

Geokimia Pegmatit di Gunung Jerai dan Bukit Mor, Semenanjung Malaysia: Implikasi terhadap Pengelasan Pegmatit dan Potensi Pemineralan (Geochemistry of Pegmatites in Gunung Jerai and Bukit Mor, Peninsular Malaysia: Implications for Pegmatite Classification and Mineralization Potential)

NUR SYAHIRAH ALIAS^{1,*}, MOHD BASRIL ISWADI BASORI¹ & NASIRUDIN YUSOFF²

¹*Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM
Bangi, Selangor, Malaysia*

²*Pejabat Dekan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor,
Malaysia*

Diserahkan: 16 Mei 2024/Diterima: 11 September 2024

ABSTRAK

Pegmatit di sekitar Gunung Jerai, Kedah dan Bukit Mor, Johor, Semenanjung Malaysia adalah dua kawasan utama yang telah diteroka dan dilombong bagi mendapatkan timah (Sn). Namun, kajian pengelasan pegmatit dan potensi sumber logam nadir dalam pegmatit di Semenanjung Malaysia masih terhad dan belum pernah diterbitkan. Penyelidikan ini mengkaji pengelasan pegmatit dan potensi pemineralan logam nadir di dalam pegmatit Jerai dan Bukit Mor berdasarkan pencirian geokimia. Analisis geokimia menggunakan peralatan Spektrometri Pancaran Plasma Gandingan Aruhan (ICP-ES) dan Spektrometri Jisim Plasma Gandingan Aruhan (ICP-MS) dijalankan untuk menentukan kandungan unsur major, surih dan nadir bumi (REE) di dalam pegmatit. Hasil analisis geokimia menunjukkan kandungan yang tinggi bagi SiO_2 , Al_2O_3 dan $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ di dalam pegmatit di kedua-dua kawasan kajian dengan memperlihatkan komposisi granit iaitu berasal daripada protolit granit. Nilai indeks ketepuan aluminium (ASI) mengelaskan jenis magma yang membentuk pegmatit sebagai peralumina, manakala plot SiO_2 melawan $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ menunjukkan asalan magma bagi pembentukan pegmatit adalah granitoid jenis-S yang mengalami tahap fraksinasi tinggi. Seterusnya, pegmatit Jerai dan Bukit Mor boleh dikelaskan sebagai kumpulan LCT kerana dicirikan oleh kepekatan rendah Ca, Mg, Fe, Sr, Ba dan REE. Bagi potensi pemineralan, pegmatit Jerai dan Bukit Mor menunjukkan pengayaan bagi unsur logam nadir Rb, Li, Cs, Ga, Ta dan Sn dengan kelimpahan REE yang rendah hingga sederhana.

Kata kunci: Bukit Mor; geokimia; Gunung Jerai; pegmatit; pemineralan

ABSTRACT

Pegmatites in Gunung Jerai, Kedah and Bukit Mor, Johor, Peninsular Malaysia are the two main areas that have been explored and mined for tin (Sn). However, studies of pegmatite classification and potential sources of rare metals in pegmatites of Peninsular Malaysia are still very limited and have never been published. This study investigates the classification of pegmatite and its implications for rare metal mineralization in the Jerai and Bukit Mor pegmatites based on geochemical characterization. Geochemical analysis using Inductively Coupled Plasma-Emission Spectroscopy (ICP-ES) and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) were conducted to determine major, trace, and REE contents in pegmatites. The geochemical results show high SiO_2 , Al_2O_3 and $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ in pegmatite for both study areas, indicating a granite composition derived from granitic protoliths. The aluminium saturation index (ASI) classified the pegmatites as peraluminous, whereas the plot of SiO_2 versus $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ indicates the origin of the magma for the formation of the pegmatite is S-type granitoid that have experienced significant fractionation. Moreover, the Jerai and Bukit Mor pegmatites can be classified as LCT group pegmatites because they are characterized by low levels of Ca, Mg, Fe, Sr, Ba and REE contents. In term of mineralization potential, the Jerai and Bukit Mor pegmatites are enriched with rare metal elements such as Rb, Li, Cs, Ga, Ta, and Sn, and exhibit low to moderate levels of REE.

Keywords: Bukit Mor; geochemistry; Gunung Jerai; pegmatite; mineralization

PENGENALAN

Pegmatit merupakan batuan igneus yang mempunyai saiz mineral kasar hingga sangat kasar dan mengandungi

mineral penting bagi sumber logam nadir seperti Li, Sn, Ta, Nb, Be, Cs, Rb, Sc, Th, U dan nadir bumi (RE) (London 2008). Selain itu, mineral industri dan batu permata juga

terkandung dalam pegmatit (Černý 1991). Eksploitasi secara komersial potensi logam nadir dan RE bernilai ekonomi dalam pegmatit merupakan penyumbang utama sumber logam nadir di dunia (Dill 2015; Linnen, Van Lichtervelde & Černý 2012; London & Morgan 2012). Di Malaysia, potensi pegmatit sebagai sumber logam nadir timah (Sn) telah mula diteroka dan dilombong semasa era evolusi industri timah dunia. Pegmatit di sekitar Gunung Jerai, Kedah dan Bukit Mor, Johor, Semenanjung Malaysia merupakan dua kawasan utama yang diketahui dan terbukti melalui kajian yang sistematik sebagai jasad-jasad bijih timah primer mengandungi mineral kasiterit yang berasosiasi dengan mineral kolumbit dan tantalit (Bradford 1972; Lye 1984; Wan Fuad 2021). Malangnya, kebanyakan hasil kajian oleh para pengkaji terdahulu di kedua-dua kawasan ini adalah hak mutlak milik lombong dan menyebabkan sebahagian besarnya belum pernah diterbitkan. Oleh itu, objektif kajian ini bertujuan untuk mengkaji geokimia pegmatit di Gunung Jerai, Kedah dan Bukit Mor, Johor (Rajah 1), dengan memberi tumpuan kepada pengelasan pegmatit dan potensi pemineralan logam nadir.

GEOLOGI KAWASAN KAJIAN

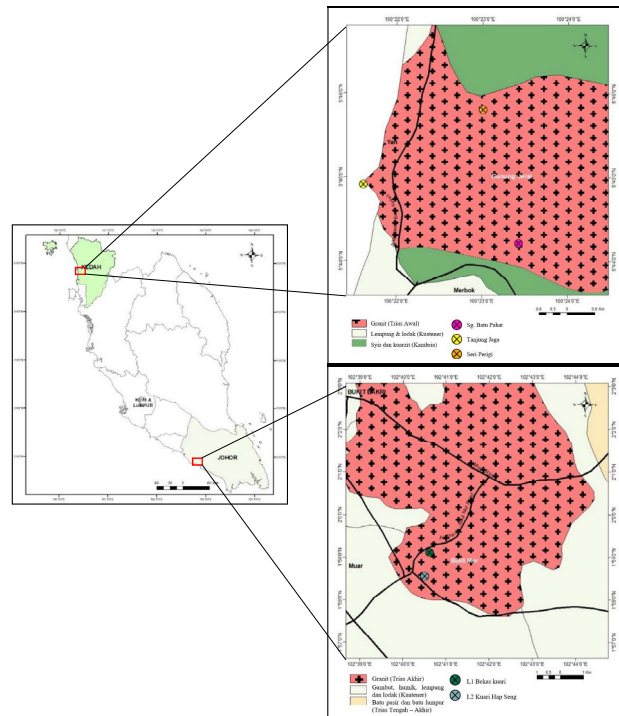
Kawasan kajian pegmatit di Kedah terletak di sekitar kaki Gunung Jerai. Geologi kawasan Gunung Jerai dan sekitarnya terdiri daripada batuan metasedimen syis, filit, kuarzit dan batuan vulkanik (Formasi Jerai), batuan granit (Pluton Jerai) dan batuan argilit (Formasi Mahang) (Bradford 1972). Formasi Jerai telah dibahagikan kepada tiga fasies iaitu fasies argilit, fasies arenit dan fasies porfiri kuarza oleh Bradford (1972), manakala Almashoor (1974) pula membahagikan formasi ini kepada tiga ahli iaitu ahli filit, ahli kuarzit dan ahli tuf. Pluton Jerai berbeza daripada Granit Banjaran Utama kerana ia dipotong oleh pegmatit yang berasosiasi dengan aplit dan pegmatit ini juga memotong batuan metasedimen Formasi Jerai di sekelilingnya (Bradford 1972). Jamil et al. (2016) telah membahagikan Pluton Jerai kepada tiga unit iaitu granit biotit-muskovit, granit turmalin dan pegmatit. Khoo (1977) pula mencadangkan bahawa pegmatit wujud sebagai daik sin-plutonik yang terbentuk bersama perejahan granit dalam Formasi Jerai.

