjut di laboratorium. Metode sampling adalah metode untuk contoh batuan dari massa batuan yang dapat diambil untuk dianalisis sifat mekaniknya. Pada penelitian ini metode grab sampling digunakan untuk pengambilan contoh batuan, diperoleh dua litologi singkapan batuan yakni batuan andesit segar berwarna abu-abu muda sampai abu-abu tua (AM<sub>1-3</sub>) dan bantuan andesit terkekarkan atau lapuk berwarna merah kehitaman (AF<sub>1-3</sub>).



Gambar 4. Pengambilan conto batuan di lokasi Penelitia

Pemetaan bidang diskontinuitas berupa kekar di lapangan dilakukan pada 9 titik pengukuran, hasil yang diperoleh berupa orientasi atau kedudukan dari singkapan massa batuan, panjang dari garis bentangan atau *scanline* [1], spasi kekar, jumlah bidang diskontinuitas atau kekar dan informasi litologi dari singkapan massa batuan yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pemetaan Bidang Diskontinuitas

Titik Pengukuran	Orientasi DD/Dip	Panjang scanline (m)	Spasi kekar (m)	Jumlah Kekar	Litologi
1	177°/90°	24.14	0,513	30	Andesit Massive (AM)
2	333°/4°	12.55	0,129	31	Andesit Fracture (AF)
3	266°/8°	13.01	0,239	34	Andesit Fracture (AF)
4	155°/57°	9.05	0,202	30	Andesit Fracture (AF)
5	195°/29°	8.01	0,171	30	Andesit Fracture (AF)
6	225°/10°	21.50	0,425	30	Andesit Massive (AM)
7	330°/80°	11.74	0,222	33	Andesit Fracture (AF)
8	140°/60°	12.68	0,230	34	Andesit Fracture (AF)
9	103°/90°	19.60	0,292	31	Andesit Massive (AM)

Pengujian laboratorium dilakukan dengan beberapa tahapan yakni preparasi conto uji sesuai dengan kebutuhan pengujian, preparasi menggunakan pendekatan ISRM (1989) [2] dengan rasio geometri conto uji L/D 2. Pengujian kuat tekan uniaksial (UCS) untuk mendapatkan nilai kuat tekan uniaksial ( $\sigma_c$ ) diperoleh nilai kuat tekan conto uji (AM<sub>1-3</sub>) adalah 57,68 MPa dan conto uji (AF<sub>1-3</sub>) adalah 49,02 MPa. Selanjutnya ditentukan nilai *Point Load Index* (PLI) menggunakan persamaan (1) maka diperoleh nilai PLI untuk conto batuan AM<sub>1-3</sub> sebesar 2,508 MPa dan conto batuan AF<sub>1-3</sub> sebesar 2,131 MPa.

## Geological Strength Index

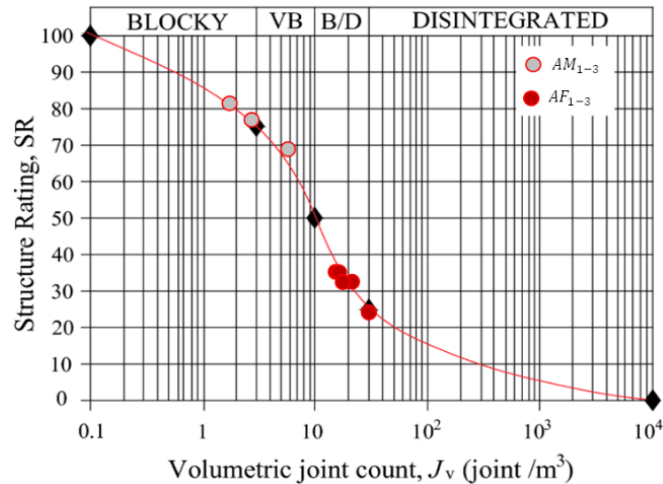
### a. *Structure Rating*, SR

Hasil pemetaan bidang diskontinuitas yang ditunjukkan pada Tabel 2 kemudian diolah untuk menentukan nilai Joint Volumetric (Jv) menggunakan persamaan (2) diperoleh hasil Jv sebagai berikut.

