

## Korelasi Pekali Kekasaran Kekar (JRC) dengan Sudut Geseran Puncak Satah Ketakselanjarian Batuan Granit, Semenanjung Malaysia

(Correlation of Joint Roughness Coefficient (JRC) with Peak Friction Angles of Discontinuity Planes of Granites, Peninsular Malaysia)

T.L. GOH\*, A. GHANI RAFEK & M. HARIRI ARIFIN

### ABSTRAK

Kekasaran permukaan satah ketakselanjarian adalah parameter penting untuk penilaian kestabilan struktur pengorekan dalam jasad batuan kerana ia mempengaruhi tingkah-laku ricihan dan nilai sudut geseran puncak satah tersebut. Beberapa kaedah boleh digunakan untuk menentukan kekasaran permukaan ketakselanjarian. Kertas ini memperkenalkan satu pendekatan yang mudah dalam bentuk tiga (3) persamaan polinomial untuk mengkorelasikan sudut geseran puncak ketakselanjarian ( $\phi_p$ ) batuan granit segar, terluluhawa sedikit dan terluluhawa sederhana dengan pekali kekasaran kekar, (JRC). Persamaan polinomial ketakselanjarian batuan granit segar ialah  $\phi_{p1} = -0.071JRC^2 + 3.56JRC + 35.6$ . Persamaan polinomial ketakselanjarian batuan granit terluluhawa sedikit dan terluluhawa sederhana masing-masing ialah  $\phi_{p2} = -0.087JRC^2 + 4.32JRC + 34.1$  dan  $\phi_{p3} = -0.133JRC^2 + 5.08JRC + 29$ . Hasil kajian ini memberikan satu kaedah alternatif penganggaran nilai  $\phi_p$  satah ketakselanjarian daripada penentuan nilai PKK pada permukaan ketakselanjarian batuan granit di lapangan.

*Kata kunci:* Granit; pekali kekasaran kekar; sudut geseran puncak; ujian kemiringan

### ABSTRACT

Surface roughness is an important parameter in the evaluation of the stability of structures excavated in rock masses as it controls the shear behaviour and the value of the peak friction angle of a discontinuity plane. Several approaches can be adopted for the determination of surface roughness of discontinuities. This paper presents a simple approach in the form of three (3) polynomial equations to correlate the peak friction angle ( $\phi_p$ ) with the Joint Roughness Coefficient (JRC) for discontinuity planes in fresh, slightly weathered and moderately weathered granites. For fresh granite discontinuities, the polynomial equation is  $\phi_{p1} = -0.071JRC^2 + 3.56JRC + 35.6$ . The polynomial equations for slightly and moderately weathered granite discontinuities are  $\phi_{p2} = -0.087JRC^2 + 4.32JRC + 34.1$  and  $\phi_{p3} = -0.133JRC^2 + 5.08JRC + 29$ , respectively. These results offer an alternative method for the estimation of the  $\phi_p$  of the discontinuity planes by measuring the JRC values of the granite discontinuity planes in the field.

*Keywords:* Granites; joint roughness coefficient; peak friction angle; tilt test

### PENGENALAN

Kekasaran permukaan amat mempengaruhi tingkah-laku ricihan dan nilai sudut geseran puncak sesuatu satah ketakselanjarian. Dalam konteks ini, sifat geseran dan tekstur kekasaran permukaan satah ketakselanjarian memainkan peranan paling penting dalam penentuan kekuatan ricih ketakselanjarian tersebut.