Pegmatit yang dikaji tersingkap pada tiga lokaliti iaitu di Sg. Batu Pahat, Tanjung Jaga dan Seri Perigi. Jasad pegmatit di Sg. Batu Pahat didapati merejah batuan granit biotit-muskovit sebagai sil dan juga membentuk jasad lentikular dan pod (Rajah 2). Ketebalan jasad pegmatit di Sg. Batu Pahat adalah sekitar 0.5 cm hingga 6 m, dengan himpunan mineral utama pembentuk pegmatit terdiri daripada kuarza, feldspar, muskovit dan turmalin. Pembentukan jasad pegmatit di Tanjung Jaga berlaku dalam skala besar dengan merejah batuan syis Formasi Jerai (Rajah 3). Struktur bumbung tergantung dapat dilihat dengan jelas pada sempadan persentuhan antara pegmatit

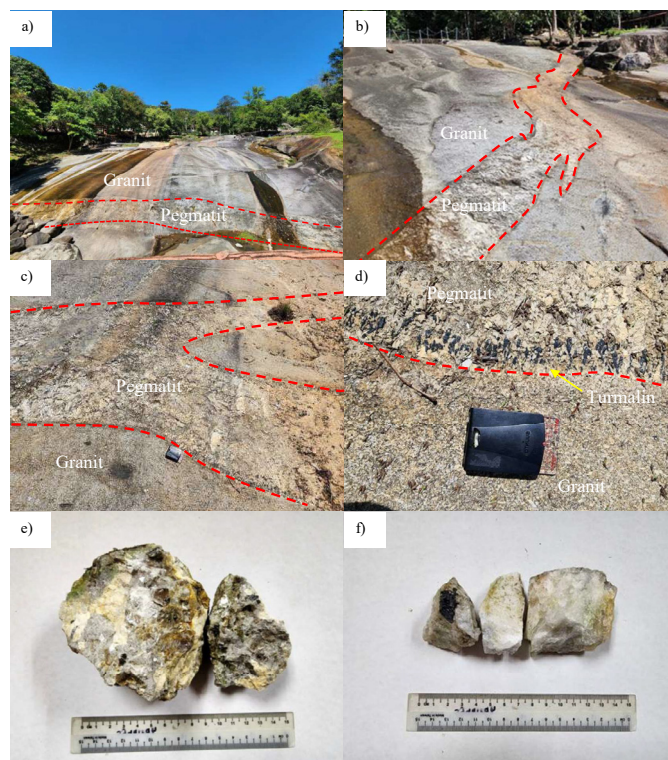
dan batuan syis. Himpunan mineral utama dalam pegmatit di Tanjung Jaga terdiri daripada kuarza, feldspar, muskovit, turmalin dan garnet. Kedua-dua jenis pegmatit di Sg. Batu Pahat dan Tanjung Jaga boleh dikelaskan sebagai pegmatit kompleks kerana mengandungi mineral aksesori turmalin dan garnet. Pada lokaliti Seri Perigi, batuan pegmatit tersingkap di bahagian sebelah kiri air terjun (Rajah 4). Pegmatit di sini berketebalan kurang daripada 1 m dengan merejah batuan kuarzit dalam bentuk jasad sil. Pegmatit di Seri Perigi hanya mempunyai himpunan mineral kuarza, feldspar dan muskovit sebagai mineral utama pembentukannya dan boleh dikelaskan sebagai pegmatit mudah kerana tidak mempunyai mineral aksesori yang lain.

Rejahan pegmatit di Bukit Mor tersingkap dalam jasad granit yang membentuk morfologi bukit. Umumnya, geologi kawasan Bukit Mor dibentuk oleh jasad igneus Pluton Mor yang merejah formasi batuan di bahagian timur dan diselimuti oleh bahan sedimen yang tersebar dengan meluas? (Rajah 5). Pluton Mor termasuk dalam Granit Banjaran Utama, dikategorikan sebagai jenis-S dan direjahi oleh telor pegmatit dan kuarza (Askury 1992). Pluton Mor terdiri daripada dua unit batuan iaitu granit dan pegmatit (Wan Fuad & Mohamad Anuar 1985). Dua unit batuan utama Pluton Mor adalah granit biotit berbutiran sederhana ke kasar, berporfir hingga tidak berporfir dan granit biotit berbutiran sederhana berporfir (Askury 1992). Pegmatit wujud sebagai jasad yang merejah dan memotong kedua-dua unit batuan ini, dengan membentuk struktur telor dan kekanta secara mendatar atau tabular (Askury 1992). Dua jenis pegmatit telah dikenal pasti terbentuk di Bukit Mor iaitu pegmatit bergrafit dan pegmatit feldspar-muskovit (Askury 1992). Merujuk kepada Peta Geologi Semenanjung Malaysia (Jabatan Mineral & Geosains 2014) dan hasil kajian ini telah mengenal pasti formasi batuan ini berusia Trias? dan terdiri daripada jujukan selang lapis batu pasir, batu lodak dan syal, manakala sedimen yang tersebar dengan meluas di kawasan Bukit Mor dan sekitarnya terdiri daripada bahan lempung, lodak, pasir, gambut dan kerikil berkemungkinan berusia Kuarter?

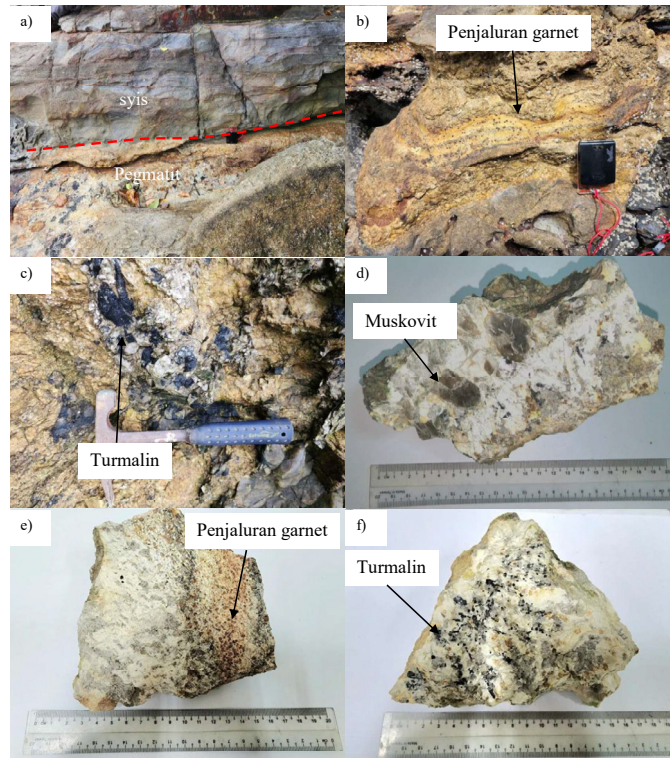
Kajian pegmatit dijalankan di sebuah bekas kuari iaitu Kuari Muar dan di sebuah kuari yang masih aktif beroperasi iaitu Kuari Hap Seng. Kedua-dua lokaliti kajian ini terletak kira-kira 15 km dari bandar Muar. Di kawasan bekas kuari (Kuari Muar), pegmatit grafit berkomposisi kuarza dan feldspar dijumpai sebagai bongkah batuan. Tekstur grafit ini ditunjukkan oleh pembentukan kuarza dan feldspar yang saling bertumbuh. Selain itu, pegmatit berkomposisi kuarza, feldspar, biotit dan muskovit (pegmatit kompleks) dicerap membentuk singkapan di kawasan bekas kuari dan juga di Kuari Hap Seng. Pegmatit yang terbentuk di Kuari Hap Seng membentuk jasad sil dengan saiz besar dan masif serta merejah batuan granit biotit berporfir Pluton Mor. Ringkasan himpunan mineral utama pembentuk pegmatit Jerai dan Bukit Mor ditunjukkan pada Jadual 1.



