

## Kekuatan Geomekanik Batuan Granit dan Syis di Semenanjung Malaysia (Geomechanical Strength of Granites and Schists of Peninsular Malaysia)

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

### ABSTRAK

Kekuatan geomekanik bahan batuan memainkan peranan penting dalam mempengaruhi kestabilan struktur seperti pemotongan cerun dan pengorekan bukaan dalam jasad batuan. Ciri kekuatan jasad batuan di mana struktur-struktur ini dibina adalah dipengaruhi oleh ciri bahan dan keadaan luluhawa. Kertas ini memperkenalkan hasil kajian sistematik pengkuantitatifan ciri-ciri mekanik batuan granit dan syis segar dan terluluhawa sedikit daripada beberapa lokaliti di Semenanjung Malaysia. Sejumlah 1,013 ujian kekuatan geomekanik telah dijalankan untuk bahan batuan segar dan terluluhawa sedikit dengan menggunakan ujian kekuatan mampatan sepaksi, ujian kekuatan regangan Brazil dan indeks kekuatan beban titik. Analisis statistik hasil ujian pada aras keyakinan 95 peratus memaparkan bahawa purata kekuatan mampatan granit segar dan terluluhawa sedikit ialah  $113.6 \pm 7.0$  dan  $68.9 \pm 3.6$  MPa, sementara nilai bagi syis segar dan terluluhawa sedikit pula ialah  $137.3 \pm 9.2$  dan  $84.8 \pm 5.1$  MPa. Seterusnya, nilai purata kekuatan regangan granit segar dan terluluhawa sedikit ialah  $8.8 \pm 0.4$  dan  $5.3 \pm 0.1$  MPa manakala nilai purata syis segar dan terluluhawa ialah  $17.1 \pm 0.9$  dan  $10.5 \pm 0.4$  MPa. Purata kekuatan beban titik granit segar dan terluluhawa sedikit ialah  $9.4 \pm 0.30$  dan  $5.6 \pm 0.10$  MPa manakala nilai syis segar dan terluluhawa sedikit ialah  $10.9 \pm 0.42$  dan  $7.0 \pm 0.10$  MPa. Hasil kajian menunjukkan bahawa kekuatan geomekanik bahan batuan segar menyusut lebih kurang 1/3 setelah tahap perluluhawaan bahan batuan tersebut menurun ke peringkat luluhawa sedikit.

*Kata kunci:* Granit; ujian indeks kekuatan beban titik; ujian kekuatan mampatan sepaksi; ujian kekuatan regangan Brazil; syis

### ABSTRACT

The geomechanical strength of rock materials plays a significant role in influencing the stability of structures like cut slopes and excavation of opening in rock mass. The strength characteristics of rock mass where these structures are constructed are influenced by both material characteristics and the condition of weathering. This paper presents the results of a systematic research to quantify the mechanical characteristics of fresh as well as slightly weathered granites and schists of Peninsular Malaysia. A total of 1,013 geomechanical strength tests were conducted for both these lithologies for fresh as well as slightly weathered rock materials employing the uniaxial compressive strength test, Brazilian tensile strength as well as the point load strength index test. Statistical analysis of the results at 95 percent confidence level showed that the means of compressive strength for fresh and slightly weathered granites were  $113.6 \pm 7.0$  and  $68.9 \pm 3.6$  MPa while the respective values for fresh and slightly weathered schists were  $137.3 \pm 9.2$  and  $84.8 \pm 5.1$  MPa. Subsequently, the respective mean values of tensile strength for fresh and slightly weathered granites were  $8.8 \pm 0.4$  and  $5.3 \pm 0.1$  MPa while the values of mean for fresh and slightly weathered schists were  $17.1 \pm 0.9$  and  $10.5 \pm 0.4$  MPa, respectively. For the point load strength, the means for fresh and slightly weathered granites were  $9.4 \pm 0.30$  and  $5.6 \pm 0.10$  MPa whereas the respective values for fresh and slightly weathered schists were  $10.9 \pm 0.42$  and  $7.0 \pm 0.10$  MPa. The results of this research revealed that the geomechanical strengths of fresh rock material deteriorated by approximately 1/3 when weathering grade of the rock material reduces to slightly weathered rock materials.

