

## Korelasi Pekali Kekasaran Kekar dengan Sudut Geseran Puncak Satah Ketakselanjarian Batuan Syis, Semenanjung Malaysia

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

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

### ABSTRAK

Kekasaran permukaan amat mempengaruhi tingkah-laku ricihan dan nilai sudut geseran puncak sesuatu satah ketakselanjarian. Oleh yang demikian, kekasaran permukaan merupakan faktor yang penting yang perlu dinilai dalam menentukan kestabilan struktur pengorekan dalam jasad batuan. Beberapa kaedah boleh digunakan untuk menentukan kekasaran permukaan ketakselanjarian. Kertas ini memperkenalkan satu pendekatan yang mudah dalam bentuk dua rumus polinomial yang boleh digunakan untuk mengkorelasi sudut geseran puncak ketakselanjarian ( $\phi_p$ ) batuan syis segar dan terluluhawa sedikit dengan pekali kekasaran kekar, PKK. Rumus polinomial ini ialah  $\phi_p = -0.022PKK^2 + 3.21PKK + 28.1$  untuk ketakselanjarian segar dan  $\phi_p = -0.025PKK^2 + 3.24PKK + 26.6$  untuk ketakselanjarian terluluhawa sedikit. Kedua-dua rumus ini memperlihatkan nilai pekali penentuan,  $R^2 = 0.98$ . Hasil kajian ini menawarkan satu kaedah alternatif penganggaran  $\phi_p$  satah ketakselanjarian daripada nilai PKK yang diukur pada permukaan ketakselanjarian di lapangan.

*Kata kunci:* Pekali kekasaran kekar; sudut geseran puncak; syis; ujian kemiringan

### ABSTRACT

Shear behavior and value of peak friction angle of a discontinuity plane is strongly controlled by its surface roughness. As such, surface roughness is an important factor to be evaluated in determining the stability of structures excavated in rock body. Several approaches can be adopted for the determination of surface roughness of discontinuities. This paper presents a simple approach, in the form of two polynomial equations to correlate the peak friction angle ( $\phi_p$ ) with the Joint Roughness Coefficient (JRC) for discontinuity plane in fresh and slightly weathered schists. The polynomial equations are  $\phi_p = -0.022JRC^2 + 3.21JRC + 28.1$  for fresh discontinuities and  $\phi_p = -0.025JRC^2 + 3.24JRC + 26.6$  for slightly weathered discontinuity. Both equations exhibited coefficient of determination  $R^2 = 0.98$ . These results offer an alternative method to estimate  $\phi_p$  of discontinuity planes by measuring the JRC values of the discontinuity planes in the field.

*Keywords:* Joint roughness coefficient; peak friction angle; schists; tilt test

### PENGENALAN

Satah ketakselanjarian memainkan peranan penting dalam penilaian kestabilan cerun potongan dan pengorekan dalam jasad batuan. Dalam konteks ini, tekstur kekasaran dan sifat geseran permukaan ketakselanjarian memainkan peranan yang paling penting dalam penentuan kekuatan ricih ketakselanjarian tersebut. Beberapa kaedah boleh digunakan untuk menentukan parameter-parameter ini. Kekasaran skala besar permukaan ketakselanjarian secara tiga dimensi ditentukan dengan menggunakan kompas geologi dan profilograf (*profilograph*) dicadangkan oleh Fecker dan Rengers (1971). Patton (1966) menentukan sudut geseran asas ( $\phi_b$ ) dan sudut dilasi ( $i$ ) daripada ujian kekuatan ricih pada sampel gergaji-gigi dan mendapati bahawa sudut dilasi adalah kekasaran urutan pertama (*first order roughness*) pada 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. Barton dan Choubey (1977) pula mencadangkan satu kaedah untuk mengukur  $\phi_p$  daripada nilai pekali kekasaran kekar, PKK (*Joint Roughness Coefficient, JRC*), kekuatan mampatan permukaan ketakselanjarian, sudut geseran asas ( $\phi_b$ ) dan tegasan normal. Goh et al. (2011) menentukan  $\phi_b$  permukaan satah ketakselanjarian batuan granit dengan menggunakan ujian ricih terus. Penyelidikan tambahan Zhao (1997a, 1997b) mencadangkan penggunaan pekali penyesuaian kekar (JMC). JMC diperolehi melalui pemerhatian terhadap peratus luas permukaan yang bersentuhan antara dinding kekar bahagian atas dengan bahagian bawah.