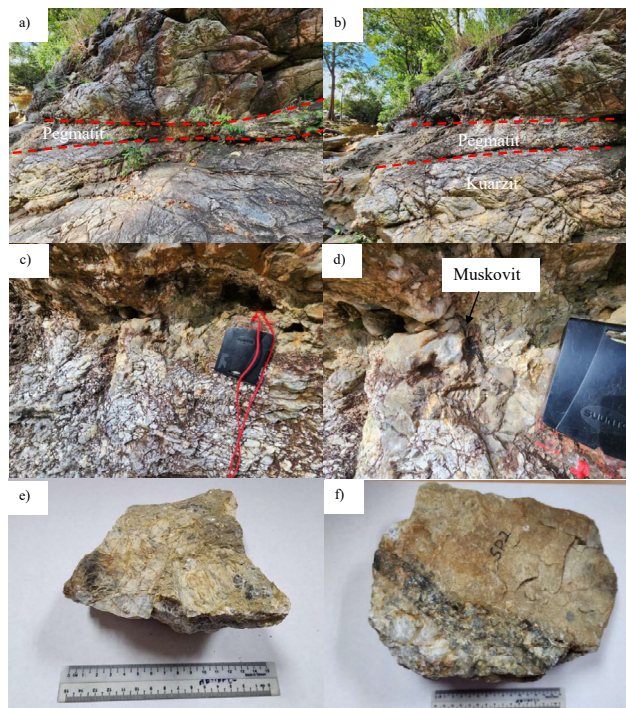
RAJAH 1. Peta kawasan kajian pegmatit yang dilakukan di sekitar Gunung Jerai, Kedah dan Bukit Mor, Johor



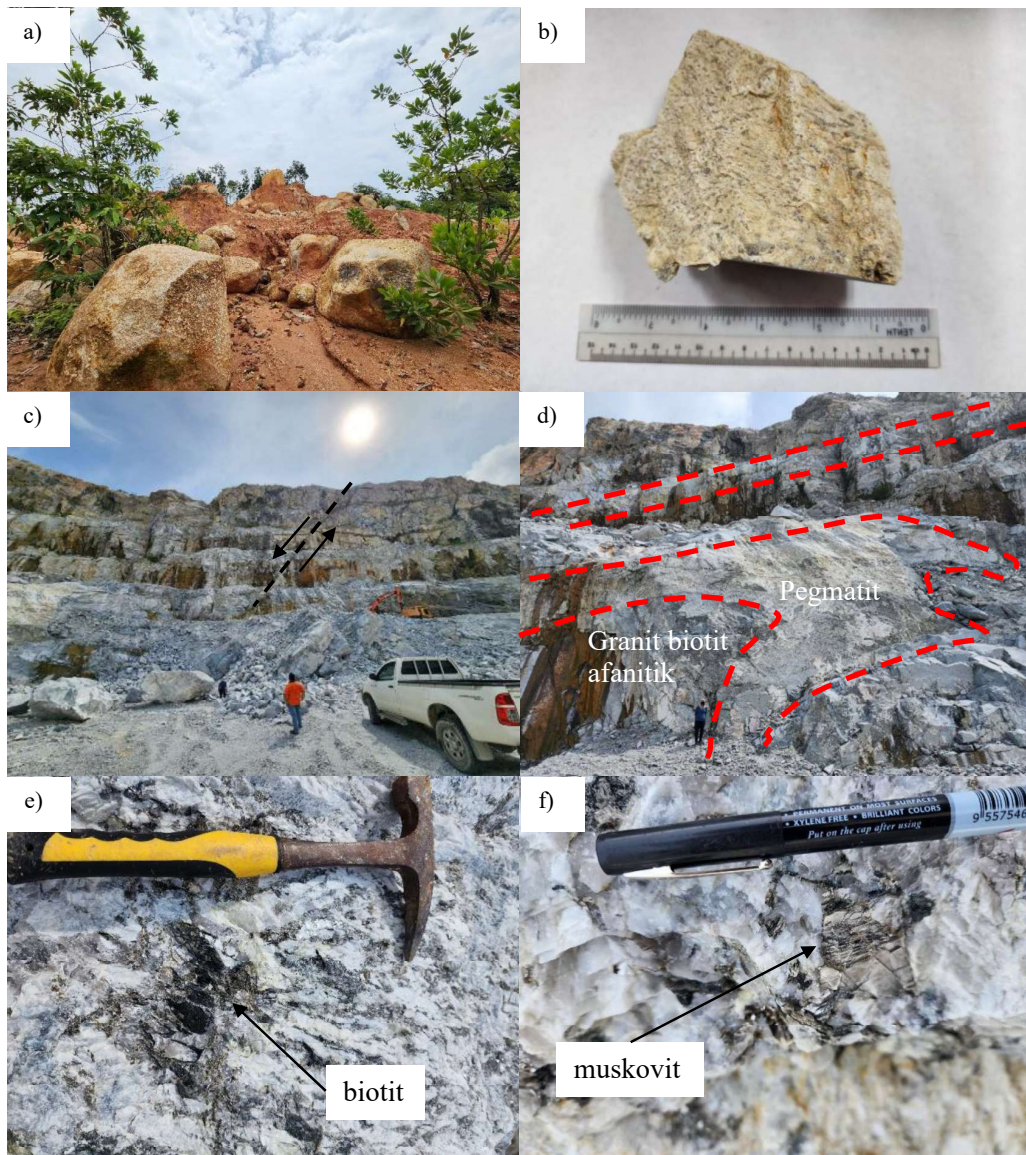
RAJAH 2. (a,b,c) Pegmatit menerjah batuan granit bitotit-muskovit di Sg. Batu Pahat secara jasad sil, (d) Mineral turmalin terbentuk secara tersusun di sempadan persentuhan antara pegmatit dan granit dan (e,f) Sampel pegmatit yang mengandungi mineral kuarza, feldspar, muskovit dan turmalin



RAJAH 3. (a,b,c) Singkapan pegmatit di lapangan yang merejah batuan syis. Penjaluran garnet dan mineral turmalin bersaiz besar dalam pegmatit dan (d,e,f) Sampel pegmatit menunjukkan tekstur dan kandungan mineral yang berbeza



RAJAH 4. (a,b,c,d) Pegmatit di Seri Perigi yang terbentuk dengan merejah batuan kuarzit dan (e,f) Sampel tangan pegmatit dari Seri Perigi



RAJAH 5. (a,b) Kawasan bekas kuari di Bukit Mor yang direjahi oleh pegmatit bergrafik, (c,d) Rejahan pegmatit pada singkapan teres kuari di Kuari Hap Seng dan (e,f) Penghabluran muskovit dan biotit berbentuk seakan-akan buku yang dominan dalam pegmatit di Kuari Hap Seng

JADUAL 1: Jenis pegmatit di Gunung Jerai, Kedah dan Bukit Mor, Johor mengikut himpunan mineral

Negeri	Jenis Pegmatit Mengikut Himpunan Mineral
Kedah	1. Pegmatit kompleks (Qz+Pl+Afs+Ms+Tur) 2. Pegmatit mudah (Qz+Pl+Afs+Ms)
Johor	1. Pegmatit grafik (Qz+Afs) 2. Pegmatit kompleks (Qz+Pl+Afs+Ms+Bt)

Anotasi: Qz=Kuarza; Pl=Plagioklas; Afs=Feldspar alkali; Ms=Muskovit; Tur=Turmalin;
Bt=Biotit

BAHAN DAN KAEDAH KAJIAN

Sebelas sampel yang mewakili 6 pegmatit dari Gunung Jerai dan 5 pegmatit dari Bukit Mor telah dihantar ke Makmal Bureau Veritas di Kanada bagi analisis unsur major, unsur surih dan unsur nadir bumi. Sebelum dihantar untuk analisis, sampel batuan dipecahkan menjadi serpihan batuan yang kecil menggunakan mesin pemecah batuan dan diserbukkan menggunakan mesin pengisar sehingga sampel serbuk tersebut homogen di makmal pecah batu, Bangunan Sains Geologi, FST, UKM. Bagi analisis unsur major, kaedah lakuran alkali menggunakan $\text{LiBO}_2/\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ dilakukan untuk pelarutan sampel (Jarvis 1990). Sampel serbuk dicampur dengan fluks $\text{LiBO}_2/\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ dan seterusnya dilarutkan dalam asid nitrik gred ACS serta dianalisis menggunakan peralatan ICP-ES model Spectro Ciros/Arcos. Bagi analisis unsur surih dan unsur nadir bumi pula, sampel serbuk dilarutkan dengan kaedah pencernaan asid (Chao & Sanzalone 1992; Jarvis 1990) dan sampel tersebut dilarutkan dengan larutan asid (2:2:1:1) H_2O - HF - HClO_4 - HNO_3 dan dipanaskan selepas penambahan 50% HCl . Kemudian, larutan disejukkan sebelum dipindah ke dalam tabung uji dan diisi dengan HCl . Larutan ini seterusnya dianalisis dengan peralatan ICP-MS model PerkinElmer ELAN 9000.

