

ANALISIS KARAKTERISTIK KEKASARAN PERMUKAAN BIDANG DISKONTINU PADA BATUAN HASIL ERUPSI GUNUNG SEMERU

Diana Irmawati Pradani¹, Heru Dwiriawan Sutoyo², Agus Suhardono¹, Harsalim Aimunandar
Jayaputra¹

¹Prodi Teknologi Pertambangan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang, Malang

²Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Yogyakarta

Email Penulis: dianapradani@polinema.ac.id

Naskah Diterima: 4 Mei 2023/Revisi: Juni 2023 /Disetujui: Juni 2023

ABSTRAK

Batuan yang terbentuk di permukaan bumi mempunyai sifat serta karakteristik yang bervariasi sejak batuan tersebut terbentuknya hingga proses pengendapan. Hasil letusan Gunung Semeru yang telah dikeluarkan akan mengalami transportasi dan pengendapan dan akan menjadi massa batuan. Massa batuan yang berada di alam memiliki sifat tidak menerus atau diskontinu yang disebabkan karena terdapat bidang lemah seperti rekahan, kekar, patahan dan *fissure* yang dimana kerapatan, isian dan orientasi dari bidang lemah tersebut tidak menerus. Bidang diskontinu yang terdapat pada massa batuan akan menghasilkan berkurangnya kekuatan geser pada batuan tersebut. Kondisi kekasaran pada bidang diskontinu dapat dikuantifikasi menggunakan persamaan empirik dari Barton dengan menggunakan parameter *Joint Roughness Coefficient* (JRC). Oleh sebab itu penting sekali untuk mengetahui karakteristik massa batuan yang dipengaruhi oleh kekuatan geser bidang diskontinu pada batuan letusan Gunung Semeru berdasarkan variasi kekasaran bidang geser menurut kriteria Barton dan Choubey. Pengamatan kondisi kekasaran bidang diskontinu pada batuan hasil letusan Gunung Semeru dikualifikasikan guna mendapatkan beberapa parameter kekuatan geser batuan sehingga nilai undulasi serta kohesi dan sudut gesek dalam permukaan bidang diskontinu dapat diketahui. Hasil penelitian ini didapatkan nilai JRC kekasaran bidang diskontinyu batuan hasil erupsi Gunung Semeru berkisar antara 10 – 20 dan berdasarkan rujukan yang diberikan oleh ISRM (1981) memiliki nilai dengan kategori V (undulasi halus) atau *smooth undulating*.

Kata kunci: Kekasaran; diskontinu; *Joint Roughness Coefficient*

ABSTRACT

Rocks that form on the surface of the earth have varying properties and characteristics from the time they were formed to the deposition process. The results of the eruption of Mount Semeru that have been released will experience transportation and deposition and will become rock masses. Rock masses in nature have discontinuous or discontinuous properties caused by weak areas such as fractures, joints, fractures and fissures where the density, filling and orientation of the weak areas are not continuous. Discontinuous planes present in the rock mass will result in reduced shear strength of the rock. Roughness conditions in discontinuous planes can be quantified using Barton's empirical equation using the Joint Roughness Coefficient (JRC) parameter. Therefore, it is very important to know the rock mass characteristics that are affected by the shear strength of discontinuous planes in the eruption rock of Mount Semeru based on variations in shear roughness according to Barton and Choubey's criteria. Observation of discontinuous plane roughness conditions in rocks resulting from the eruption of Mount Semeru is qualified in order to obtain several rock shear strength parameters so that the undulation and cohesion values and friction angles in the surface of the discontinuous plane can be known. The results of this study showed that the JRC roughness value of discontinuous rock areas resulting from the eruption of Mount Semeru ranged from 10 – 20 and based on the reference given by ISRM (1981) it has a value in category V (smooth undulation).