*Keywords:* Brazilian tensile strength test; granite; point load strength index test; schist; uniaxial compressive strength test

### PENGENALAN

Kekuatan bahan batuan dan keadaan luluhawa memainkan peranan penting dalam penilaian kestabilan jasad batuan samada untuk bukaan bawah tanah dan pemotongan cerun. Dalam konteks ini, ciri-ciri kekuatan geomekanik bahan batuan merupakan input utama dalam merekabentuk struktur-struktur tersebut. Goodman (1980) ada melaporkan nilai-nilai kekuatan mampatan sepaksi untuk pelbagai

batuan yang diperolehi daripada beberapa lokasi di Amerika Syarikat termasuk Ohio, Arizona, Wyoming, New Jersey, California, Utah dan lain-lain lokasi. Hoek dan Bray (1981) pula mengkorelasikan indeks kekuatan beban titik dengan kekuatan mampatan sepaksi bahan batuan dan mengelaskan kekuatan mampatan sepaksi sempadan di antara tanah dan batuan. Kebanyakan kekuatan geomekanik bahan batuan yang diterbitkan adalah berdasarkan batuan

yang dikumpulkan di luar negara. Memandangkan wujudnya perbezaan daripada segi sifat geomekanik di antara batuan tempatan dan batuan luar negara maka adalah penting untuk menerbitkan kekuatan geomekanik bagi batuan tempatan. Memandangkan kesan luluhawa ke atas sifat-sifat bahan batuan di kawasan beriklim tropika adalah amat signifikan, maka kajian ini juga cuba mengetengahkan kesan luluhawa ke atas pencirian kekuatan batuan segar secara sistematik. Pendekatan pengkuantitatifan sifat-sifat ini adalah berdasarkan kepada ujian kekuatan mampatan sepaksi, ujian kekuatan regangan dengan kaedah Brazil dan ujian indeks kekuatan beban titik.

#### BAHAN DAN KAEDAH

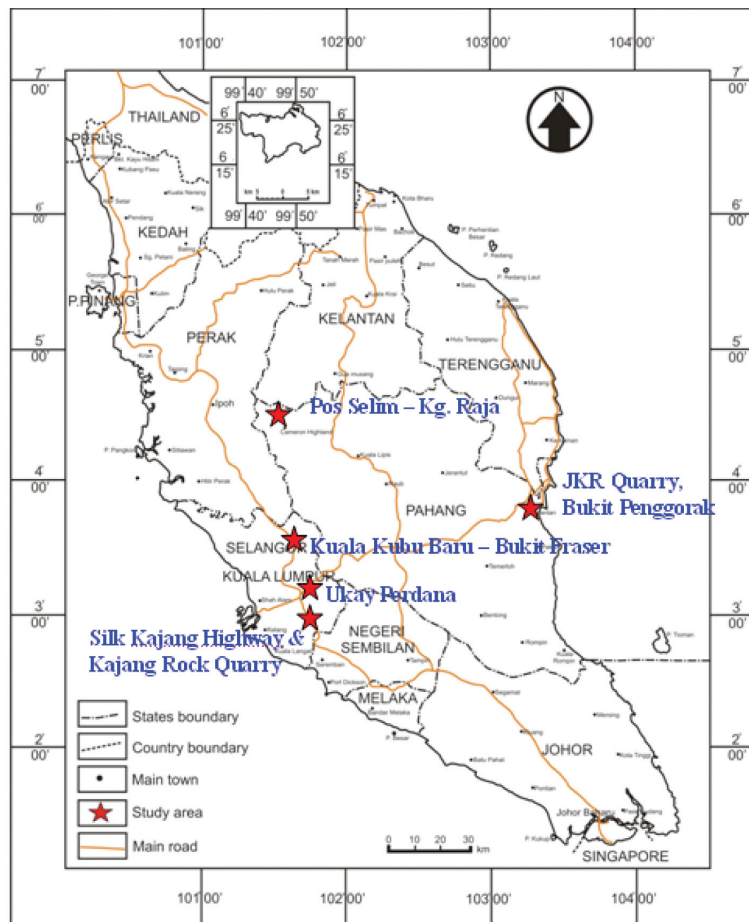
Teras sampel disediakan daripada blok batuan yang dikumpulkan di lapangan mengikut kriteria yang disyorkan oleh ISRM (1981) dan ISRM (1985). Kekuatan geomekanik teras sampel ditentukan dengan peralatan di makmal. Kekuatan geomekanik bahan batuan granit dan syis ditentukan dengan menggunakan ujian kekuatan mampatan sepaksi, ujian kekuatan regangan dengan kaedah Brazil dan ujian indeks kekuatan beban titik ( $Is_{50}$ ). Untuk batuan syis, arah tegasan dalam semua ujian kekuatan geomekanik adalah bersudut tepat kepada arah foliasi bagi