Tabel 2. Nilai *Joint Volumetric*, Jv pada lokasi penelitian

Titik Pengukuran	Panjang scanline (m)	Jumlah Kekar	Joint Volumetric (m <sup>3</sup> /joint)
1	24.14	30	1.919
2	12.55	31	15.071
3	13.01	34	17.849
4	9.05	30	36.427
5	8.01	30	52.537
6	21.50	30	2.7167
7	11.74	33	22.209
8	12.68	34	19.279
9	19.60	31	3.957

Berdasarkan Tabel 2, nilai Jv kemudian nilai Jv diplot ke dalam grafik hubungan Jv dan *Structure Rating*, SR (Gambar 5) [6], maka nilai *Structure Rating*, SR dapat ditentukan. Nilai SR dan kondisi struktur ditunjukkan pada Tabel 3.

Gambar 5. Penentuan nilai *Structure Rating*, SR [6]

Nilai SR yang diperoleh berdasarkan Gambar 5, nilai SR menunjukkan struktur batuan/ *rock structure* sangat blok/terganggu (*BLOCKY/DISTURBED*) sampai dengan blok hancuran (*DISINTEGRATED*)

Tabel 3. Nilai *Structure Rating*, SR

Titik Pengukuran	<i>Joint Volumetric</i> (m <sup>3</sup> /joint)	SR	<i>Rock Structure</i>
1	1.919	81	<i>BLOCKY</i> -very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical formed by three orthogonal discontinuity sets
2	15.071	35	<i>BLOCKY/DISTURBED</i> -folded and/or faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets
3	17.849	35	<i>BLOCKY/DISTURBED</i> -folded and/or faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets
4	36.427	23	<i>DISINTEGRATED</i> -poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture or angular and rounded rock pieces
5	52.537	20	<i>DISINTEGRATED</i> -poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture or angular and rounded rock pieces
6	2.717	81	<i>BLOCKY</i> -very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical formed by three orthogonal discontinuity sets
7	22.209	42	<i>BLOCKY/DISTURBED</i> -folded and/or faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets
8	19.279	50	<i>DISINTEGRATED</i> -poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture or angular and rounded rock pieces
9	3.957	70	<i>BLOCKY/DISTURBED</i> -folded and/or faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets

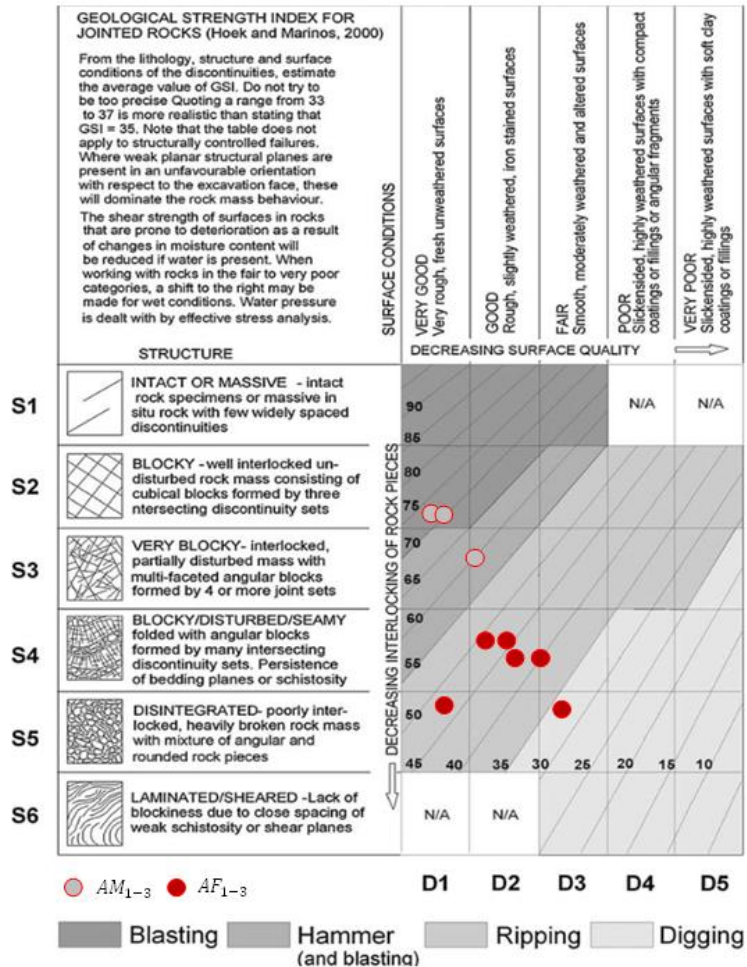
### b. *Surface Condition Rating*, SCR

*Surface Condition Rating* (SCR) ukuran blok dan bentuk menunjukkan geometri massa batuan keseluruhan dan proporsi volume batuan yang ditempati oleh diskontinuitas dan kondisi permukaan atau *Surface Condition Rating* (SCR) berdasarkan pengamatan stuktur (ukuran blok dan bentuk) dan kondisi permukaan diskontinuitas (pelapukan, derajat kekasaran, dan alterasi). Tabel 4 menunjukkan kualitas struktur bidang diskontinuitas pada lokasi penelitian berada pada kualitas sangat bagus (D1) sampai cukup (D3).