Keywords: Roughness; discontinuous; *Joint Roughness Coefficient*

PENDAHULUAN

Gunung Semeru bertipe Strato dengan tipe letusan Vulkanian-Srombolian merupakan salah satu jenis letusan yang mempunyai rentan waktu yang hampir sama pada setiap letusannya sehingga letusan dapat terjadi setiap beberapa kali dalam rentan waktu yang sama pula. Material-material yang dihasilkan akibat letusan ini dapat berupa bom, lipari, lapilli, abu vulkanik dan juga bahan padat atau cair seperti lava. Dampak dari hasil letusan Gunung Semeru menghasilkan beberapa kerusakan di area sekitar, namun material dalam bentuk batuan yang dikeluarkan dapat dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan konstruksi sipil dari proses penambangan. Desa Supiturang, Kecamatan Pronojiwo, Kabupaten Lumajang merupakan salah satu daerah terdampak dari letusan Gunung Semeru yang terjadi pada akhir tahun 2021.

Batuan hasil dari letusan Gunung Semeru tersebut yang mengalir disepanjang aliran sungai kemudian tertransportasi hingga ke hulu sehingga menjadikan potensi pada daerah tersebut dilakukan kegiatan pertambangan dengan komoditas batu dan pasir. Hasil letusan Gunung Semeru yang telah dikeluarkan akan mengalami transportasi dan pengendapan dan akan menjadi massa batuan. Massa batuan yang berada di alam memiliki sifat tidak kontinu (diskontinu) hal ini disebabkan adanya bidang lemah seperti rekahan, kekar, patahan dan fissure sehingga kerapatan, perluasan dan orientasi dari bidang-bidang lemah tersebut menjadi tidak kontinyu (Rai et al., 2014). Dengan adanya bidang lemah (diskontinu) pada suatu massa batuan dapat mempengaruhi nilai kekuatan geser batuan tersebut. Pengaruh bidang lemah tersebut menjadi parameter berkurangnya kekuatan geser batuan (Kartini, 2017).

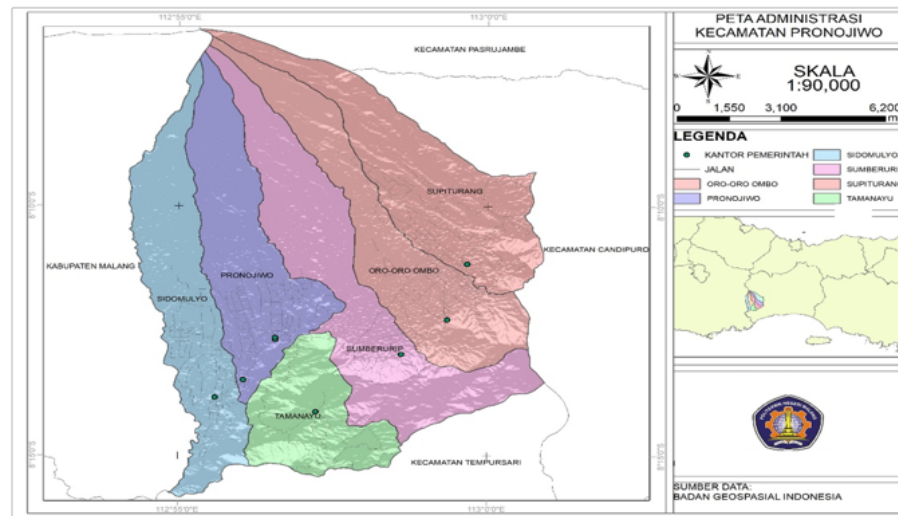
Oleh sebab itu penting sekali untuk mengetahui karakteristik massa batuan yang dipengaruhi oleh kekuatan geser bidang diskontinu pada batuan letusan Gunung Semeru berdasarkan variasi kekasaran bidang geser menurut kriteria Barton dan Choubey. Pengamatan pada kondisi kekasaran bidang lemah (diskontinu) dikualifikasikan menggunakan persamaan empirik Barton dengan memasukkan parameter *Joint Roughness Coefficient* (JRC) sehingga nilai undulasi permukaan bidang diskontinu dapat diketahui. Parameter yang telah disebutkan dapat diperoleh dengan melakukan pengujian kuat geser langsung di laboratorium. Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran kekasaran permukaan bidang geser dengan menentukan nilai *Joint Roughness Coefficient* (JRC) secara visual dengan pengamatan langsung dan mencocokkan dengan penampang kekasaran berdasarkan variasi kekasaran bidang geser menurut kriteria Barton dan Choubey. Tujuan penelitian ini yaitu mengidentifikasi nilai JRC dari batuan hasil erupsi Gunung Semeru serta mendapat klasifikasi kekasaran bidang sesuai dengan kriteria Barton dan Choubey.

METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Tambang Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang dengan sample yang digunakan berasal dari batuan hasil letusan Gunung Semeru yang terletak di Desa Supiturang, Kecamatan Pronojiwo, Kabupaten Lumajang (Gambar 1). Penelitian ini diperlukan durasi waktu selama 7 bulan terhitung tanggal 2 maret 2022 – 31 oktober 2022 terhitung mulai dari pengambilan sampel batuan, preparasi sampel, pengujian sampel dan analisis terhadap hasil uji sampel. Variable yang akan diteliti adalah karakteristik

profil kekasaran permukaan bidang pada batuan hasil letusan Gunung Semeru. Tahapan pelaksanaan penelitian dibagi dalam beberapa tahap yaitu (Gambar 2):

- Tahap persiapan: tahap ini semua bahan, data dan peralatan yang akan digunakan telah dipersiapkan terlebih dahulu agar penelitian dapat berjalan dengan lancar.
- Tahap pengujian: pada tahap ini dilakukan berbagai pengujian mulai dari preparasi sampel dan proses pengujian sifat fisik dan kuat geser sehingga diperoleh nilai kohesi, sudut gesek dalam, nilai kuat geser, dan profil permukaan kekasaran bidang geser
- Tahap analisis dan pembahasan: selanjutnya dalam tahap ini ialah mengidentifikasi permukaan bidang geser sesuai dengan kriteria Barton dan Choubey berdasarkan beberapa pengujian yang telah dilakukan
- Tahap kesimpulan: tahap ini akan dibuat satu kesimpulan yang berdasarkan analisis data dan pembahasannya.



Gambar 1 Daerah Penelitian (Sumber: *Badan Geospasial Indonesia*)

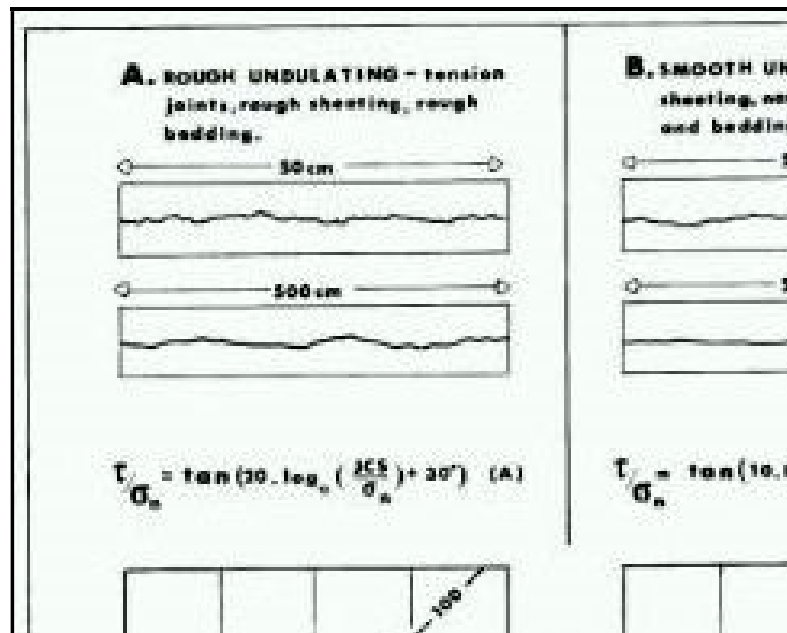


Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Batuan adalah suatu material kompleks penyusun dari permukaan bumi yang memiliki berbagai variasi sifat yang sangat luas, mulai dari jenis batuan, mineralogi, ukuran butir serta struktur pembentuknya. Batuan yang keberadaanya di alam sering disebut juga sebagai massa batuan. Selain itu massa batuan dapat diistilahkan sebagai jointed rock masses yang merupakan gabungan dari blok dan partikel angular batuan brittle yang saling mengunci. Blok dan partikel tersebut dipisahkan oleh bidang-bidang ketidakmenerusan dan bidang lemah dalam bentuk kekar, patahan, bidang perlapisan yang bisa jadi diisi oleh material lunak (Rai et al., 2014). Informasi detail dari formasi batuan sangat diperlukan dalam keberhasilan mengevaluasi permasalahan geoteknik. Batuan memiliki sifat-sifat atau karakteristik tertentu yang dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu:

- a. Sifat fisik yang terdiri dari bobot isi batuan, porositas, kadar air, derajat kejenuhan dan void ratio.
- b. Sifat mekanik yang terdiri dari nilai kuat tekan, modulus elastisitas, nisbah Poisson, nilai kuat tarik, nilai kuat geser, kohesi dan sudut gesek dalam.