Kaedah yang dicadangkan oleh Patton (1966), Barton (1973), Barton dan Choubey (1977), Goh et al. (2011) dan Zhao (1997a, 1997b) melibatkan ujian dan peralatan yang mahal dan prosedur yang kompleks. Oleh itu, dalam kajian ini, satu pendekatan yang lebih mudah dan murah digunakan untuk mengkuantitatifkan kekasaran skala kecil permukaan ketakselajaran. Daripada hasil kajian ini, satu hubungan diperoleh antara PKK dan  $\phi_p$  dan ia boleh digunakan untuk menganggar  $\phi_p$  satah ketakselajaran daripada nilai PKK yang diukur pada permukaan satah ketakselajaran di lapangan.

#### BAHAN DAN KAEDAH

Blok batuan yang mengandungi satah ketakselajaran semula jadi dikumpulkan dari tapak lapangan dan kemudian dibahagikan kepada dua blok (blok atas dan bawah) sepanjang satah ketakselajaran. Tektur kekasaran permukaan satah ketakselajaran diukur pada empat arah dengan menggunakan sikat Barton. Nilai PKK diperoleh dengan membandingkan corak bentuk sikat Barton yang terhasil daripada pengukuran pada kekasaran permukaan ketakselajaran dengan profil piawai yang dicadangkan oleh Barton dan Choubey (1977). Setiap profil piawai telah diberi nilai PKK 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.

Lokasi tapak kajian (Rajah 1) adalah di Ukay Perdana, Ulu Klang, Selangor, km 15 jalan Kuala Kubu Baru – Bukit Fraser, Selangor dan sepanjang jalan Pos Selim - Kg. Raja, Cameron Highlands, Pahang/Perak (km18-19, 21-24, 25-26). Blok batuan syis segar dan terluluhawa sedikit yang mengandungi ketakselajaran semula jadi telah dikumpulkan dengan menggunakan tukul geologi. Keadaan luluhawa sampel batuan syis 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).

#### GEOLOGI

*Ukay Perdana, Ulu Klang* Batuan di kawasan kajian ini berlitologi syis dan dinamakan sempena nama Bukit Dinding sebagai syis dinding. Menurut Gobbett (1964) syis dinding kawasan kajian ini berusia Paleozoik awal iaitu Kambrian – Ordovisi.

*KM 15, Kuala Kubu Baru – Bukit Fraser* Umumnya batuan di sekitar ini terdiri daripada batuan granit dan sedikit batuan metamorf yang wujud sebagai sisa bumbung dan batuan metamorf di tapak ini adalah syis amfibolit (Supiah Mukhtar 2007).

*Jalan Pos Selim-Kg Raja (km18-19, 21-24, 25-26)* Batuan metamorf kawasan kajian berusia Ordovisi – Silur dan berasal daripada sedimen klastik seperti syal dan batu pasir



RAJAH 1. Lokasi kawasan kajian

dan termetamorf rantau apabila rejahan igneus berlaku pada masa Perm dan batuan metamorf ini merupakan sisa bumbung dan terdiri daripada batuan filit, syis kuarza, syis kuarza mika, syis mika, kuarzit dan honfels (Oh 2008). Filit dan honfels adalah berbutir halus manakala syis kuarza, syis kuarza mika, syis mika, mengandungi mineral kuarza, muskovit dan biotit. Kuarzit pula mengandungi kuarza yang amat tinggi dan bertekstur granoblas.