Tabel 4. Pembobotan Nilai *Structure Condition Rating*, SCR

Titik Pengukuran	<i>Surface Condition Rating, SCR</i>				
	<i>Roughness Rating, Rr</i>	<i>Weathering Rating, Rw</i>	<i>Infilling Rating, Rf</i>	<i>Discontinuity Structure</i>	
1	5	5	6	16	D1
2	3	6	6	15	D1
3	5	3	6	14	D2
4	5	6	6	17	D1
5	5	3	0	8	D3
6	5	6	6	17	D1
7	5	6	2	13	D2
8	3	6	2	11	D2
9	5	3	6	14	D2

Berdasarkan hasil pembobotan nilai SR (Tabel 3) dan nilai SCR (Tabel 4), dan nilai PLI 2.131 – 2.795 MPa maka penentuan nilai GSI menggunakan bagan *Geological Strength Index* kekuatan massa batuan  $I_{S50} \leq 3$  MPa [11]



Gambar 6. Grafik *Geological Strength Index* kekuatan massa batuan  $I_{S50} \leq 3$  MPa

Tabel 5. Pembobotan Nilai Geological Strength Index [6]

Titik Pengukuran	<i>Geological Strength Index</i>	<i>Structure Rating, SR</i>	<i>Rock Structure</i>	<i>Surface Condition Rating, SCR</i>	<i>Discontinuity Structure</i>
1	70	81	S2	16	D1
2	48	35	S4	15	D1
3	47	35	S4	14	D2
4	48	23	S5	17	D1
5	29	20	S5	8	D3
6	73	81	S2	17	D1
7	40	32	S4	13	D2
8	45	32	S4	11	D2
9	61	70	S3	14	D2

### Penentuan Kriteria Kemampugalian

Berdasarkan penentuan nilai *Geological Strength Index* yang diperoleh dari perhitungan berbagai parameter penting meliputi peringkat struktur (SR) dan peringkat kondisi permukaan kekar (SCR), maka kriteria kemampugalian massa batuan pada lokasi penelitian berdasarkan nilai GSI ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kriteria Kemampugalian menggunakan *Geological Strength Index*

Titik Pengukuran	Litologi, Kode	<i>Geological Strength Index</i>	Structure Discontinuity	$I_{S50}$ MPa	Kriteria Penggalian
1	Andesit Massive (AM)	70	S2D1	2.795	Peledakan/ <i>Blasting</i>
2	Andesit Fracture (AF)	48	S4D1	2.131	Penggaruan/ <i>Ripping</i>
3	Andesit Fracture (AF)	47	S4D2	2.131	Penggaruan/ <i>Ripping</i>
4	Andesit Fracture (AF)	48	S5D1	2.131	Penggaruan/ <i>Ripping</i>
5	Andesit Fracture (AF)	29	S5D3	2.131	Penggalian/ <i>Digging</i>
6	Andesit Massive (AM)	73	S2D1	2.795	Peledakan/ <i>Blasting</i>
7	Andesit Fracture (AF)	40	S4D2	2.795	Penggaruan/ <i>Ripping</i>
8	Andesit Fracture (AF)	45	S4D2	2.131	Penggaruan/ <i>Ripping</i>
9	Andesit Massive (AM)	61	S3D2	2.795	Pemecah/ <i>Hammer</i>