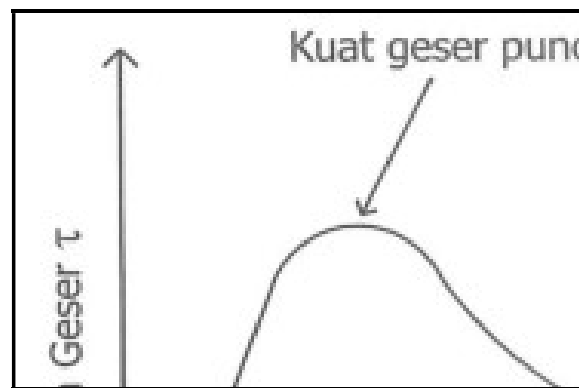
Batuan Gunung Semeru yang diuji memiliki permukaan bidang geser dengan permukaan bidang diskontinu, dimana permukaan bidang geser tersebut memiliki kekasaran yang berbeda. Perbedaan kekasaran permukaan bidang geser tersebut kemudian diklasifikasikan menjadi permukaan kasar (*rough*), permukaan halus (*smooth*) dan permukaan mendekati lurus (*smooth nearly planar*) sesuai *International Society for Rock Mechanics* (Patton, 1966) (Gambar 3).



Gambar 3 Pengklasifikasian Kekasaran Permukaan Bidang Geser (ISRM 1981)

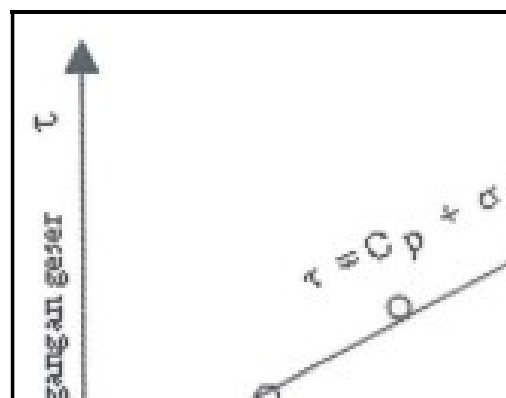
Kuat geser batuan merupakan suatu perlawanan gaya internal dari batuan terhadap tegangan yang bekerja disepanjang bidang geser pada batuan tersebut, yang terjadi akibat pengaruh dari karakteristik intrinsik dan factor eksternal (Rai et al., 2014) (Gambar 4). Lebih dari sebagian massa batuan memiliki bidang diskontinu dan bidang lemah seperti kekar, patahan, bidang perlapisan dan sesar (Hoek & Bray, 1981). Suatu material yang berada pada kedalaman yang

relative dangkal dimana berbagai tegangan yang bekerja sangat rendah atau dapat diabaikan, deformasi maupun keruntuhan yang terjadi pada batuan utuh (*intact rock*) dan massa batuan lebih banyak dipengaruhi dan dikendalikan oleh bidang luncur pada bidang diskontinu. Selain itu hal yang dapat mempengaruhi adalah sifat fisik dari butiran batuan utuh (*intact rock*) diantara bidang luncur atau gesernya. Kuat geser batuan dibagi menjadi dua jenis, yaitu kuat geser puncak (*peak*) dan kuat geser residu (sisa). Pada perpindahan batuan yang relatif kecil, batuan akan mengikuti perilaku elastik. Hal ini dapat dilihat dengan adanya hubungan linier antara tegangan geser dan perpindahan (*displacement*). Setelah melewati tahap elastik, batuan akan mengalami suatu deformasi plastis dan kemudian mengalami runtuh (*failure*) ketika tegangan yang bekerja telah mencapai atau melebihi kekuatan geser puncak batuan. Setelah terjadinya keruntuhan, tegangan geser yang digunakan dalam penggeseran batuan akan mengalami penurunan sehingga mencapai nilai yang konstan yang disebut dengan kekuatan sisa batuan. Pada batuan yang bersifat *ductile*, deformasi plastis masih tetap terjadi namun tidak diikuti dengan penurunan tegangan geser.