Beberapa kaedah boleh digunakan untuk menentukan parameter ini. Barton dan Choubey (1977) mencadangkan satu kaedah untuk mengukur  $\phi_p$  berdasarkan nilai pekali kekasaran kekar (JRC), kekuatan mampatan sepaksi permukaan ketakselanjarian, sudut geseran asas ( $\phi_b$ ) dan tegasan normal. Ujian kekuatan ricih pada sampel gergaji-gigi telah dilakukan untuk menentukan sudut geseran asas ( $\phi_b$ ) dan sudut dilasi (Patton 1966). Patton (1966) melaporkan bahawa sudut dilasi yang diperolehi adalah kekasaran urutan pertama sampel. Barton (1973)

mengkaji semula hasil Patton dan mendapati bahawa kekasaran urutan kedua juga memainkan peranan dalam persamaan Patton pada tegasan normal yang rendah. Oleh itu, Barton (1973) telah mencadangkan nilai ( $\phi_b + i$ ) untuk batuan seperti batu kapur, syal, kuarzit, gneiss, amfibolit dan granit pada tegasan normal yang rendah. Sebenarnya, nilai ( $\phi_b + i$ ) merupakan  $\phi_p$  bagi permukaan ketakselanjarian yang kasar. Goh et al. (2011) telah menentukan  $\phi_b$  permukaan satah ketakselanjarian batuan granit dengan menggunakan ujian ricih terus manakala Ghani Rafek et al. (2012) menghasilkan dua rumus polinomial untuk menganggar sudut geseran puncak satah ketakselanjarian batuan syis segar dan terluluhawa sedikit. Abdul Ghani dan Goh (2012) telah menghubungkan sudut geseran puncak dengan pekali kekasaran kekar, JRC permukaan satah ketakselanjarian batuan syis segar dan terluluhawa sedikit di Semenanjung Malaysia. Ghani et

al. (2011) menggunakan pendekatan lapangan dan makmal yang berasaskan cadangan Priest (1993) dan Barton dan Choubey (1977) untuk menentukan sudut geseran asas ( $\phi_b$ ) dan sudut geseran puncak ( $\phi_p$ ) satah ketakselajaran batuan granit.

Kaedah yang dicadangkan oleh Patton (1966), Barton (1973), Barton dan Choubey (1977) serta Goh et al. (2011) melibatkan ujian dan peralatan yang mahal dan prosedur yang kompleks. Manakala rumus polinomial yang dilaporkan oleh Ghani Rafek et al. (2012) adalah khusus untuk satah ketakselajaran batuan syis.

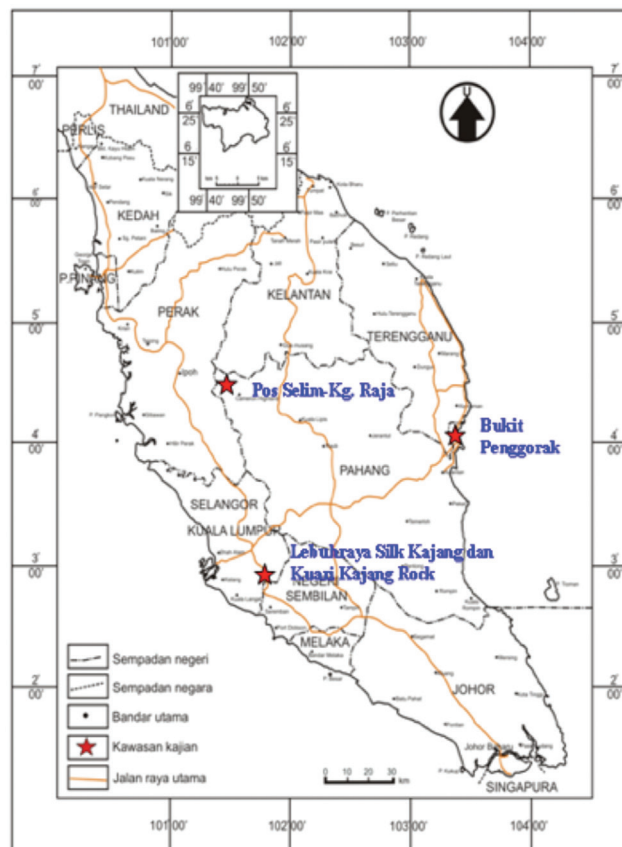
Oleh itu, dalam kajian ini, satu pendekatan yang mudah dan murah digunakan untuk mengkuantitatifkan kekasaran skala kecil permukaan ketakselajaran batuan granit. Suatu hubungan antara JRC dan  $\phi_p$  yang boleh digunakan untuk menganggar  $\phi_p$  satah ketakselajaran berdasarkan penentuan nilai JRC di lapangan bagi permukaan satah ketakselajaran batuan granit segar (gred I), terluluhawa sedikit (gred II) dan terluluhawa sederhana (gred III) dicadangkan.