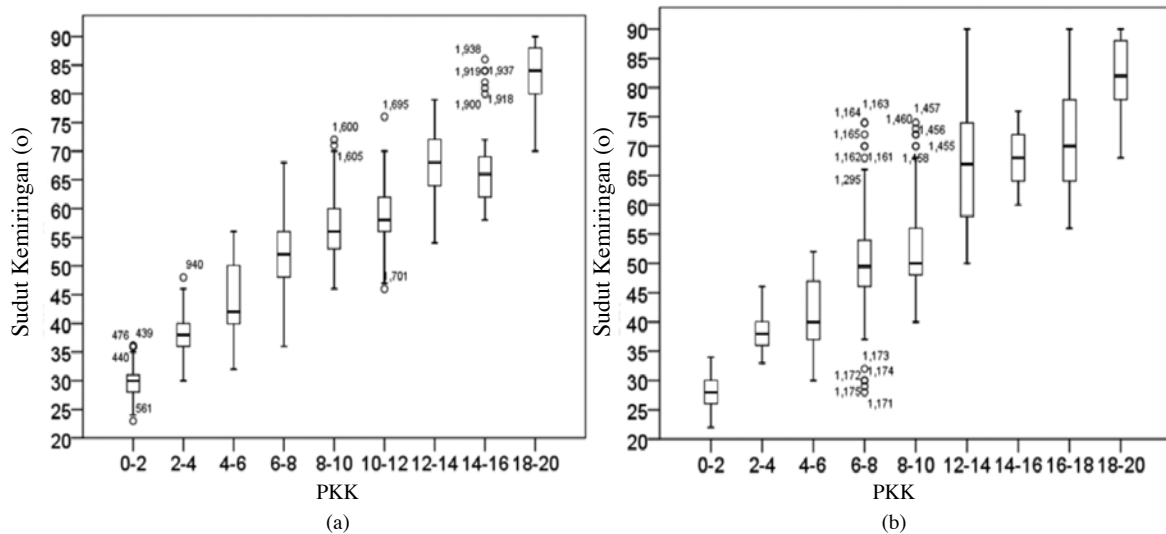
#### HASIL DAN PERBINCANGAN

PKK ditentukan pada semua satah ketakselajaran semula jadi sebelum ujian kemiringan dilakukan. Sebanyak 4350 ujian kemiringan telah dilakukan pada batuan syis iaitu 2200 ujian pada batuan segar dan 2150 ujian pada terluluhawa sedikit. Hasil ujian dianalisis dengan menggunakan perisian statistik, SPSS versi 16 pada aras keyakinan 95%. Ringkasan hasil statistik ujian kemiringan untuk PKK masing-masing dipaparkan dalam Jadual 1. Didapati bahawa perbezaan nilai kemiringan untuk batuan syis segar dengan terluluhawa sedikit adalah antara  $-4.1^\circ$  dan  $+1.8^\circ$ .

Plot kotak untuk hasil ujian kemiringan untuk nilai PKK masing-masing ditunjukkan dalam Rajah 2. Nilai  $\phi_p$ , median dan pencongan taburan data untuk ketakselajaran batuan syis segar dan terluluhawa sedikit dipaparkan dalam Jadual 1. Pencongan negatif mewakili lebih banyak hasil ujian kemiringan (>50%) mempunyai nilai sudut geseran puncak yang lebih tinggi daripada nilai purata sudut

JADUAL 1. Ringkasan hasil statistik ujian kemiringan untuk nilai PKK masing-masing

Gred Luluhawa	Titik Pertengahan PKK	Jumlah Ujian	Median (°)	Sisihan Piawai (°)	Purata (°)	Pencongan	Perbezaan dengan Gred I (°)
I	1	920	30.0	2.2	29.6±0.1	negatif	-
	3	130	38.0	3.4	37.9±0.6	normal	-
	5	110	42.0	6.1	44.3±1.2	positif	-
	7	330	52.0	6.2	51.9±0.7	normal	-
	9	140	57.0	5.1	56.6±0.8	negatif	-
	11	90	58.0	5.4	58.5±1.1	positif	-
	13	140	68.0	5.5	67.5±0.9	positif	-
	15	120	66.0	5.5	66.3±1.0	normal	-
	19	220	84.0	5.2	83.3±0.7	negatif	-
II	1	1020	28.0	2.2	28.1±0.1	normal	-1.5
	3	50	38.0	3.1	38.3±0.9	normal	+0.4
	5	90	40.0	6.2	41.7±1.3	positif	-2.6
	7	180	49.0	7.6	49.6±1.1	positif	-2.3
	9	240	51.0	7.0	52.5±0.9	positif	-4.1
	13	140	66.0	8.9	66.9±1.5	positif	-0.6
	15	40	68.0	5.1	68.1±1.6	normal	+1.8
	17	130	70.0	8.3	70.4±1.4	positif	-
	19	260	82.0	5.8	82.3±0.7	normal	-1.0