HASIL DAN PERBINCANGAN

PENGELASAN PEGMATIT BERDASARKAN GEOKIMIA UNSUR MAJOR, UNSUR SURIH DAN UNSUR NADIR BUMI (REE)

Komposisi unsur major pegmatit dari Gunung Jerai, Kedah dan Bukit Mor, Johor ditunjukkan dalam Jadual 2. Secara umumnya, sampel pegmatit dari Kedah dan Johor mempunyai komposisi unsur major yang hampir sama. Pegmatit ini dicirikan oleh komposisi silika, SiO_2 (68.45 – 81.21 wt%), alumina, Al_2O_3 (12.25 – 20.14 wt%) dan alkali ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 3.94 - 12.85$ wt%) yang tinggi. Namun, pegmatit-pegmatit ini mempunyai julat yang rendah bagi CaO (0.04 - 0.73 wt%), MnO (<0.01 - 0.37 wt%) dan P_2O_5 (0.02 - 0.49 wt%). Berdasarkan plot jumlah alkali silika (TAS) iaitu SiO_2 melawan $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ seperti dicadangkan oleh Middlemost (1994), kesemua sampel pegmatit yang diplot jatuh dalam lapangan granit. Keputusan ini jelas menunjukkan pegmatit mempunyai komposisi geokimia yang setara dengan granit dan menyokong protolit granit bagi asalan pegmatit (Rajah 6). Seterusnya, plot $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ melawan $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (Rajah 7) sempena Shand (1943) menunjukkan pegmatit di Kedah dan Johor bersifat peralumina (kaya aluminium), manakala pada plot SiO_2 melawan $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ sempena Maniar dan Piccoli (1989), sampel pegmatit dikelaskan sebagai granitoid jenis-S (Rajah 8).

Selanjutnya, dalam graf Rb melawan Yb + Ta dan Rb melawan Nb + Y seperti cadangan Pearce, Nigel dan

Tindle (1994), kebanyakan sampel pegmatit terbentuk dalam sekitaran tektonik sin- perlanggaran (Rajah 9). Hasil pengelasan pegmatit seperti ditunjukkan jelas mencadangkan bahawa pegmatit di Kedah dan Johor berasal daripada sumber yang bercampur sama ada daripada proses fraksinasi semasa peleburan magma granit (Černý 1991; Černý, London & Novak 2012; Jahns & Burnham 1969; London 2008) dan proses anateksis semasa peleburan separa meta-sedimen (Dill 2018, 2016, 2015; Jamil et al. 2016; London et al. 2012; Lv, Zhang & Tang 2021; Martin & De Vito 2005; Müller et al. 2016; Simmons 2016; Simmons & Falster 2016).

Umumnya, kelimpahan jumlah unsur nadir bumi (ΣREE) dalam pegmatit Jerai daripada 0.18 - 24.61 ppm adalah lebih rendah berbanding pegmatit Bukit Mor iaitu 9.78 - 152.77 ppm. Namun, pengayaan unsur nadir bumi ringan (LREE) dalam pegmatit Jerai dan Bukit Mor sekitar 0.48 - 128.57 ppm adalah lebih tinggi berbanding unsur nadir bumi berat (HREE) iaitu berjulat antara 0.9 - 43.2 ppm. Trend pengayaan dan penyusutan REE ini yang dinormalkan terhadap kondrit seperti dicadangkan oleh Sun dan McDonough (1989), jelas menunjukkan trend pengayaan LREE dengan penyusutan HREE (Rajah 10).

Secara perbandingannya, kepekatan unsur logam nadir dalam pegmatit Jerai dan Bukit Mor dengan julat kepekatan granit dan pegmatit yang mengandungi unsur surih dan unsur nadir bumi oleh Černý (1989) mengelaskan pegmatit Jerai dan Bukit Mor sebagai pegmatit kumpulan LCT dengan kedua-dua pegmatit menunjukkan kepekatan rendah unsur logam Ca, Mg, Fe, Sr dan Ba termasuk unsur nadir bumi (REE) tetapi kaya dengan unsur logam nadir seperti Rb, Li, Cs, Ga dan Ta serta Sn (Jadual 4).

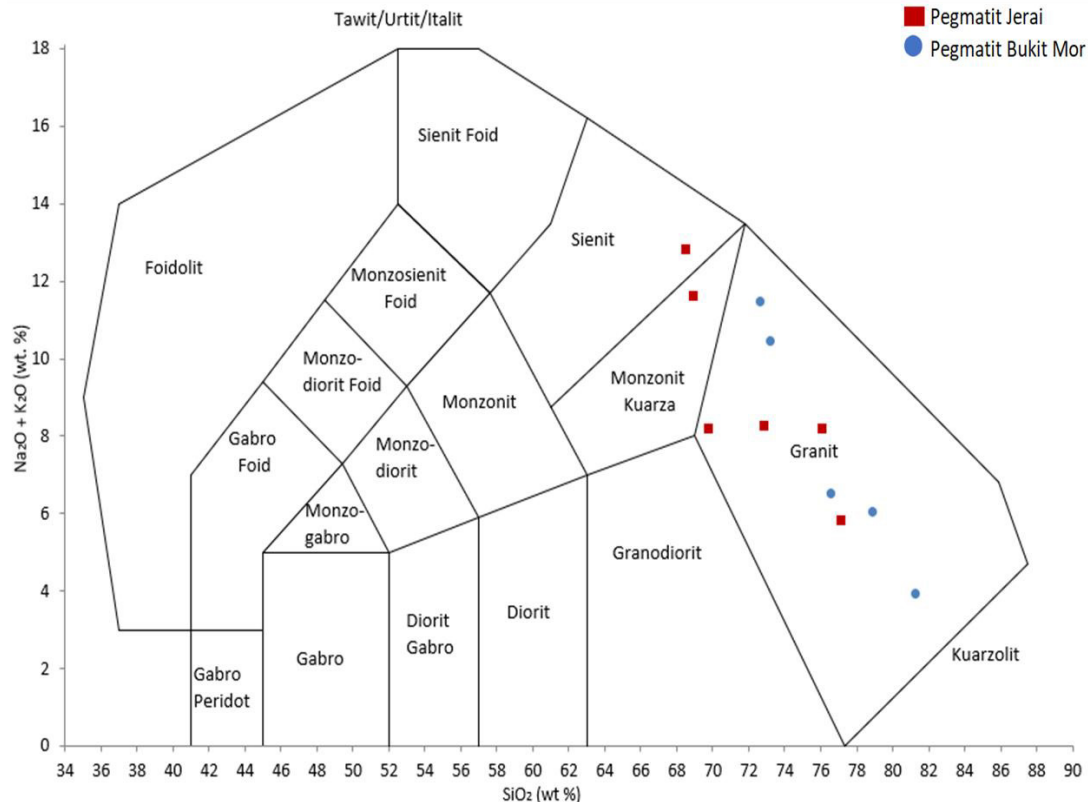
POTENSI PEMINERALAN PEGMATIT BERDASARKAN GEOKIMIA UNSUR SURIH DAN UNSUR NADIR BUMI (REE)

Potensi pemineralan pegmatit Jerai dan Bukit Mor dianalisis berdasarkan kepada kepekatan unsur surih dan unsur nadir bumi seperti ditunjukkan dalam Jadual 3. Secara umumnya, didapati pegmatit Jerai menunjukkan pengayaan yang tinggi bagi unsur surih Rb (249.8 - <2000 ppm), Li (19.1 - 117.6 ppm), Cs (7.4 - 168.5 ppm), Ga (18.05 - 62.47 ppm), Ta (1.3 - 63.3 ppm) dan Nb (6.4 - 60.22 ppm), manakala pegmatit Bukit Mor pula menunjukkan pengayaan yang sederhana hingga tinggi bagi unsur surih seperti Rb (53.3 - 808.6 ppm), Li (5.2 - 70.6 ppm), Cs (5.4 - 23.9 ppm), Ga (15.12 - 40.29 ppm), Ta (0.4 - 3.4 ppm) dan Nb (6.3 - 46.36 ppm).