#### BAHAN DAN KAEDAH

Lokasi tapak (Rajah 1) kajian adalah di JKR Kuari Bukit Penggorak, Kuantan, Pahang; Lebuhraya Silk Kajang (km 14.6), Selangor, Kuari Kajang Rock, Semenyih, Ulu Langat, Selangor dan Jalan Pos Selim-Kampung

Raja, Tanah Tinggi Cameron, Pahang/Perak (km 38-39 dan km 29-30). Blok batuan granit segar, terluluhawa sedikit dan sederhana yang mengandungi ketakselajaran semula jadi dikumpulkan dengan menggunakan tukul geologi. Keadaan luluhawa sampel batuan granit (Jadual 1) ditentukan dengan menggunakan ujian pantulan tukul Schmidt yang dicadangkan oleh Hariri et al. (2009) dan Baizura et al. (2009), mengikut kriteria yang disyorkan oleh ISRM (1981).

Kaedah pengukuran nilai JRC dan ujian kemiringan pada permukaan satah ketakselajaran batuan granit yang dilakukan mengikut cadangan Ghani Rafek et al. (2012) dan Ghani et al. (2011) iaitu blok batuan yang mengandungi satah ketakselajaran semula jadi dikumpulkan daripada tapak lapangan dan kemudian dibahagikan kepada dua (2) blok (blok atas dan bawah) sepanjang satah ketakselajaran. Sikat Barton digunakan untuk mengukur tekstur kekasaran permukaan satah ketakselajaran pada empat arah. Nilai JRC diperolehi dengan membandingkan corak bentuk sikat Barton yang terhasil daripada pengukuran pada permukaan ketakselajaran dengan profil piawai yang dicadangkan oleh Barton dan Choubey (1977). Setiap profil piawai diberi nilai JRC yang tertentu oleh Barton dan Choubey (1977). Satu peralatan ujian kemiringan buatan sendiri mengikut model Priest (1993) digunakan untuk mengukur  $\phi_p$  permukaan satah ketakselajaran tersebut di makmal.



RAJAH 1. Lokasi kawasan kajian batuan granit

JADUAL 1. Pengelasan keadaan luluhawa sampel batuan granit ditentukan dengan menggunakan ujian pantulan tukul Schmidt

Keadaan luluhawa batuan	Gred I	Gred II	Gred III
Nilai purata pantulan tukul Schmidt	51-54±0.21	33-33±0.26	16±0.30

Hariri et al. (2009) dan Baizura et al. (2009)

## GEOLOGI

### KUARI JKR BUKIT PENGGORAK KUANTAN PAHANG

Kawasan kajian ini merupakan kuari granit yang masih beroperasi. Berdasarkan kajian Arnie Salfarina (2005), litologi utama di kawasan ini ialah batuan granit berbutir halus kasar (2-60 mm) dan berwarna cerah. Bignell dan Snelling (1977) menganggarkan usia rejahan granit di kawasan ini sebagai Perm Akhir-Trias Awal.

### KUARI KAJANG ROCK DAN LEBUH RAYA SILK KAJANG SEMENYIH SELANGOR

Kuari Kajang Rock terletak bersebelahan dengan lebuhraya Silk Kajang. Granit kawasan ini berbutiran sederhana kasar (0.6-2 mm) sehingga kasar (2-60 mm) dan mengandungi mineral kuarza, feldspar dan mika (Shu 1989) serta berusia Trias (Gobbett & Hutchison 1973).

### JALAN POS SELIM-KG. RAJA (KM 29-30 DAN KM 38-39) TANAH TINGGI CAMERON PAHANG/PERAK

Kawasan kajian ini merupakan bekas kuari granit dan berusia Trias Atas (Bignell & Snelling 1977).