Gambar 4 Kurva Hasil Tegangan Dan Perpindahan Geser Dengan Nilai Tegangan Normal Konstan (Rai et al., 2014)

Apabila hasil nilai kuat geser pada kondisi puncak dan sisa yang diperoleh dari hasil pengujian kuat geser langsung dengan tingkat tegangan normal yang berbeda-beda diplotkan dalam suatu grafik regresi, maka akan diperoleh suatu garis yang disebut dengan “Garis Kekuatan Mohr-Coulomb” (Gambar 5).



Gambar 5 Garis Kekuatan Mohr-Coulomb (Rai et al., 2014)

Hubungan yang dihasilkan antara kuat geser (τ) dan tegangan normal (σ) dapat dirumuskan dengan persamaan Mohr-Coulomb .

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

Dimana τ merupakan nilai dari kuat geser batuan, c merupakan nilai kohesi batuan yang telah diuji. σ merupakan nilai dari tegangan normal batuan dan ϕ merupakan sudut gesek dalam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengujian Sampel Batuan

Pengujian sampel batuan dilakukan di Laboratorium Tambang Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang. Metode Pengujian yang dilakukan antara lain: uji sifat fisik batuan, uji index *point load*, digitasi kekasaran bidang permukaan dengan alat profilometer dengan conto batuan adalah batuan piroklastik hasil letusan Gunung Semeru, Kabupaten Lumajang, Jawa Timur (Gambar 6).

b. Uji Sifat Fisik

Sifat fisik batuan yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan agar memperoleh beberapa parameter fisik batuan seperti: bobot isi asli batuan (*natural density*), bobot isi kering batuan (*dry density*), bobot isi jenuh batuan (*saturated density*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*), berat jenis nyata (*true specific gravity*), kadar air asli batuan (*natural water content*), kadar air jenuh batuan (*absorption*), derajat kejenuhan, porositas (n) dan *void ratio* (e) (Tabel 1).



Gambar 6 Sampel Batuan

Tabel 1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Batuan

Parameter	Sampel						Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	
Bobot Isi Asli (gr/cm ³)	1.89	1.92	2.09	2.15	1.39	1.87	1.89
Bobot Isi Kering (gr/cm ³)	1.87	1.92	2.07	2.14	1.38	1.86	1.87
Bobot Isi Jenuh (gr/cm ³)	1.98	2.01	2.10	2.17	1.43	1.98	1.94
Apparent Specific Gravity	2.18	2.19	2.13	2.21	1.48	2.23	2.07
True Specific Gravity	2.11	2.10	2.13	2.21	1.45	2.11	2.02
Kadar Air Asli (%)	1.08	0.24	0.73	0.54	0.69	0.28	0.59
Kadar Air Jenuh (%)	5.97	4.57	1.35	1.41	3.27	6.32	3.81
Derajat Kejenuhan (%)	18.10	5.15	54.05	38.64	21.26	4.46	23.61
Porositas (%)	11.17	8.77	2.80	3.01	4.51	11.79	7.01
Porositas	0.11	0.09	0.03	0.03	0.05	0.12	0.07
Angka Pori	0.13	0.10	0.03	0.03	0.05	0.13	0.08

c. Uji Point Load Batuan

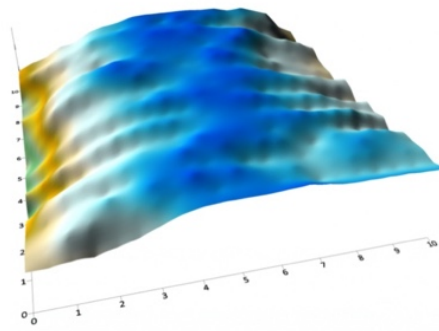
Uji beban titik (*point load index*) merupakan uji indejs yang digunakan untuk memprediksi nilai UCS atau nilai kuat tekan suatu batuan secara tidak langsung di lapangan. Hal ini cukup mempresentasikan nilai kekuatan batuan sebelum dilakukan validasi di laboratorium. Hasil ini disebabkan prosedur pengujian yang sederhana, preparasi conto yang mudah dan dapat dilakukan langsung di lapangan. Peralatan yang digunakan cukup mudah untuk dibawa, tidak begitu besar dan cukup ringan sehingga dapat dengan cepat diketahui kekuatan batuan di lapangan, sebelum dilakukan pengujian di laboratorium (Tabel 2).