RAJAH 2. Plot kotak hasil ujian kemiringan untuk PKK masing-masing bagi batuan syis gred I (a) dan gred II (b)

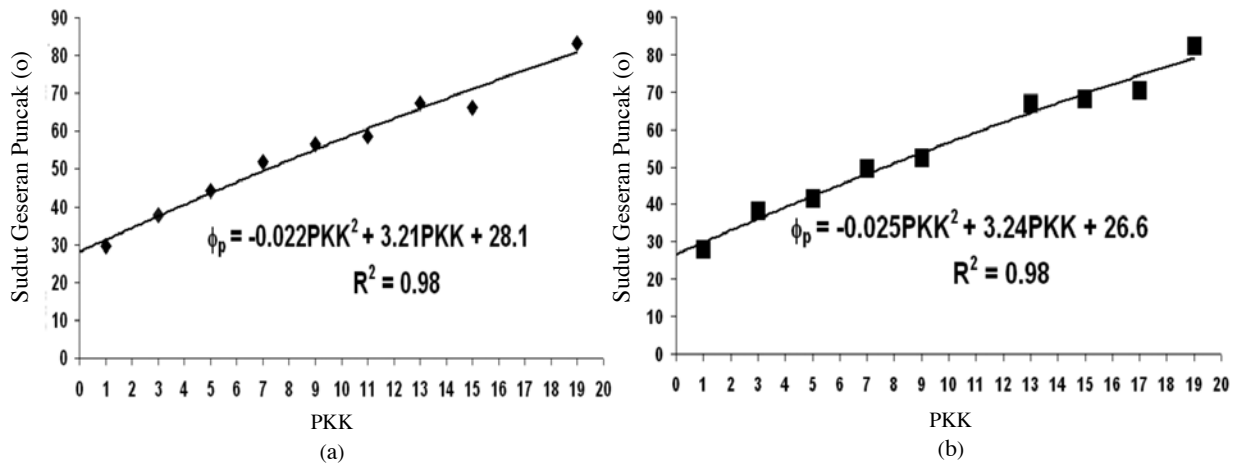
geseran puncak. Pencongan positif ialah lebih banyak hasil ujian kemiringan (>50%) mempunyai nilai sudut geseran puncak yang lebih rendah daripada nilai purata sudut geseran puncak.

Dua rumus polinomial (Rajah 3) untuk ketakselajaran batuan syis segar dan terluluhawa sedikit telah diterbitkan. Untuk batuan syis segar, rumus yang diperolehi ialah  $\phi_p = -0.022 \text{ PKK}^2 + 3.21\text{PKK} + 28.1$  dengan pekali penentuan  $R^2$  bernilai 0.98. Untuk batuan syis terluluhawa sedikit pula, rumus yang diterbitkan ialah  $\phi_p = -0.025 \text{ PKK}^2 + 3.24\text{PKK} + 26.6$  dengan pekali penentuan  $R^2$  bernilai 0.98. Nilai PKK yang ditunjukkan dalam Rajah 6 merupakan titik tengah julat PKK masing-masing. Jadual 2

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 munasabah iaitu kurang daripada 8.0 %. Ini turut bermakna bahawa kedua-dua rumus boleh digunakan untuk menganggar  $\phi_p$  ketakselajaran berdasarkan nilai PKK lapangan tanpa melakukan ujian kemiringan.