## HASIL DAN PERBINCANGAN

Sebanyak 5280 ujian kemiringan telah dilakukan pada satah ketakselajaran batuan granit iaitu 4080 ujian pada batuan segar (gred I), 880 ujian pada batuan terluluhawa sedikit (gred II) dan 320 ujian pada batuan granit terluluhawa sederhana (gred III). Perisian statistik, SPSS digunakan untuk menganalisis hasil ujian pada aras keyakinan 95%. JRC yang diperoleh daripada pengukuran pada kekasaran permukaan ketakselajaran batuan granit segar dengan menggunakan sikat Barton ialah 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18 dan 18-20. Untuk batuan terluluhawa sedikit, nilai JRC yang diperoleh ialah 0-2, 2-4, 10-12 dan 18-20. Manakala JRC untuk batuan terluluhawa sederhana ialah 0-2, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12 dan 16-18. Jadual 1 memaparkan ringkasan hasil statistik ujian kemiringan untuk setiap nilai JRC.

Secara umumnya, didapati sudut geseran puncak ( $\phi_p$ ) bertambah apabila nilai JRC bertambah. Sisihan piawai  $\phi_p$  batuan granit segar, terluluhawa sedikit dan terluluhawa sederhana masing-masing adalah 2.0°-11.1°, 2.4°-5.1° dan 1.3°-10.1°. Nilai purata sudut geseran puncak batuan granit segar, terluluhawa sedikit dan terluluhawa sederhana masing-masing adalah 30.7°-81.2°, 28.2°-86.3° dan 32.4°-77.9°. Didapati bahawa perbezaan nilai purata sudut geseran puncak batuan segar dengan terluluhawa sedikit

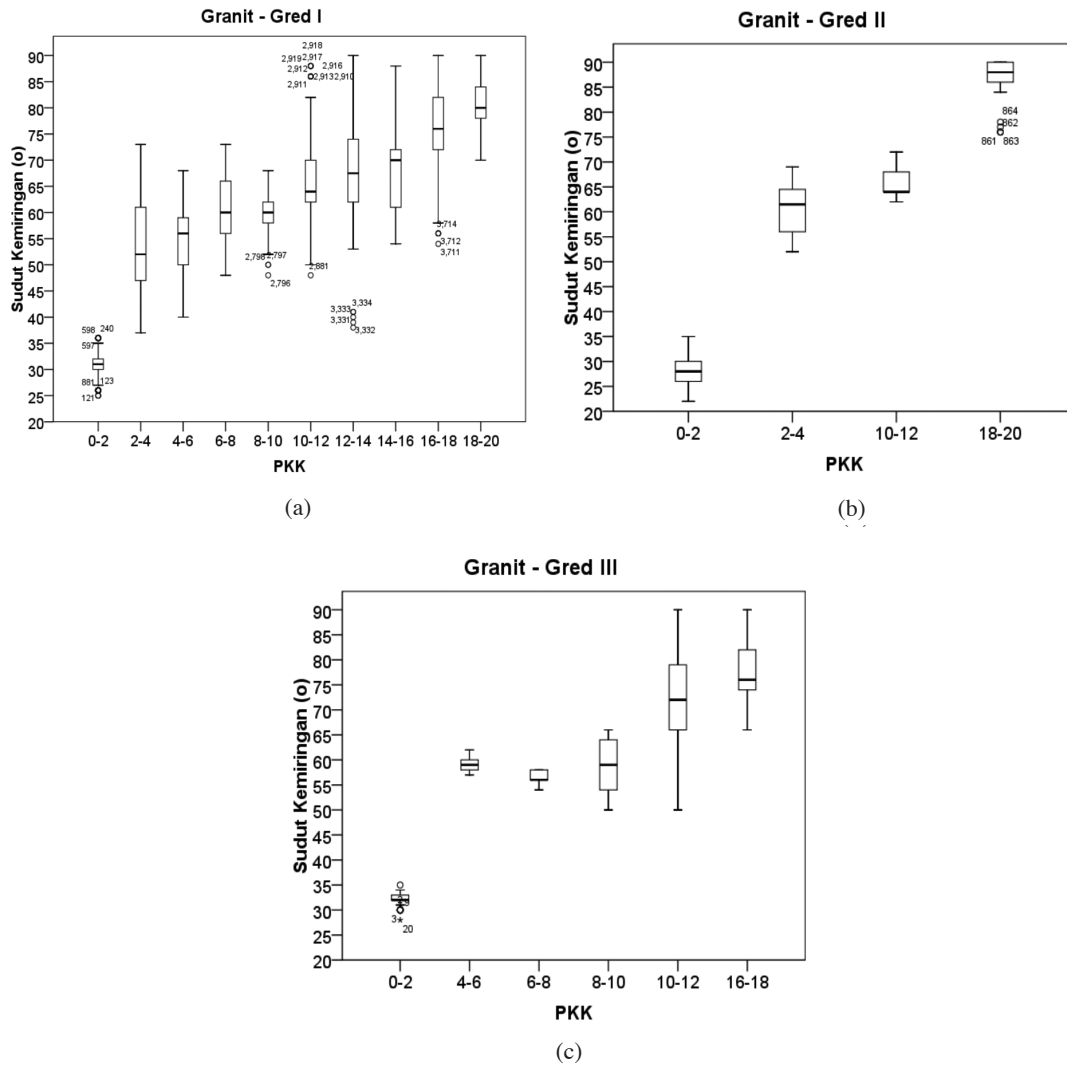
adalah antara -2.5° hingga +6.9°. Manakala perbezaan nilai purata sudut geseran puncak batuan segar dengan terluluhawa sederhana adalah lebih tinggi iaitu antara -4.0° hingga +6.2°. Plot kotak untuk hasil ujian kemiringan untuk setiap nilai JRC ditunjukkan dalam Rajah 2.