Tabel 2 Hasil Pengujian Point Load Batuan

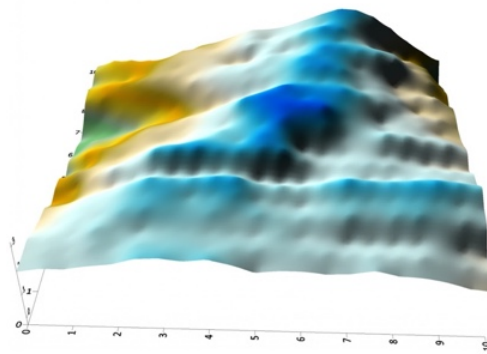
Parameter	Sampel	
	Tidak Terekspos	Terekspos
Uji Point Load (kN)	6.42	5.86
De ²	71.17	57.19
De	8.44	7.56
F	0.45	0.43
IS (N/cm ²)	40.48	43.81
Kuat Tekan (MPa)	11.66	12.62

d. Digitasi Kekasaran Batuan

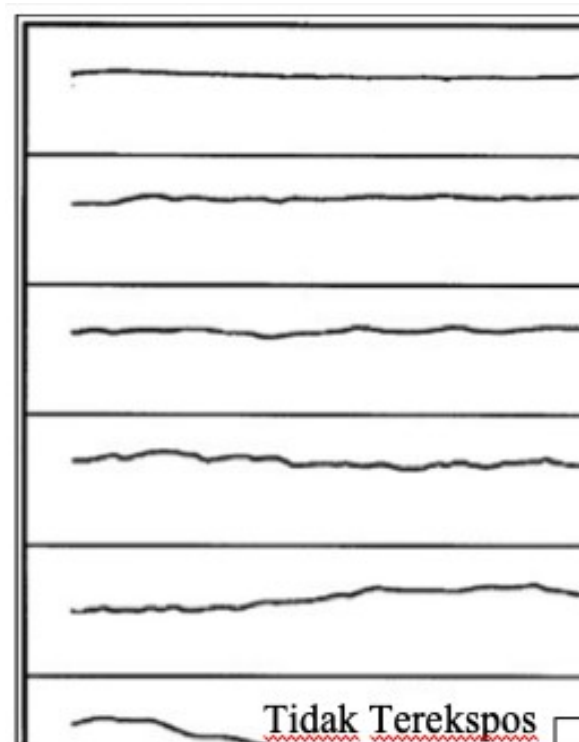
Kegiatan digitasi dilakukan untuk mendapatkan profil kekasaran permukaan bidang dan bentuk penampang dari kekasaran bidang conto. Kegiatan ini dilakukan pada dua kondisi sampel batuan yaitu pada permukaan yang terekspos dan permukaan yang tidak tereskspos. Digitasi permukaan bidang kekasaran dilakukan dengan menggunakan alat profilometer. Hasil dari pembacaan Profilometer berupa titik-titik koordinat yang selanjutnya dimodelkan menjadi kontur-kontur permukaan bidang kekasaran (Gambar 7 dan Gambar 8).



Gambar 7 Hasil Digitasi Kekasaran Batuan Terekspos

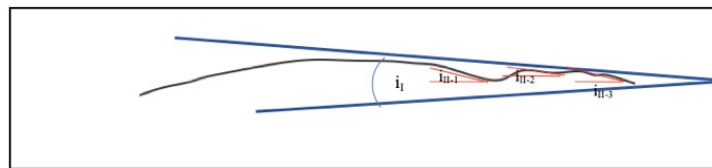


Gambar 8 Hasil Digitasi Kekasaran Batuan Tidak Terekspos.