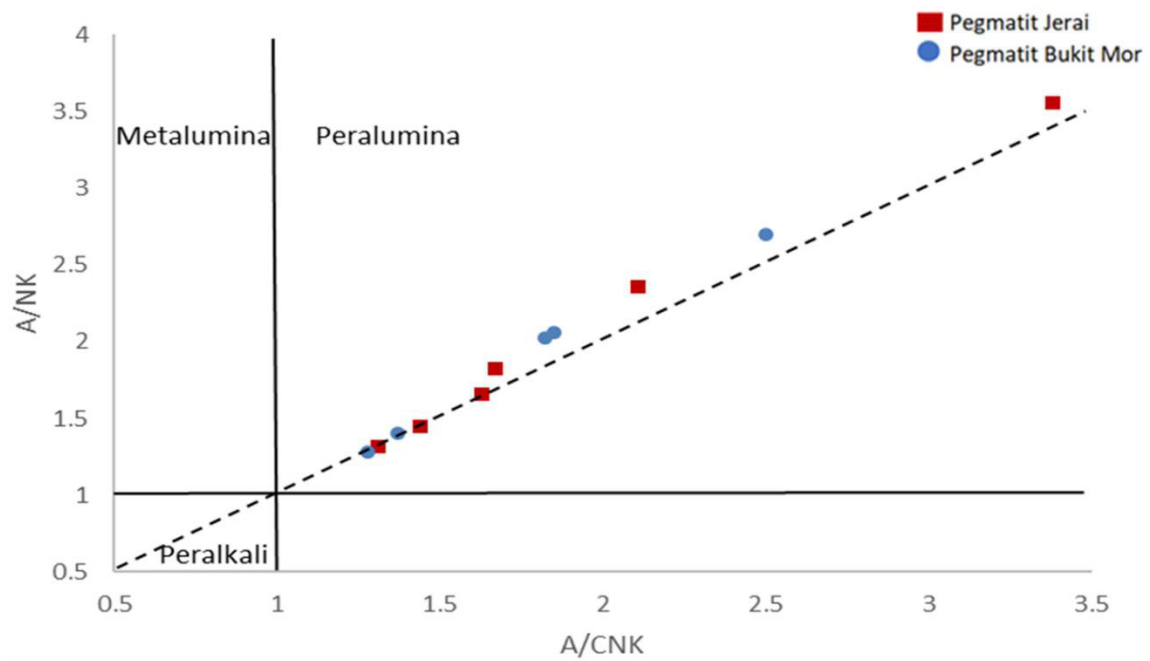
Menurut Beus (1968) dan Černý (1989), nisbah $\text{Mg}/\text{Li} < 30$ ppm menunjukkan darjah fraksinasi pegmatit yang terbentuk adalah tinggi dan akan mempunyai kandungan tinggi logam Li. Oleh itu, nisbah Mg/Li bagi pegmatit Jerai (0.85 - 44.17 ppm) dan Bukit Mor (5.77 - 19.23 ppm) yang relatifnya rendah (Jadual 3) menunjukkan kandungan tinggi atau potensi pemineralan Li wujud dalam sampel pegmatit Jerai dan Bukit Mor.

JADUAL 2. Komposisi unsur major bagi pegmatit di Kedah dan Johor

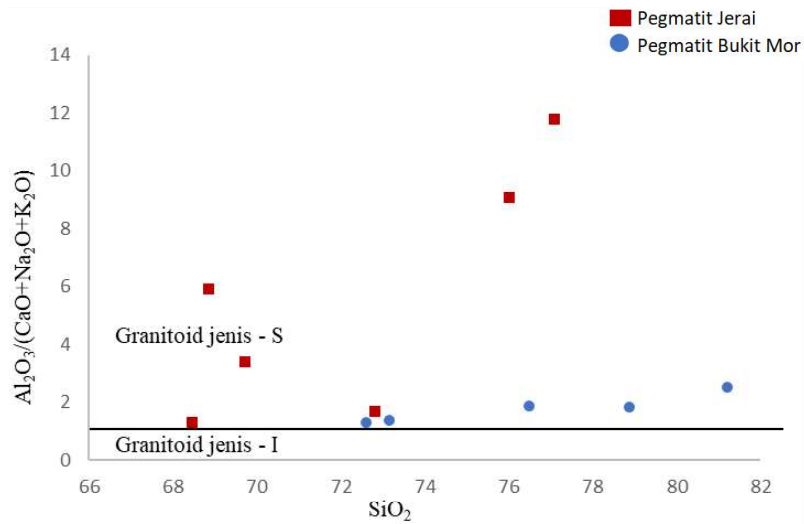
Unsur Major (wt%)	Kedah										Johor					Julat (wt%)	Purata (wt%)
	Sg. Batu Pahat		Tanjung Jaga		Seri Perigi		Bukit Mor		Kuari Hap Seng								
	Pg-SBP-01	Pg-SBP-03	Pg-TJ-02	Pg-TJ-08SW	Pg-SP-06	Pg-SP-07	Pg-BM-02	Pg-BM-03	Pg-KHS-04	Pg-KHS-09	Pg-KHS-10						
SiO ₂ (wt%)	72.8	77.08	68.85	76	68.45	69.72	72.61	78.87	81.21	73.16	76.49	68.45 - 81.21	67.94				
Al ₂ O ₃	15.04	13.81	16.83	13.6	16.95	20.14	14.79	12.25	10.65	14.67	13.5	12.25 - 20.14	13.52				
Fe ₂ O ₃	1	0.44	0.1	0.3	0.07	0.69	0.19	0.98	1.69	0.4	1.03	0.1 - 1.69	0.57				
MgO	0.19	0.13	0.06	0.07	0.01	0.02	0.01	0.02	0.12	0.03	0.05	0.01 - 0.19	0.06				
CaO	0.7	0.7	0.04	0.15	0.06	0.01	0.05	0.66	0.32	0.22	0.73	0.04 - 0.73	0.30				
Na ₂ O	3.34	3.04	2.14	3.63	0.98	0.27	2.33	5.58	1.81	2.81	5.14	0.27 - 6.84	2.59				
K ₂ O	4.94	2.81	9.49	4.58	11.87	5.68	9.18	0.48	2.13	7.68	1.41	0.48 - 11.87	5.02				
TiO ₂	0.09	0.08	<0.01	0.03	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	0.05	0.01	0.02	<0.01 - 0.09	0.03				
P ₂ O ₅	0.14	0.08	0.49	0.37	0.44	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02 - 0.49	0.14				
MnO	0.03	0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.02	0.01	0.24	0.06	0.01	0.09	<0.01 - 0.37	0.07				
Cr ₂ O ₃	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002				
Na ₂ O+K ₂ O	8.28	5.85	11.63	8.21	12.85	5.95	11.51	6.06	3.94	10.49	6.55	3.94-12.85	8.3				
LOI	1.4	1.6	1.9	1	1	3	0.6	0.7	1.7	0.8	1.3						
Jumlah	99.7	99.77	99.91	99.76	99.85	99.64	99.81	99.84	99.8	99.83	99.82						