mengurangkan variasi data akibat daripada kesan orientasi foliasi terhadap arah pembebanan.

Keadaan luluhawa sampel batuan granit dan syis ditentukan dengan menggunakan ujian pantulan tukul Schmidt seperti yang dicadangkan oleh Hariri et al. (2009) dan Baizura et al. (2009), berdasarkan kriteria ISRM (1981).

Lokasi tapak kajian (Rajah 1) batuan granit ialah di Kuari Kajang Rock, Selangor, lebuhraya Silk Kajang, Selangor, jalan Pos Selim-Kg. Raja (km 29-30), Cameron Highland Pahang/Perak dan Kuari JKR Bukit Penggorak, Kuantan, Pahang. Manakala untuk batuan syis, lokasi tapak kajian (Rajah 1) ialah di Ukay Perdana, Ulu Klang, Selangor dan sepanjang jalan Pos Selim - Kg. Raja (km18-19, 21-24 dan 25-26), Cameron Highlands, Pahang/Perak.

Hasil ujian kekuatan geomekanik ini kemudian dianalisis dengan menggunakan perisian statistik-SPSS versi 16 pada aras keyakinan 95%. Ujian-t sampel-bebas (ujian t) daripada SPSS dilakukan pada hasil ujian untuk menentukan perbezaan kekuatan geomekanik antara bahan batuan gred I dengan gred II. Sekiranya nilai P yang diperolehi daripada ujian- t sampel-bebas adalah kurang daripada 0.05, hipotesis alternatif ( $h_a$ ) diterima



RAJAH 1. Lokasi kawasan kajian

dan bermakna bahawa perbezaan kekuatan geomekanik antara bahan batuan gred I dengan gred II adalah bererti. Hipotesis nol ( $H_0$ ) akan diterima apabila nilai P adalah lebih besar daripada 0.05 dan ini bermakna bahawa perbezaan kekuatan geomekanik antara bahan batuan gred I dengan gred II adalah tidak bererti. Hipotesis untuk hasil ujian kekuatan geomekanik penyelidikan ini adalah seperti berikut:

Hipotesis nol ( $H_0$ ):  
 Purata kekuatan geomekanik, gred I = Purata kekuatan geomekanik, gred II (1)

Hipotesis alternatif ( $H_a$ ):  
 Purata kekuatan geomekanik, gred I  $\neq$  Purata kekuatan geomekanik, gred II (2)

GEOLOGI KAWASAN KAJIAN

Kuari Kajang Rock terletak bersebelahan dengan lebuh raya Silk Kajang. Litologi kedua-dua kawasan kajian adalah granit. Menurut Gobbett dan Hutchison (1973) dan Bignell dan Snelling (1977), granit di kawasan kajian merupakan sebahagian granit banjaran besar. Granit kawasan ini berbutiran sederhana kasar (0.06-2 mm) ke kasar (2-60 mm) dan mengandungi mineral kuarza, feldspar dan mika (Shu 1989). Gobbett dan Hutchison (1973) melaporkan bahawa usia granit di kawasan ini adalah Trias.

Kuari JKR Bukit Penggorak merupakan kuari granit yang masih beroperasi. Kajian Arnie Salfarina (2005) menyatakan litologi utama di kawasan ini ialah batuan granit berbutir kasar (2-60 mm) dan berwarna cerah. Bignell dan Snelling (1977) menganggarkan usia rejan granit di kawasan ini adalah Perm Akhir-Trias Awal.