Nilai purata, median dan pencongan taburan data sudut geseran puncak ketakselajaran batuan segar, terluluhawa sedikit dan terluluhawa sederhana dipaparkan dalam Jadual 2. Pencongan positif bermakna lebih banyak hasil ujian kemiringan (>50%) mempunyai nilai sudut geseran puncak yang lebih rendah daripada nilai purata sudut geseran puncak. Pencongan negatif mewakili lebih banyak hasil ujian kemiringan (>50%) mempunyai nilai sudut geseran puncak yang lebih tinggi daripada nilai purata sudut geseran puncak.

Tiga rumus polinomial (Rajah 3) untuk satah ketakselajaran batuan granit segar, terluluhawa sedikit dan terluluhawa sederhana telah diterbitkan. Untuk batuan granit segar, rumus yang diperoleh ialah  $\phi_{p1} = -0.071PKK^2 + 3.56PKK + 35.6$  dengan pekali penentuan ( $r^2$ ) bernilai 0.88. Untuk batuan granit terluluhawa sedikit pula, rumus yang diterbitkan ialah  $\phi_{p2} = -0.087PKK^2 + 4.32PKK + 34.1$  dengan pekali penentuan ( $r^2$ ) bernilai 0.80. Untuk batuan granit terluluhawa sederhana, rumus yang diterbitkan ialah  $\phi_{p3} = -0.133PKK^2 + 5.08PKK + 29.6$  dengan pekali penentuan ( $r^2$ ) bernilai 0.92. Nilai JRC yang ditunjukkan dalam Rajah 3 merupakan titik tengah untuk setiap julat JRC.

Jadual 3 memaparkan perbandingan antara nilai  $\phi_p$  yang ditentukan daripada rumus polinomial dengan nilai purata  $\phi_p$  yang diperoleh daripada ujian kemiringan. Didapati bahawa perbezaan antara kedua-dua ini adalah lebih tinggi (-36.0 hingga 23.6%) jika dibandingkan dengan hasil batuan syis (-7.3 hingga 5.5%) yang dilaporkan oleh Ghani Rafek et al. (2012). Keadaan ini dapat dijelaskan sebagai pengaruh saiz butiran batuan granit yang lebih kasar berbanding batuan syis. Oleh kerana saiz butiran mineral pada permukaan satah ketakselajaran batuan granit adalah lebih besar dan bersifat rapuh atau mudah patah, ia mengakibatkan permukaan satah ketakselajaran kurang rata dengan julat nilai kekasaran yang berubah sepanjang permukaannya. Secara bandingan, permukaan satah ketakselajaran batuan metamorf seperti syis adalah lebih licin kerana mempunyai sifat yang lebih mulur, berfoliasi dan mineralnya bersaiz butiran kecil.