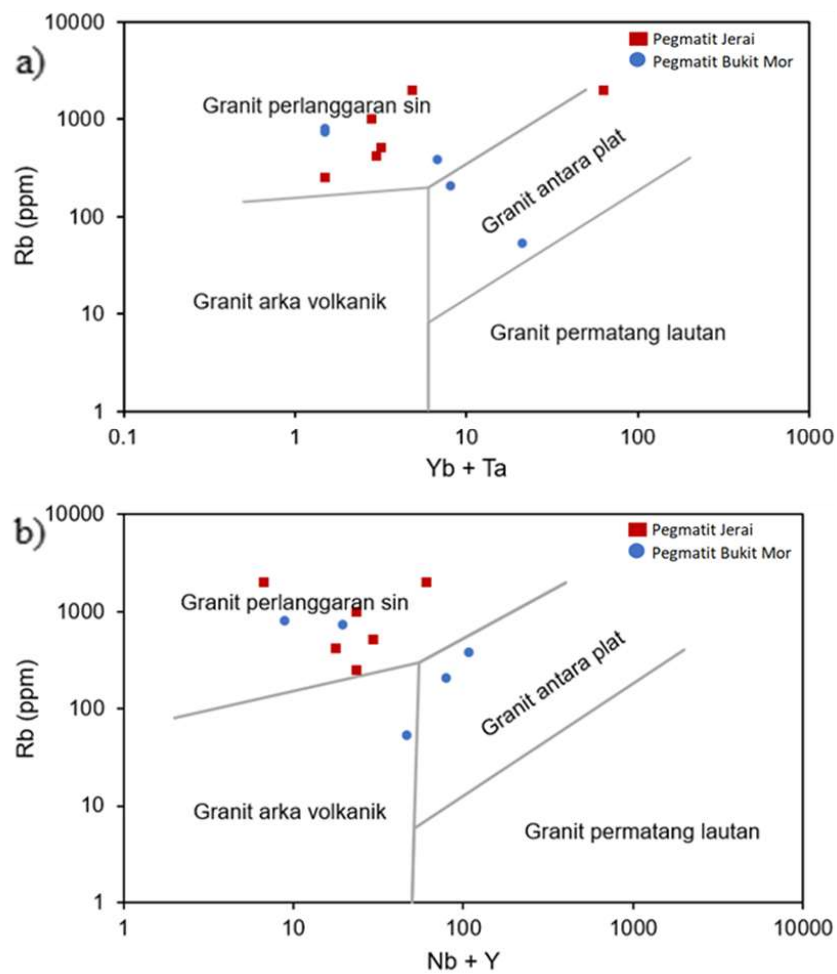
RAJAH 6. Plot TAS sampel pegmatit Jerai dan Bukit Mor (Middlemost 1994)



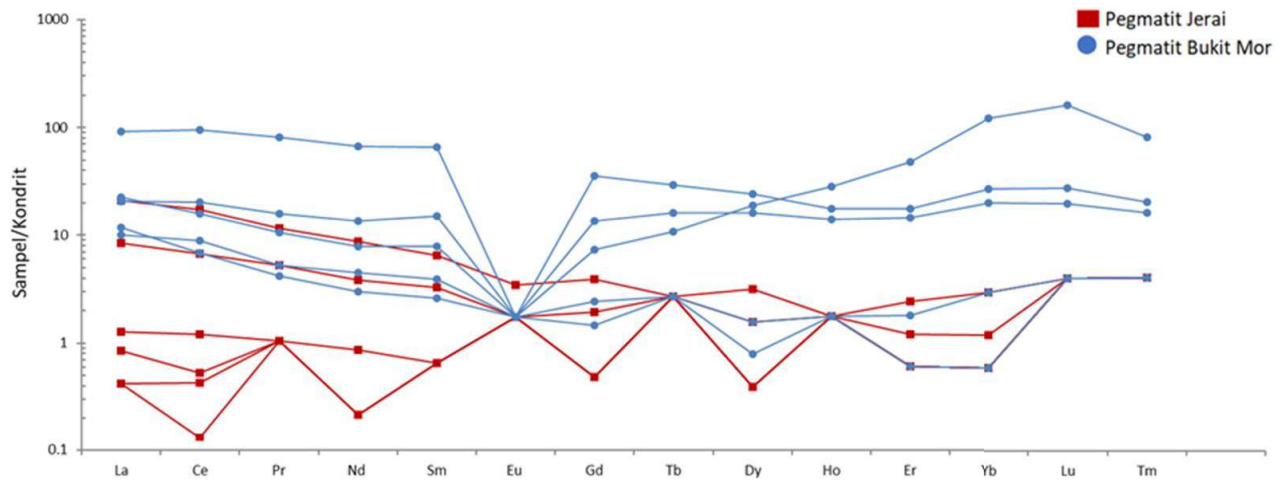
RAJAH 7. Pegmatit Jerai dan Bukit Mor dalam plot unsur $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ melawan $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ sempena Shand (1943)



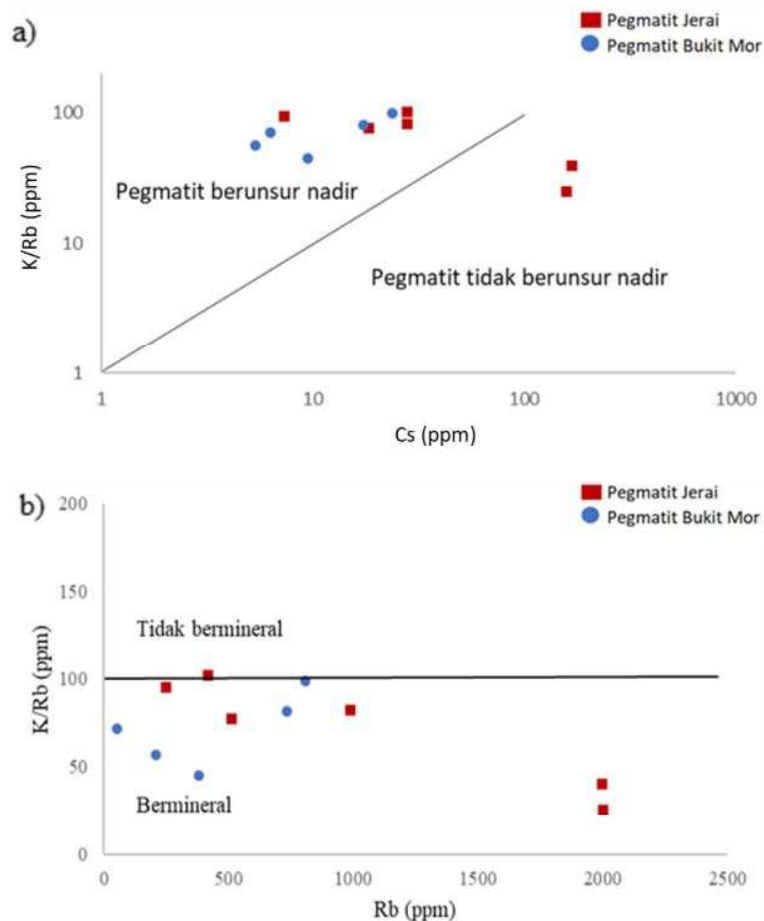
RAJAH 8. Plot unsur $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ melawan SiO_2 pegmatit Jerai dan Bukit Mor berdasarkan Maniar dan Piccoli (1989)



RAJAH 9. Graf Rb melawan Yb+Ta (a) dan Rb melawan Nb+Y (b) pegmatit Jerai dan Bukit Mor seperti dicadangkan oleh Pearce, Nigel dan Tindle (1984)



RAJAH 10. Trend unsur nadir bumi (REE) yang dinormalkan terhadap kondrit seperti dicadangkan oleh Sun dan McDonough (1989)



RAJAH 11. Graf K/Rb melawan Cs (a) dan K/Rb melawan Rb (b) pegmatit yang dikaji di Jerai dan Bukit Mor berdasarkan Möller dan Morteani (1987) dan Straurov, Stolyarov dan Isocheva (1969)

JADUAL 3. Komposisi unsur surih dan unsur nadir bumi bagi pegmatit di Kedah dan Johor