Tapak kajian di km 29-30, jalan Pos Selim-Kg. Raja merupakan bekas kuari granit yang bersifat felsik dan berusia Trias Atas (Bignell & Snelling 1977). Manakala menurut Oh (2008), batuan syis di jalan Pos Selim-Kg. Raja adalah berusia Ordovisi – Silur dan berasal daripada

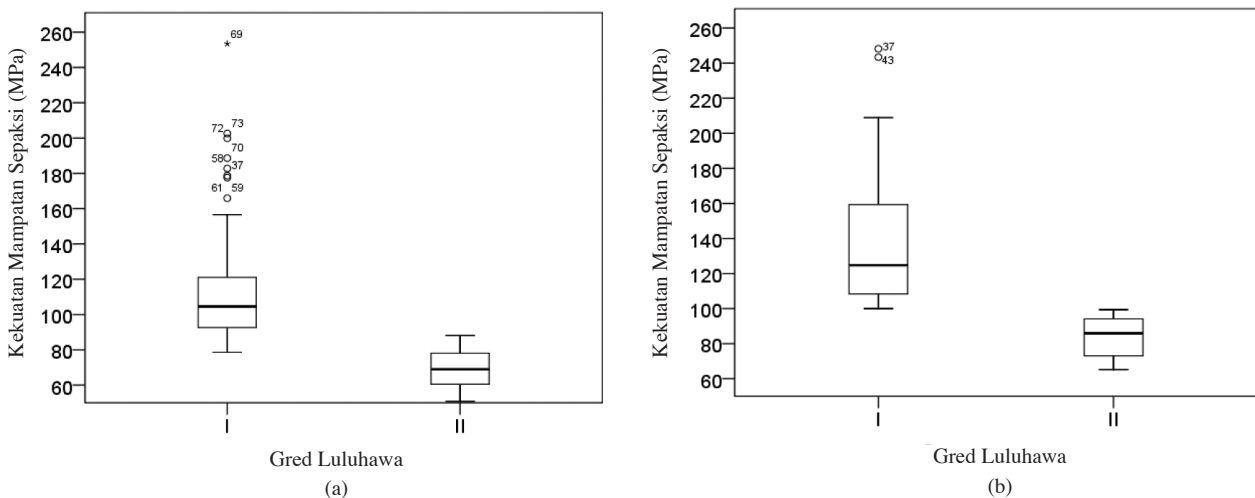
sedimen klastik seperti syal dan batu pasir dan termetamorf rantau apabila rejan igneus berlaku pada masa Perm.

Batuan syis di Ukay Perdana adalah berusia Paleozoik awal iaitu Kambrian – Ordovisi (Gobbett 1964) dan selalu dinamakan syis dinding. Menurut Supiah Mukhtar (2007), batuan metamorf di km 15, jalan Kuala Kubu Baru-Bukit Fraser adalah syis amfibolit yang wujud sebagai sisa bumbung.