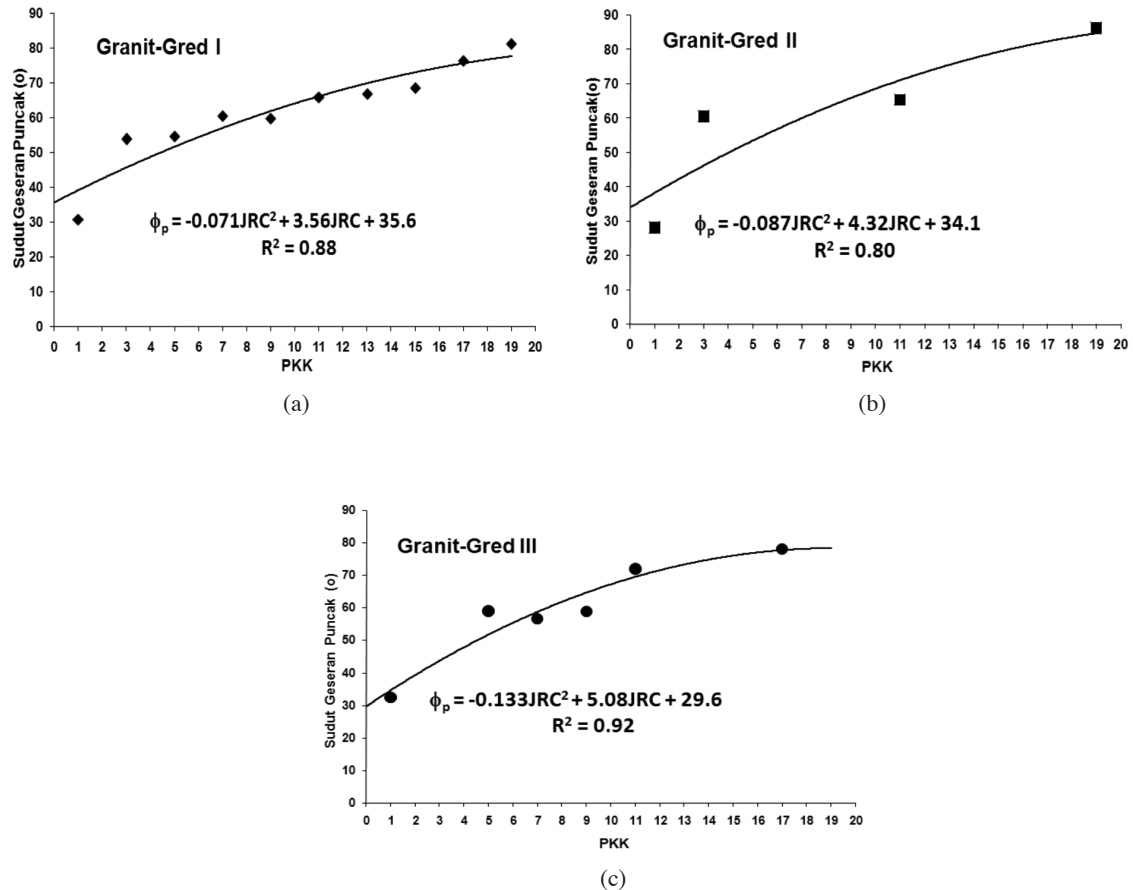
Berdasarkan bilangan ujian yang telah dilaksanakan dipercayai ketiga-tiga rumus ini boleh dipakai untuk menganggar  $\phi_p$  satah ketakselajaran batuan granit berdasarkan nilai JRC lapangan tanpa melakukan ujian kemiringan.