Gambar 9 Hasil Interpretasi Profil Kekasaran

Nilai JRC batuan hasil Gunung Semeru dengan permukaan kekasaran tidak terekspos berdasarkan profil kekasaran memiliki nilai berkisar antara 10 – 12 dan berdasarkan rujukan yang diberikan oleh ISRM (1981) memiliki nilai dengan kategori V atau *smooth undulating* (Gambar 9). Sedangkan batuan hasil letusan Gunung Semeru dengan permukaan kekasaran terekspos memiliki nilai JRC berkisar 18 – 20 dan berdasarkan ISRM masuk kedalam kategori IV atau *rough/irregular undulating*. Melalui hasil digitasi bidang kekasaran tersebut disimpulkan bahwa nilai JRC dapat digunakan sebagai parameter untuk menilai variasi profil kekasaran pada batuan (Gambar 10) (Tabel 3).



Gambar 10 Profil Sudut Kekasaran Permukaan Bidang

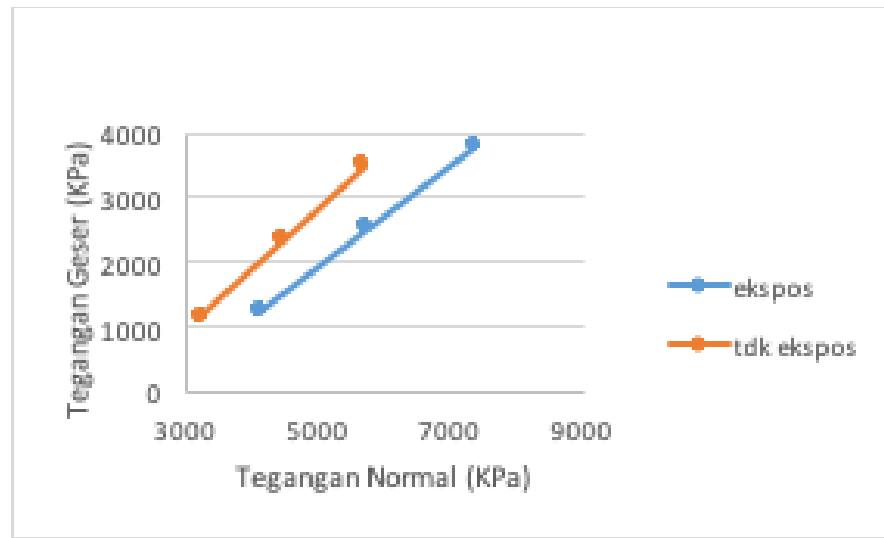
Tabel 3. Hasil Profil Sudut Kekasaran

Ordo	Sudut
i_I	47^0
i_{II-1}	50^0
i_{II-2}	36^0
i_{II-3}	52^0

Berdasarkan hasil pengujian beban titik (*index point load*) terdapat adanya perbedaan nilai indeks beban titik terhadap batuan ekspos dan tidak terekspos. Data yang diperoleh dilakukan analisa untuk mendapatkan nilai parameter kekuatan geser disetiap kondisi batuan. Pada kekasaran permukaan bidang pada batuan hasil letusan Gunung Semeru terdapat adanya perbedaan nilai kohesi, koefisien kekasaran bidang dan sudut gesek dalam. Berdasarkan dari analisa hasil pengujian didapatkan nilai kekasaran permukaan bidang geser akan berpengaruh terhadap kekuatan geser batuan hingga batas tegangan normal efektif yang bekerja (Tabel 4). Semakin besar sudut yang dibentuk oleh gelombang kekasaran permukaan bidang geser maka semakin besar nilai JRC nya dan menyebabkan nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) semakin besar (Gambar 11).

Tabel 4. Hasil Parameter Kekuatan Geser

Kondisi	Tegangan Normal (KPa)	Kuat Geser (KPa)	Kohesi (KPa)	Sudut Gesek Dalam (... ⁰)
Terekspos	3786	7355,85	2510	52
Tidak Terekspos	3498	5704,14	1953	47