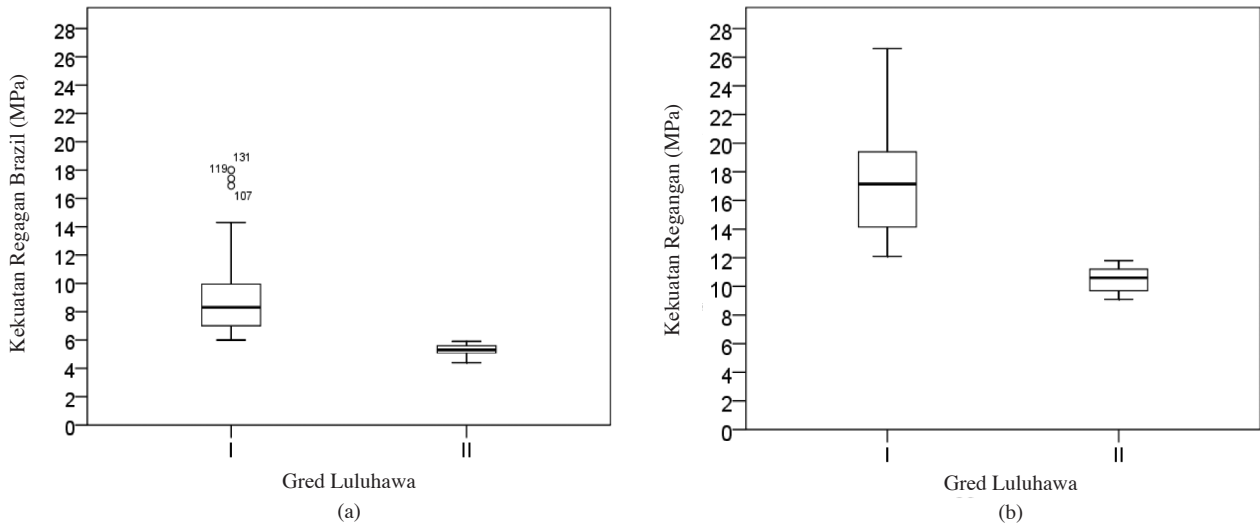
HASIL DAN PERBINCANGAN

Sebanyak 1,013 ujian geomekanik iaitu merangkumi 205 ujian kekuatan mampatan sepaksi, 254 ujian kekuatan regangan Brazil dan 554 ujian indeks kekuatan beban titik ( $I_{s50}$ ) telah dilakukan pada bahan batuan granit dan syis segar dan terluluhawa sedikit. Hasil ujian ini kemudian dianalisis dengan SPSS pada aras keyakinan 95%. Plot kotak untuk hasil ujian kekuatan mampatan sepaksi, ujian kekuatan regangan Brazil dan ujian indeks kekuatan beban titik dipapar dalam Rajah 2 sehingga Rajah 4. Ringkasan nilai purata, sisihan piawai, median, nilai P dan pencongan (*skewness*) taburan data untuk bahan batuan granit dan syis segar dan terluluhawa sedikit dipaparkan dalam Jadual 1. Pencongan negatif mewakili keadaan di mana lebih banyak hasil ujian (>50%) mempunyai nilai yang lebih tinggi daripada nilai purata kekuatan geomekanik. Manakala pencongan positif ialah lebih banyak hasil ujian (>50%) mempunyai nilai yang lebih rendah daripada nilai purata kekuatan geomekanik.

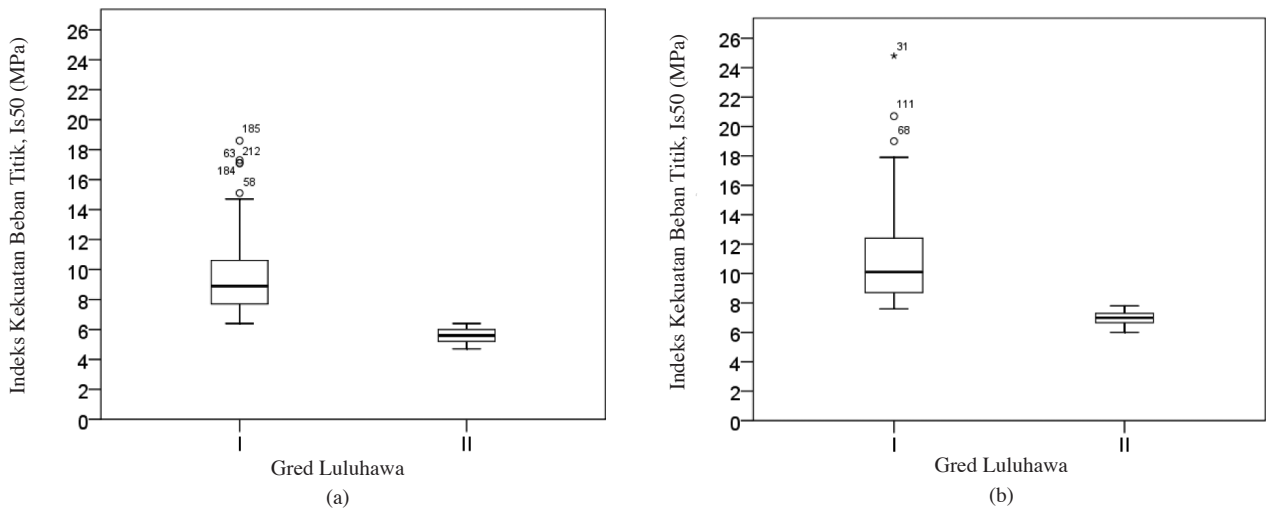
Nilai P yang diperolehi daripada ujian-t pada hasil ujian kekuatan mampatan sepaksi, ujian kekuatan regangan Brazil dan ujian indeks kekuatan beban titik untuk kedua-dua jenis batuan adalah 0.000. Hasil ini menunjukkan bahawa perbezaan pengukuran kekuatan mampatan sepaksi, kekuatan regangan Brazil dan indeks kekuatan beban titik ( $I_{s50}$ ) antara bahan batuan segar dengan terluluhawa sedikit adalah bererti pada aras keyakinan 95%.