RAJAH 2. Plot kotak hasil ujian kemiringan untuk setiap nilai JRC bagi (a) batuan granit gred I, (b) gred II dan (c) gred III

JADUAL 2. Ringkasan hasil statistik ujian kemiringan batuan granit untuk setiap nilai JRC

Gred luluhawa	Titik pertengahan JRC	Jumlah ujian	Median (°)	Sisihan piawai (°)	Purata (°)	Pencongan	Perbezaan dengan Gred I (°)
I	1	2180	31	2.0	30.7±0.1	normal	-
	3	60	52	10.1	53.7±2.6	positif	-
	5	360	56	6.1	54.5±0.6	negatif	-
	7	170	60	6.3	60.5±1.0	normal	-
	9	50	60	4.6	59.6±1.3	normal	-
	11	440	64	6.9	65.7±0.6	positif	-
	13	90	67	11.1	66.7±2.3	normal	-
	15	60	70	7.8	68.4±2.0	negatif	-
	17	520	76	7.4	76.3±0.6	normal	-
II	19	150	80	5.0	81.2±0.8	positif	-
	1	740	28	2.4	28.2±0.2	normal	-2.5
	3	60	61	5.1	60.6±1.3	normal	+6.9
	11	40	64	2.5	65.4±0.8	positif	-0.3
III	19	40	88	4.2	86.3±1.3	negatif	+5.1
	1	120	32	1.3	32.4±0.2	normal	+1.7
	5	20	59	1.5	58.9±0.7	normal	+4.4
	7	20	56	1.3	56.5±0.6	normal	-4.0
	9	20	54	6.1	58.8±2.8	positif	-0.8
	11	60	72	10.1	71.9±2.6	normal	+6.2
	17	80	76	6.2	77.9±1.4	positif	+1.6



RAJAH 3. Tiga rumus polinomial untuk (a) batuan granit segar (Gred I), (b) terluluhawa sedikit (Gred II) dan (c) terluluhawa sederhana yang diterbitkan daripada graf sudut geseran puncak ( $\phi_p$ ) melawan JRC

JADUAL 3. Perbandingan antara nilai  $\phi_p$  yang ditentukan daripada rumus polinomial (persamaan  $\phi_{p1}$ ,  $\phi_{p2}$  dan  $\phi_{p3}$ ) yang diterbitkan dengan nilai purata  $\phi_p$  yang diperoleh daripada ujian kemiringan

Gred	Kaedah/PKK	0	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
I	Ujian kemiringan	-	30.7	53.7	54.5	60.5	59.6	65.7	66.7	68.4	76.3	81.2
	Persamaan $\phi_{p1}$	35.6	39.1	45.6	51.6	57.0	61.8	66.1	69.8	73.0	75.6	77.6
	Perbezaan (%)	-	-27.3	15.1	5.4	5.7	-3.7	-0.6	-4.8	-6.8	1.0	4.4
	Ujian kemiringan	-	28.2	60.6	-	-	-	65.4	-	-	-	86.3
II	Persamaan $\phi_{p2}$	34.1	38.4	46.3	53.6	60.1	66.0	71.1	75.6	79.3	82.4	84.8
	Perbezaan (%)	-	-36.0	23.6	-	-	-	-8.7	-	-	-	1.8
	Ujian kemiringan	-	32.4	-	58.9	56.5	58.8	71.9	-	-	77.9	-
III	Persamaan $\phi_{p3}$	29.6	34.5	43.6	51.7	58.6	64.5	69.4	73.2	75.9	77.6	78.2
	Perbezaan (%)	-	-6.6	-	12.3	-3.8	-9.8	3.5	-	-	0.4	-
	Ujian kemiringan	-	32.4	-	58.9	56.5	58.8	71.9	-	-	77.9	-

#### KESIMPULAN

Tiga rumus polinomial  $\phi_{p1} = -0.071PKK^2 + 3.56PKK + 35.6$ ,  $\phi_{p2} = -0.087PKK^2 + 4.32PKK + 34.1$  dan  $\phi_{p3} = -0.133PKK^2 + 5.08PKK + 29.6$  telah diterbitkan untuk menganggar sudut geseran puncak permukaan satah ketakselanjaraan batuan granit segar, terluluhawa sedikit dan terluluhawa sederhana, berdasarkan nilai JRC lapangan tanpa melakukan ujian kemiringan.

#### PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada pembantu makmal Program Geologi atas bantuan mengendalikan ujian dan kerajaan Malaysia atas sumbangan kewangan menerusi UKM-ST-02-FRGS-0023-2007 dan GGPM-2013-082.

## RUJUKAN

- Abdul Ghani Rafek & Goh, T.L. 2012. Correlation of joint roughness coefficient (JRC) and peak friction angles of discontinuities of Malaysian Schists. *Earth Science Research* 1(1): 57-63.
- Arnie Salfarina Arshad. 2005. Pengelasan dan pencirian geologi kejuruteraan batuan di kuari JKR Bukit Penggorak Kuantan, Pahang Darul Makmur. Tesis Sarjana Muda Sains, Universiti Kebangsaan Malaysia (tidak diterbitkan).
- Baizura Yunus, N., Ghani Rafek, A., Goh, T.L. & Hariri Arifin, M. 2009. Quantification of granite rock material weathering grades employing the Schmidt hammer rebound testing: Malaysian examples. *Proceeding of Regional Conference on Environmental & Earth Resources*. pp. 169-174.
- Bignell, J.D. & Snelling, N.J. 1977. Geochronology of Malayan granites. *Overseas Geology and Mineral Resources* 47: 77.
- Barton, N. & Choubey, V. 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics* 10: 1-54.
- Barton, N. 1973. Review of a new shear strength criterion for rock joints. *Engineering Geology* 7: 287-332.
- Ghani Rafek, A., Goh, T.L. & Hariri Arifin, M. 2012. Korelasi pekali kekasaran kekar dengan sudut geseran puncak satah ketakselajaran batuan syis, Semenanjung Malaysia. *Sains Malaysiana* 41(3): 293-297.
- Ghani, R.A., Goh, T.L., Hariri, A.M. & Baizura, Y.N. 2011. Field and laboratory-based approach for the determination of friction angle of geological discontinuities of Malaysian granites. *Asean J. Sc. Technol. Dev.* 28(2): 151-155.
- Gobbett, D.J. & Hutchison, C.S. 1973. *Geology of the Malay Peninsular*. New York: John Wiley & Sons.
- Goh, T.L., Ghani Rafek, A., Hariri Arifin, M. & Baizura Yunus, N. 2011. Ujian ricih terus permukaan satah ketakselajaran granit. *Sains Malaysiana* 40(5): 419-423.
- Hariri Arifin, M., Ghani Rafek, A., Goh, T.L. & Baizura Yunus, N. 2009. The use of Schmidt rebound hammer as a method to estimate the degree of weathering for metamorphic rocks from Malaysia. *Proceeding of Regional Conference on Environmental & Earth Resources* pp. 175-180.
- ISRM. 1981. *Rock Characterization, Testing and Monitoring: ISRM Suggested Methods*. Oxford: Pergamon Press. p. 101.
- Patton, F.D. 1966. Multiple modes of shear failure in rock. *Proc. 1st International Congress of Rock Mechanics, Lisbon* 1: 509-513.
- Priest, S.D. 1993. *Discontinuity Analysis for Rock Engineering*. London: Chapman & Hall. p. 262.
- Shu, Y.K. 1989. *Geology and Mineral Resources of Kuala Kelawang Area*. District Memo: 20. Kuala Lumpur: Geological Survey Malaysia.

Program Geologi  
 Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam  
 Fakulti Sains dan Teknologi  
 Universiti Kebangsaan Malaysia  
 43600 Bangi, Selangor D.E.  
 Malaysia

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: gdsbgoh@gmail.com

Diserahkan: 24 Ogos 2012

Diterima: 19 Ogos 2013