Unsur Surih & Unsur	Kedah				Johor					
	Sg. Batu Pahat		Tanjung Jaga		Seri Perigi		Bukit Mor		Kuari Hap Seng	
	Pg-SBP-01	Pg-SBP-03	Pg-TJ-02	Pg-TJ-08SW	Pg-SP-06	Pg-SP-07	Pg-BM-02	Pg-BM-03	Pg-KHS-04	Pg-KHS-09 Pg-KHS-10
Mo (ppm)	0.05	<0.05	0.1	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05
Cu	0.8	0.1	1.1	2.5	0.4	1.1	0.3	1.2	1.7	1.2
Pb	41.73	16.64	11.23	5.48	27.1	2.54	102.63	49.18	13.86	27.23
Zn	43.5	17	5.2	11.2	5.9	34.7	7.2	7.5	109.9	66.6
Ag	0.048	0.097	0.023	0.038	0.048	<0.02	0.024	0.054	0.085	0.075
Ni	1.1	0.5	1.3	0.9	0.3	0.6	0.5	0.6	0.7	0.5
Co	84.3	73.4	70.3	84.1	36.8	65.8	75.2	80.5	100.3	81.8
Mn	232	100	9	102	25	134	77	1751	413	624
Fe	6700	3100	500	1200	500	4800	1400	6800	11600	7000
As	<0.2	0.8	4.4	2.2	1.7	2.7	1.5	0.8	1.3	<0.2
U	8.9	2.2	1	1.3	4	0.8	1.1	64.1	17.2	28.8
Th	3.5	1	<0.1	<0.1	0.2	0.3	1.5	19.9	16.3	29.9
Sr	23	11	28	37	13	2	2	14	3	4
Cd	0.11	0.05	<0.02	0.13	0.05	<0.02	<0.02	0.26	0.22	0.43
Sb	0.09	0.07	0.29	0.24	0.29	0.08	0.04	0.05	0.03	0.03
Bi	0.66	7.05	0.96	3.89	0.08	0.05	0.27	0.21	48.75	1.77
V	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2	<2
Ca	5000	4700	300	1100	400	<100	300	4600	2200	5200
P	690	320	2170	1600	1990	180	170	110	30	130
La	5	2	0.3	0.2	0.1	<0.1	2.4	5.3	4.9	21.9
Cr	4	<1	1	1	2	<1	<1	1	2	2
Mg	1100	700	300	300	<100	100	<100	100	700	300
Ba	81	21	25	10	121	29	3	5	2	2
Ti	560	540	60	120	30	220	30	10	320	140

bersambung ke halaman seterusnya...

...bersambung dari halaman sebelumnya

Al	71700	63600	77900	61600	78500	93500	71900	57600	51100	71300	64800
Na	26330	23370	16710	27910	7430	2230	17720	43180	13330	21310	40250
K	42700	23700	81300	39400	78900	49800	79900	3800	17000	59900	11800
W	>200.0	>200.0	>200.0	>200.0	>200.0	>200.0	>200.0	>200.0	>200.0	>200.0	>200.0
Zr	3.6	0.7	<0.2	0.3	<0.2	1.9	0.4	53.2	4.4	0.5	29.5
Sn	18.2	14.8	5.6	12.8	8.9	247.5	8.6	4.9	64.2	17	23.9
Be	2	2	2	3	83	433	1	5	3	2	4
Sc	2	7.7	0.7	2.6	<0.1	<0.1	1	6.8	69.1	10.7	16.1
S	<400	<400	<400	<400	<400	<400	<400	<400	<400	<400	<400
Y	3.8	1.8	0.3	0.4	0.3	<0.1	2.6	44.4	25.8	1.5	33.3
Ce	10.51	4.14	0.74	0.32	0.26	0.08	5.42	9.69	12.45	4.18	57.77
Pr	1.1	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	1	1.5	0.4	7.7
Nd	4.1	1.8	0.4	0.1	0.1	<0.1	2.1	3.7	6.3	1.4	31.2
Sm	1	0.5	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	1.2	2.3	0.4	10
Eu	0.2	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Gd	0.8	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	1.5	2.8	0.3	7.3
Tb	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.4	0.6	<0.1	1.1
Dy	0.8	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.4	4.8	4.1	0.2	6.1
Ho	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.6	0.8	<0.1	1
Er	0.4	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	7.9	2.4	<0.1	2.9
Tm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2	0.4	<0.1	0.5
Yb	0.5	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	20.8	3.4	0.1	4.6
Lu	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	4.1	0.5	<0.1	0.7

bersambung ke halaman seterusnya...

...bersambung dari halaman sebelumnya

Hf	0.15	0.05	<0.02	<0.02	<0.02	0.32	0.03	3.4	0.38	0.05	1.86
Li	24.9	56.5	27.8	19.1	25.4	117.6	17.5	5.2	70.6	16.4	23.2
Rb	419.7	249.8	991.5	513.6	>2000.0	>2000.0	808.6	53.3	379.1	734.3	207.2
Ta	2.5	1.3	2.7	3.1	4.7	63.3	1	0.4	3.4	1.4	3.4
Nb	14.03	21.83	23.25	28.93	6.4	60.22	6.3	1.99	82.1	17.88	46.36
Cs	28	7.4	28.2	18.4	168.5	158.7	23.9	6.3	9.5	17.4	5.4
Ga	19.69	28.29	18.05	20.22	18.82	62.47	15.12	15.74	40.29	21.81	27.92
In	0.04	0.14	0.01	0.05	<0.01	0.02	0.04	0.03	1.06	0.22	0.31
Re	0.003	0.003	<0.002	0.003	<0.002	<0.002	0.002	0.002	0.002	<0.002	0.002
Se	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.4	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Te	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.16	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Tl	2.36	1.1	4.8	2.4	30.22	11.97	5.48	0.37	1.81	5.15	1.05
ΣREE	24.61	10.24	1.44	0.62	0.46	0.18	12.72	63.99	42.45	9.78	152.77
HREE	3.1	1.7	0.9	0.9	0.9	0.9	2.2	43.2	15.1	1.2	24.3
LREE	21.71	8.94	1.64	0.82	0.66	0.48	11.02	20.89	27.45	9.18	128.57
K/Rb	101.74	94.888	82	76.71	39.43	24.89	98.81	71.29	44.84	81.57	56.95
Nb/Ta	5.61	16.79	8.61	9.33	1.36	0.95	6.3	4.98	24.15	12.77	13.64
K/Cs	1525	3202.7	2882.98	2141.3	468.25	313.8	3343.1	603.17	1789.47	3442.53	2185.19
Mg/Li	44.17	12.38	10.79	15.71	3.93	0.85	5.77	19.23	9.92	12.19	12.93
Rb/Sr	18.24	22.7	35.41	13.88	153.92	1000.5	404.3	3.8	126.36	122.38	51.8
Zr/Hf	24	14	10	15	10	5.94	13.33	15.65	11.58	10	15.86

JADUAL 4. Julat kandungan unsur surih dan nisbah unsur dalam granit dan pegmatit berdasarkan Černý (1989)

Unsur Surih	ppm	Nisbah Unsur	ppm
Ti	<100-4300	K/Rb	42-270
Sr	<1-445	K/Cs	1600-15400
Ba	6-900	K/Ba	48-18200
Zr	<1-77	Rb/Sr	1.6-185
Li	1-3540	Mg/Li	1.7-50
Be	1-604	Al/Ga	1180-3100
Ga	19-90	Zr/Hf	14-64
Rb	32-5775		
Cs	3-51		
Y	3-102		
Sn	<1-112		

Seterusnya, pegmatit yang mempunyai nisbah K/Rb <100 ppm dianggap mengalami pemineralan seperti dicadangkan oleh Möller dan Morteani (1987) dan Straurov, Stolyarov dan Isocheva (1969). Nilai nisbah K/Rb bagi pegmatit Jerai adalah 24.89 - 101.74 ppm, manakala pegmatit Bukit Mor adalah 44.84 - 98.81 ppm. (Jadual 3). Ini menunjukkan bahawa pegmatit di kedua-dua kawasan kajian mengalami pemineralan logam nadir. Seterusnya, plot nisbah K/Rb melawan Cs (Möller & Morteani 1987) dan K/Rb melawan Rb (Straurov, Stolyarov & Isocheva 1969) juga jelas menunjukkan pegmatit Jerai dan Bukit Mor adalah pegmatit yang mengalami pemineralan logam nadir (Rajah 11). Selanjutnya, menurut Černý (1991) dan Černý dan Ercit (2005), pemineralan logam nadir yang hadir juga dapat menentukan jenis kumpulan pemineralan pegmatit. Setelah perbandingan dilakukan, hasil kajian ini mendapati pegmatit Jerai dan Bukit Mor berpotensi untuk mengalami pemineralan logam nadir Rb, Li, Cs, Ga dan Ta serta Sn kecuali REE.