RAJAH 2. Plot kotak hasil ujian kekuatan mampatan sepaksi untuk (a) batuan granit dan (b) syis



RAJAH 3. Plot kotak hasil ujian kekuatan regangan Brazil untuk (a) batuan granit dan (b) syis



RAJAH 4. Plot kotak hasil ujian indeks kekuatan titik beban ( $Is_{50}$ ) untuk (a) batuan granit dan (b) syis

JADUAL 1. Ringkasan hasil statistik untuk ujian kekuatan mampatan sepaksi, ujian kekuatan regangan Brazil dan ujian indeks kekuatan titik beban ( $Is_{50}$ )

Jenis Ujian	Litologi dan Gred Luluhawa	Jumlah Ujian	Sisihan Piawai (MPa)	Median (MPa)	Pencongan	Purata (MPa)	Nilai P	Perbezaan dengan Gred I
Kekuatan Mampatan Sepaksi	granit (gred I)	85	32.6	104.6	positif	113.6±7.0	0.000	-
	granit (gred II)	38	11.1	68.4	positif	68.9±3.6		-39%
	syis (gred I)	61	35.9	124.8	positif	137.3±9.2		-
	syis (gred II)	21	11.1	85.9	negatif	84.8±5.1		-38%
Kekuatan Regangan Brazil	granit (gred I)	132	2.3	8.3	positif	8.8±0.4	0.000	-
	granit (gred II)	43	0.4	5.3	normal	5.3±0.1		-40%
	syis (gred I)	56	3.5	16.9	positif	17.1±0.9		-
	syis (gred II)	23	0.9	10.5	normal	10.5±0.4		-39%
Indeks Kekuatan Titik beban ( $Is_{50}$ )	granit (gred I)	218	2.3	8.9	positif	9.4±0.3	0.000	-
	granit (gred II)	77	0.5	5.6	normal	5.6±0.1		-40%
	syis (gred I)	179	2.9	10.1	positif	10.9±0.4		-
	syis (gred II)	80	0.5	7.0	normal	7.0±0.1		-36%

Daripada hasil analisis ujian kekuatan mampatan sepaksi, didapati nilai purata bahan batuan granit segar dan terluluhawa sedikit adalah  $113.6 \pm 7.0$  dan  $68.9 \pm 3.6$  MPa dengan sisihan piawai sebanyak 32.6 dan 11.1 MPa. Nilai purata bahan batuan syis adalah  $137.3 \pm 9.2$  dan  $84.8 \pm 5.1$  MPa dengan sisihan piawai sebanyak 35.9 dan 11.1 MPa. Perbezaan nilai purata antara bahan batuan granit segar dengan terluluhawa sedikit ialah 44.7 MPa iaitu nilai purata batuan segar berkurangan sebanyak 39% setelah mengalami proses luluhawa sedikit. Nilai purata bahan batuan syis segar berkurangan sebanyak 52.5 MPa (38%) setelah mengalami proses luluhawa sedikit. Hasil ujian juga menunjukkan bahawa nilai purata granit adalah lebih rendah daripada nilai purata syis untuk kedua-dua bahan batuan segar dan terluluhawa sedikit.

Untuk hasil ujian kekuatan regangan Brazil pula, nilai purata bahan batuan granit segar dan terluluhawa sedikit adalah  $8.8 \pm 0.4$  dan  $5.3 \pm 0.1$  MPa dengan sisihan piawai sebanyak 2.3 dan 0.4 MPa. Nilai purata bahan batuan syis adalah  $17.1 \pm 0.9$  dan  $10.5 \pm 0.4$  MPa dengan sisihan piawai sebanyak 3.5 dan 0.9 MPa. Nilai purata bahan batuan granit dan syis segar berkurangan sebanyak 3.5 (40%) dan 6.6 MPa (39%) setelah mengalami proses luluhawa sedikit. Hasil ujian ini juga menunjukkan bahawa nilai purata granit untuk kedua-dua bahan batuan segar dan terluluhawa sedikit adalah lebih rendah berbanding dengan nilai purata syis.