Gambar 15 Grafik Perbandingan Tegangan Geser Batuan Hasil Gunung Semeru

KESIMPULAN

Nilai JRC batuan hasil Gunung Semeru dengan permukaan kekasaran tidak terekspos berdasarkan profil kekasaran permukaan bidang diskontinu dengan rujukan Barton didapatkan nilai berkisar antara 10 – 12 dan berdasarkan rujukan yang diberikan oleh (Patton, 1966) memiliki nilai dengan kategori V (undulasi halus) atau smooth undulating. Sedangkan batuan hasil letusan Gunung Semeru dengan permukaan kekasaran terekspos memiliki nilai kekasaran permukaan berdasarkan profil Barton diperoleh nilai berkisar 18 – 20 dan berdasarkan ISRM masuk ke dalam kategori IV (kasar atau undulasi acak) atau rough/irregular undulating. Melalui hasil digitasi bidang kekasaran tersebut disimpulkan bahwa nilai JRC dapat digunakan sebagai parameter untuk menilai variasi profil kekasaran pada batuan. Berdasarkan analisa yang dilakukan dengan menggunakan persamaan regresi dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan geser pada batuan yang belum terekspos lebih besar daripada batuan yang telah terekspos. Dengan perbandingan tersebut nilai kohesi dan sudut geser dalam juga akan berpengaruh nilainya pada kedua kondisi batuan. Melalui persamaan tegangan geser yang dihasilkan serta memperhitungkan profil kekasaran pada kedua kondisi batuan, batuan pada kondisi terekspos memiliki kekasaran yang cukup tinggi namun kekuatan gesernya lebih kecil daripada batuan pada kondisi tidak terekspos.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Geomekanika Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang dan seluruh pihak yang telah memberikan saran dan masukan selama berjalannya penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada reviewer atas terbitnya tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Barton N.R. (1976). *The Shear Strength of Rock and Rock Joints*. Int. J. Rock Mechanics, Min.

Sci. & Geomech.

- Barton N.R and Choubey V. (1977). *The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice, Rock Mechanics*. vol. 10.
- Barton N.R. (2013). *Shear strength criteria for rock, rock joints, rockfill and rock masses: Problems and some solutions*. International Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Budi G, et.al (2014). *Evaluation of Shear Strength of Model Rock Joints by Experimental Study*. IJRET. International Journal of Research in Engineering and Technology.
- Du S.G., Gao.H., Hu.Y., Huang.M., and Zhao.H. (2015). *A New Method for Determination of Joint Roughness Coefficient of Rock Joint*. School of Civil Engineering, Shaoxing University, China
- Giani. (1997). *Rock Slope Stability Analysis*. A.A Balkema Publisher. Rotterdam.
- Goodman R.E. (1970). *Determination of The in-situ Modulus of Deformation of Rock*. Deformability of Joints Symposium, American Society for Testing Materials.
- Grasselli G. (2001). *Shear Strength of Rock Joints Based on Quantified Surface Description*, Thesis, Italy.
- Hoek, E. and Bray, J.W. (1981) *Rock Slope Engineering*. Revised 3rd Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 341-351.
- Jang H.S. and Jang B.A. (2014). *New Method for Share Strength Determintation of Unfilled Unweathered Rock Joint*. Rock Mech Rock Eng DOI 10.1007/s00603-014-0660-3. Springer-Verlag Wien.
- Kartini., Jackie., Simangunsong G.M., and Sulistianto B. (2015). *Pengaruh Kekasaran Bidang Diskontinu Pada Hasil Uji Geser Langsung Model Kekar Batuan di Laboratorium*. Workshop & Seminar Nasional Geomekanika III. Jakarta.
- Patton F.D. (1966). *Multiple Modes of Shear Failure in Rock*. Proc. 1st Cong. ISRM (Lisbon).
- Priest S.D. (1993). *Discontinuity Analysis for Rock Engineering*. Chapman & Hall, London, page 259-297.
- Rai M.A., Kramadibrata S., & Wattimena R.K. (2014). *Mekanika Batuan*. Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang, ITB, Bandung.
- Saptono S. (2014). *Studi Kekuatan Geser Terhadap Pengaruh Kekasaran Permukaan Diaklas Batugamping*. Prosiding Seminar Nasional Kebumian Ke-7. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada.
- Sutoyo H.D. (2019). *Pengaruh Kekasaran Bidang Diskontinu Terhadap kuat Geser Batugamping Klastik dari Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah*, UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Tatone B.S.A. (2009). *Quantitative Characterization of Natural Rock Discontinuity Roughness In-Situ and in The Laboratory*. Master of Applied Science, Graduate Departement of Civil Engineering, University of Toronto.
- Wyllie D.C & Mah C.W. (2004). *Rock Slope Engineering*. Civil and Mining. Fourth Edition, Spoon Press, Madison, New York.