KESIMPULAN

Secara kesimpulannya, pegmatit Jerai dan Bukit Mor mempunyai kandungan unsur major SiO_2 (68.45 - 81.21 wt%) dan unsur $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (3.94 - 12.85 wt%) yang tinggi. Pegmatit yang dikaji menunjukkan komposisi batuan granit dan bersifat peralumina. Magma yang membentuk pegmatit berasal daripada peleburan separa batuan sedimen (granit jenis – S) di dalam sekitaran sin-pelanggaran. Magma pembentuk pegmatit Jerai dan Bukit Mor juga telah mengalami darjah fraksinasi tinggi. Ini ditunjukkan oleh nisbah unsur K/Rb, K/Cs, Nb/Ta dan Mg/Li yang relatifnya lebih tinggi daripada nisbah purata unsur-unsur ini dalam kerak benua atas dan menyebabkan pengayaan logam nadir bernilai iaitu Rb, Li, Cs, Ga dan Ta serta Sn. Seterusnya, kandungan

geokimia juga mengelaskan pegmatit Jerai dan Bukit Mor dalam kumpulan LCT iaitu pegmatit yang berpotensi mengandungi pemineralan unsur Rb, Li, Cs, Ga dan Ta serta Sn yang tinggi, manakala kandungan REE relatif rendah hingga sederhana (kurang potensi pemineralan).

PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan diucapkan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi Malaysia (KPT) yang telah memberi geran penyelidikan No. FRGS/1/2022/WAB07/UKM/02/1. Tanpa peruntukan ini kajian pasti tidak dapat dilakukan dengan jayanya.

RUJUKAN

- Almashoor, S.S. 1974. *Geology of Gunung Jerai, Kedah*. Thesis. Kuala Lumpur: Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Askury, A.A. 1992. Empat pluton granitoid terasing di Johor: Satu tinjauan petrokimia dan genesis. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia* 31: 85-106.
- Beus, A.A. 1968. *Geochemistry of Beryllium and Genetic Types of Beryllium Deposits*. San Francisco: W.H. Freeman. hlm. 401.
- Bradford, E.F. 1972. The geology and mineral resources of the Gunong Jerai area, Kedah. Malaysia: Geological Survey Headquarters.
- Černý, P. 1991. Rare-element granitic pegmatites. Part II: Regional to global environments and petrogenesis. *Geoscience Canada* 18(2): 68-81.
- Černý, P. 1989. Exploration strategy and methods for pegmatite deposits of tantalum. In *Lathanides, Tantalum and Niobium*, disunting oleh Möller, P., Černý, P. & Saupe, F. Heidelberg: Springer-verlag. hlm. 294-310.

- Černý, P. & Ercit, T.S. 2005. The classification of granitic pegmatites revisited. *The Canadian Mineralogist* 43(6): 2005-2026. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.43.6.2005>
- Černý, P., London, D. & Novak, M. 2012. Granitic pegmatites as reflections of their sources. *Elements* 8(4): 289-294.
- Chao, T.T. & Sanzolone, R.F. 1992. Decomposition techniques. *Journal of Geochemical Exploration* 44: 65-106.
- Dill, H.G. 2018. Geology and chemistry of Variscan-type pegmatite systems (SE Germany) – With special reference to structural and chemical pattern recognition of felsic mobile components in the crust. *Ore Geology Reviews* 92: 205-239.
- Dill, H.G. 2016. The CMS classification scheme (chemical composition-mineral assemblage-structural geology) – linking geology to mineralogy of pegmatitic and aplitic rocks. *N. Jb. Miner. Abh. (J. Min. Geochem)* 193(3): 231-263.
- Dill, H.G. 2015. Pegmatites and aplites: Their genetic and applied ore geology. *Ore Geology Reviews* 96: 417-561.
- Jabatan Mineral & Geosains. 2014. <https://jmg.gov.my>
- Jahns, R.H. & Burnham, C.W. 1969. Experimental studies of pegmatite genesis: A model for the derivation and crystallisation of granitic pegmatites. *Economic Geology* 64(8): 843-864.
- Jamil, A., Ghani, A.A., Zaw, K., Othman, S. & Quek, L.X. 2016. Origin and tectonic implications of the ~200 Ma, collision-related Jerai pluton of the Western Granite Belt, Peninsular Malaysia. *Journal of Asian Earth Sciences* 127: 32-46.
- Jarvis, K.E. 1990. A critical evaluation of two sample preparation techniques for low-level determination of some geologically incompatible elements by inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Chemical Geology* 83: 89-103.
- Khoo, T.T. 1977. Kejadian dan implikasi korok-korok pegmatit sinplutonik di granit Gunung Jerai, Kedah. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia* 8: 117-120.
- Linnen, R.L., Van Lichtenvelde, M. & Černý, P. 2012. Granitic pegmatites as sources of strategic metals. *Elements* 8: 275-280.
- London, D. 2008. Pegmatites. *Canadian Mineralogist Special Publication* 10: 347-368.
- London, D. & Morgan, G.B. 2012. The pegmatite puzzle. *Elements* 8: 263-268.
- London, D., Morgan, G.B., Paul, K.A. & Guttery, B.M. 2012. Internal evolution of a miarolitic pegmatite: The Little Three mine, Ramona, California (USA). *The Canadian Mineralogist* 50(4): 1025-1054.
- Lv, Z.H., Zhang, H. & Tang, Y. 2021. Anatexis origin of rare metal/earth pegmatites: Evidence from the Permian pegmatites in the Chinese Altai. *Lithos* 380-381: 105865.
- Lye, Y.H. 1984. Studies of pegmatitic cassiterites from the Gunung Jerai (Kedah), Bakri (Johore) and Kathu Valley (Phuket) regions. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia* 17: 107-161.
- Maniar, P.D. & Piccoli, P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Ame. Bull.* 101(5): 635-643.
- Martin, R.F. & De Vito, C. 2005. The patterns of enrichment in felsic pegmatites ultimately depend on tectonic setting. *The Canadian Mineralogist* 43: 2027-2048.
- Middlemost, E.A.K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Reviews* 37: 215-224.
- Möller, P. & Morteani, G. 1987. Geochemical exploration guide for tantalum pegmatites. *Economic Geology* 82: 1888-1897.
- Müller, A., Romer, R.L., Szuszkiewicz, A., Ilnicki, S. & Szeleg, E. 2016. Can pluton-related and pluton-unrelated granitic pegmatites be distinguished by their chemistry? *Second Eugene E. Foord Pegmatite Symposium*, July 15-19. Colorado School of Mines campus, Golden, Colorado. hlm. 67-69.
- Pearce, J.A., Nigel, B.W.H. & Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25(4): 956-983.
- Shand, S.J. 1943. *The Eruptive Rocks: Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore Deposits with a Chapter on Meteorites*. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons.
- Simmons, W.B. 2016. REE-Rich pegmatites from the South Platte and Trout Creek Pass Pegmatite Districts, Colorado: Contrasting geochemical profiles and tectonic regimes. *Second Eugene E. Foord Pegmatite Symposium*, July 15-19. Colorado School of Mines campus, Golden, Colorado.
- Simmons, W.B. & Falster, A.U. 2016. Evidence for an anatectic origin of an LCT Type Pegmatite: Mt. Mica, Maine. *Second Eugene E. Foord Pegmatite Symposium*, July 15-19. Colorado School of Mines campus, Golden, Colorado.
- Straurov, O.D., Stolyarov, I.S. & Isocheva, E.I. 1969. Geochemistry and origin of Verkh Iset Granitoid Massif in Central Ural. *Geochemistry International* 6: 1138-1148.
- Sun, S.S. & McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of Oceanic Basalts: Implications for mantle composition and processes. In *Magmatism in the Ocean Basins*, disunting oleh Saunders, A.D. & Norry, M.J. *Geological Society, Special Publications* 42: 313-345.

Wan Fuad Wan Hassan & Mohamad Anuar Mohamad Yusof. 1985. Pegmatit dan kolumbit-tantalit primer di kawasan Bukit Mor, Bakri, Johor. *Sains Malaysiana* 14(1): 137-145.

Wan Fuad Wan Hassan. 2001. Slag Fragments in Heavy Mineral Concentrates from Bakri Area, Johor. *Sains Malaysiana* 30: 69-75.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: p119695@siswa.ukm.edu.my