Untuk hasil ujian indeks kekuatan beban titik ( $I_{s_{50}}$ ), nilai purata bahan batuan granit dan syis segar berkurangan sebanyak 3.8 (40%) dan 3.9 MPa (36%) setelah mengalami proses luluhawa sedikit. Nilai purata bahan batuan granit segar dan terluluhawa sedikit adalah  $9.4 \pm 0.3$  dan  $5.6 \pm 0.1$  MPa dengan sisihan piawai sebanyak 2.3 dan 0.5 MPa. Nilai purata bahan batuan syis adalah  $10.9 \pm 0.4$  dan  $7.0 \pm 0.1$  MPa dengan sisihan piawai sebanyak 2.9 dan 0.5 MPa. Hasil ujian ini juga menunjukkan bahawa nilai purata syis untuk kedua-dua bahan batuan segar dan terluluhawa sedikit adalah lebih tinggi berbanding dengan nilai purata granit.

#### KESIMPULAN

Hasil ujian-t untuk ujian kekuatan mampatan sepaksi, ujian kekuatan regangan Brazil dan ujian indeks kekuatan beban titik bahan batuan granit dan syis menunjukkan bahawa perbezaan penentuan kekuatan geomekanik antara bahan batuan granit dan syis segar dengan terluluhawa sedikit adalah bererti pada aras keyakinan 95%. Kekuatan mampatan sepaksi, kekuatan regangan Brazil dan indeks kekuatan beban titik ( $I_{s_{50}}$ ) syis adalah lebih tinggi berbanding dengan granit untuk kedua-dua bahan batuan segar dan terluluhawa sedikit. Hasil kajian juga memaparkan bahawa kekuatan geomekanik untuk bahan batuan segar menyusut lebih kurang 1/3 (30 ~ 40%) setelah tahap perluluhawaan bahan batuan tersebut menurun ke peringkat luluhawa sedikit. Keadaan ini juga membawa maksud bahawa kekuatan geomekanik bahan batuan terluluhawa sedikit mempunyai lebih kurang 2/3 (60 ~ 70%) kekuatan bahan batuan segar granit dan

syis. Hasil analisis yang dilaksanakan membolehkan pengkuantitatifan pengaruh luluhawa terhadap kekuatan geomekanik bahan batuan granit dan syis.

#### 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

- Arnie Salfarina, A. 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*: 169-174.
- Bignell, J.D. & Snelling, N.J. 1977. Geochronology of Malayan granites. *Overseas Geology and Mineral Resources* 47: 77.
- Gobbett, D. J. 1964. The lower palaeozoic rocks of Kuala Lumpur, Malaysia. *Fed. Museums Jour.* 9: 67-70.
- Gobbett, D.J. & Hutchison, C.S. 1973. *Geology of the Malay Peninsular*. New York: John Wiley & Sons.
- Goodman, R.E. 1980. *Introduction to Rock Mechanics*. New York: John Wiley & Sons.
- 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*: 175-180.
- Hoek, E. & Bray, J.E. 1981. *Rock Slope Engineering*. Ed. ke-3, London: Inst. Min. Metall.
- ISRM. 1981. *Rock Characterization, Testing and Monitoring. ISRM Suggested Methods*, Brown (pnyt), Oxford: Pergamon Press.
- ISRM. 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength. *International Journal Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanics Abstracts* 22(2): 51-60.
- 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. (unpublished)
- Shu, Y.K. 1989. *Geology and mineral resources of Kuala Kelawang area*. District Memo: 20(1989). Kuala Lumpur: Geological Survey Malaysia.
- 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. (unpublished)
- A., Ghani Rafek & M. Hariri Arifin  
Program Geologi  
Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam  
Fakulti Sains dan Teknologi  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 Bangi, Selangor D.E.  
Malaysia

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: 12 April 2011

Diterima: 19 Ogos 2011