#### KESIMPULAN

Dua rumus polinomial  $\phi_p = -0.022\text{PKK}^2 + 3.21\text{PKK} + 28.1$  dan  $\phi_p = -0.025\text{PKK}^2 + 3.24\text{PKK} + 26.6$  dengan



RAJAH 3. Dua rumus polinomial untuk (a) batuan syis segar (Gred I) dan (b) terluluhawa sedikit (Gred II) diterbitkan daripada graf sudut geseran puncak ( $\phi_p$ ) melawan PKK

JADUAL 2. Perbandingan antara nilai  $\phi_p$  yang ditentukan daripada rumus polinomial 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	-	29.6	37.9	44.3	51.9	56.6	58.5	67.5	66.3	-	83.3
	$\phi_p = -0.022PKK^2 + 3.21PKK + 28.1$	28.1	31.3	37.5	43.6	49.5	55.2	60.7	66.0	71.2	76.2	81.0
	Perbezaan (%)	-	-5.80	0.98	1.55	4.60	2.57	-3.69	2.19	-7.32	-	2.83
II	Ujian Kemiringan	-	28.1	38.3	41.7	49.6	52.5	-	66.9	68.1	70.4	82.3
	$\phi_p = -0.025PKK^2 + 3.24PKK + 26.6$	26.6	29.9	36.1	42.2	48.1	53.8	59.3	64.5	69.6	74.5	79.2
	Perbezaan (%)	-	-6.26	5.54	-1.35	3.04	-2.38	-	3.48	-2.22	-5.79	3.82

pekali penentuan  $R^2$  sebanyak 0.98 telah diterbitkan untuk permukaan ketakselajaran batuan syis yang segar dan terluluhawa sedikit. Rumus-rumus ini boleh digunakan untuk menganggar  $\phi_p$  ketakselajaran berdasarkan nilai PKK lapangan tanpa melakukan ujian kemiringan.

#### PENGHARGAAN

Penulis 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.

#### RUJUKAN

- 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.
- Barton, N. 1973. Review of a new shear strength criterion for rock joints. *Engineering Geology* 7: 287-332.
- Barton, N. & Choubey, V. 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics* 10: 1-54.
- Fecker, E. & Rengers N. 1971. Measurement of large scale roughness of rock planes by means of profilograph and geological compass. *Rock Fracture, Proc. Int. Symp. Rock Mech, Nancy* 1: 18.
- Gobbett, D.J. 1964. The lower palaeozoic rocks of Kuala Lumpur, Malaysia. *Fed. Museums Jour.* 9: 67-70.
- 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. *Proceedings of Regional Conference on Environmental and Earth Resources* pp.175-180.
- ISRM. 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring. *ISRM Suggested Methods*, Dlm. Brown (pnyt.), Oxford: Pergamon Press. pp. 101.
- Oh, H.T. 2008. Pemetaan geologi sepanjang KM14-KM27 Jalanraya Kg. Raja, Cameron Highland, Pahang – Pos Selim, Perak. Tesis Sarjana Muda Sains, Universiti Kebangsaan Malaysia (tidak diterbitkan).
- Patton, F.D. 1966. Multiple modes of shear failure in rock. *Proceedings 1st International Congress of Rock Mechanics, Lisbon* 1: 509-513.

Priest, S.D. 1993. *Discontinuity Analysis for Rock Engineering*. London: Chapman & Hall.

Supiah Mukhtar. 2007. Pencirian geomekanik jasad batuan syis amfibol di KM 15 jalan baru Kuala Kubu Bahru-Bukit Fraser, Selangor. Tesis Sarjana Muda Sains Universiti Kebangsaan Malaysia (tidak diterbitkan).

Zhao, J. 1997a. Joint surface matching and shear strength, Part A: Joint matching coefficient (JMC). *Int. J. Rock Mech. Min.* 34(2): 173-178.

Zhao, J. 1997b. Joint surface matching and shear strength, Part B: JRC-JMC shear strength criterion. *Int. J. Rock Mech. Min.* 34(2): 179-185.

T. L. Goh\*

Geoscience Department, Subsurface Division  
Petronas Research Sdn. Bhd.,  
Lot 3288 & 3289, Off Jalan Ayer Itam  
Kawasan Institusi Bangi, 43000 Kajang  
Selangor D.E.  
Malaysia

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

Diserahkan: 26 April 2011

Diterima: 19 Ogos 2011

A. Ghani Rafek & M. Hariri Ariffin

Program Geologi

Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam

Fakulti Sains dan Teknologi

Universiti Kebangsaan Malaysia

43600 Bangi, Selangor D.E.

Malaysia