Penilaian kemampugalian menggunakan GSI dengan kekuatan massa batuan  $I_{S50} \leq 3$  MPa diklasifikasikan dalam bagan GSI yang ditunjukkan pada Gambar 6. Tabel 6 menyajikan data mengenai litologi, karakteristik massa batuan dan kriteria penggalian. Terlihat bahwa kriteria penggalian peledakan/ *blasting* diperlukan pada massa batuan blok dengan kondisi diskontinuitas sangat baik (S2D2) dengan nilai GSI 70-73, dan  $I_{S50}$  2.795 MPa. Pemecahan digunakan pada kondisi batuan serupa (S3D2) dengan nilai GSI 61 dan  $I_{S50}$  2.795 MPa. Sebagian besar massa batuan memiliki struktur blok/terganggu/berlapis (S4D1 s/d S5D1) dapat digaru/ *ripping* dengan nilai GSI 40 hingga 48 dan  $I_{S50}$  2.131 MPa. Massa batuan dengan bidang diskontinuitas hancuran, hancur dan terlaminasi/tergeser serta kondisi permukaan bidang diskontinuitas yang buruk (S5D3) digali menggunakan peralatan penggalian dengan nilai GSI 29 dan  $I_{S50}$  2.131 MPa.



#### 4.0 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis penentuan kriteria kemampugalian massa batuan menggunakan *Geological Strength Index* didapat beberapa kesimpulan, yaitu Kriteria kemampugalian pada massa batuan *Andesite Massive* (AM) dengan nilai *Geological Strength Index* 70 (S2D1), *Geological Strength Index* 73 (S2D1) dan *Point Load Index* sebesar 2.795 MPa adalah peledakan/*blasting*. Kriteria kemampugalian pada massa batuan *Andesite Massive* (AM) dengan nilai *Geological Strength Index* 61 (S3D2), dan *Point Load Index* sebesar 2.795 MPa adalah pemukul/*hammer*. Kriteria kemampugalian pada massa batuan *Andesite Fracture* (AF) dengan nilai *Geological Strength Index* 40-48 (S4D1 – S5D1) dan *Point Load Index* sebesar 2.131 MPa adalah penggaruan/*ripping*. Kriteria kemampugalian pada massa batuan *Andesite Fracture* (AF) dengan nilai *Geological Strength Index* 29 (S5D3) dan *Point Load Index* sebesar 2.131 MPa adalah penggalian/*digging*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah berperan dalam penelitian Penentuan Kriteria Kemampugalian Massa Batuan Andesit menggunakan *Geological Strength Index*, sehingga penelitian ini dapat di selesaikan dengan baik.

#### REFERENSI

- [1] M. G. Culshaw, "Ulusay, R (ed.), 2015. The ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 2007–2014: Cham, Switzerland: Springer. DOI 10.1007/978-3-319-007713-0," *Bull. Eng. Geol. Environ.*, vol. 74, no. 4, hal. 1499–1500, 2015.
- [2] D. C. Wyllie dan C. Mah, *Rock slope engineering*. CRC Press, 2004.
- [3] J. A. Franklin, "Suggested method for determining point load strength," in *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 1985, vol. 22, no. 2, hal. 51–60.
- [4] M. J. Tilkens, C. Wall-Scheffler, T. D. Weaver, dan K. Steudel-Numbers, "The effects of body proportions on thermoregulation: an experimental assessment of Allen's rule," *J. Hum. Evol.*, vol. 53, no. 3, hal. 286–291, 2007.
- [5] Z. T. Bieniawski, "Geomechanics classification of rock masses and application in tunneling.," *Proc., 3rd Int. Cong. Rock Mech.*, hal. 27–32, 1974.
- [6] P. Marinos dan E. Hoek, "GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation," in *ISRM international symposium*, 2000, hal. ISRM-IS.
- [7] P.G.F., "Rock slope engineering," *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, vol. 15, no. 1, 1978, doi: 10.1016/0148-9062(78)90720-9.
- [8] Q. Zhang *et al.*, "A modified Hoek-Brown failure criterion for unsaturated intact shale considering the effects of anisotropy and hydration," *Eng. Fract. Mech.*, vol. 241, hal. 107369, 2021.
- [9] S. Bronto, R. D. Hadisantono, dan J. P. Lockwood, *Peta geologi Gunungapi Gamalama, Ternate, Maluku Utara 1: 25,000 [Indonesia]*. Direktorat Vulkanologi, 1982.
- [10] R. Karim dan S. Suriadi, "KAJIAN KARAKTERISTIK BATUAN BEKU ANDESIT SEBAGAI BAHAN BANGUNAN DI DAERAH SULAMADAHA KECAMATAN TERNATE BARAT KOTA TERNATE," 2019.
- [11] G. Tsiambaos dan H. Saroglou, "Excavatability assessment of rock masses using the Geological Strength Index (GSI)," *Bull. Eng. Geol. Environ.*, vol. 69, no. 1, hal. 13–27, 2010, doi: 10.1007/s10064-009-0235-9.