

Kajian geokimia batuan igneus sekitar Gunung Pulai, Johor (Geochemical study of igneous rocks around Gunung Pulai area, Johore)

SIA CHEE CHUAN & MOHD ROZI UMR

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

Abstrak: Kawasan di sekitar Gunung Pulai terdiri daripada batuan igneus dan batuan sedimen. Batuan igneus terbahagi kepada batuan plutonik dan batuan vulkanik. Granit merupakan batuan igneus yang utama terdiri daripada granit biotit dan granit hornblend. Selain itu, terdapat juga granodiorit yang berbutir sederhana hingga kasar. Kajian terdahulu menunjukkan bahawa usia bagi granit ini ialah Trias hingga Kapur Awal. Batuan vulkanik merupakan Ahli Vulkanik Gunung Pulai dalam Formasi Jurong. Batuan vulkanik terdiri daripada riolit dan piroklas. Sepuluh unsur major dan minor yang ditentukan ialah SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , CaO , Na_2O , K_2O dan P_2O_5 . Sementara itu, 12 unsur surih terdiri daripada As, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn dan Zr dianalisis. Hasil daripada analisis XRF, didapati bahawa purata (julat) peratus berat (wt %) unsur major dan minor bagi granitoid adalah: SiO_2 74.77 (67.84–79.92), TiO_2 0.18 (0.05–0.53), Al_2O_3 13.63 (11.21–15.93), Fe_2O_3 1.96 (0.63–4.97), MnO 0.05 (0.01–0.22), MgO 0.17 (0.02–1.06), CaO 1.54 (0.18–4.19), Na_2O 3.03 (2.56–3.58), K_2O 4.02 (2.74–4.82) dan P_2O_5 0.03 (0.01–0.12). Manakala purata (julat) unsur surih adalah: Ba 487 (0–744), Zr 140 (115–186), Sr 99 (40–191), Rb 206(123–336), Pb 28 (4–83), As 18 (11–26), Zn 25 (0–91), Cu 19 (13–38), Co 17 (0–42), Ni 5 (1–7), Cr 12 (7–22) dan V 17 (2–59). Dari kajian geokimia, granitoid ini dikelaskan sebagai jenis I dengan sifat batuan peralumina. Indeks alkali kapur bagi granitoid ini ialah 64. Hasil analisis geokimia menunjukkan batuan granitoid di kawasan kajian adalah hasil dari proses pembezaan magma dengan arah pembezaan dari batuan granodiorit ke granit. Manakala bagi riolit, peratus berat (wt %) bagi unsur major dan minor yang dianalisis ialah SiO_2 74.99, TiO_2 0.10, Al_2O_3 13.14, Fe_2O_3 1.28, MnO 0.02, MgO bdl, CaO 1.31, Na_2O 2.60, K_2O 4.42 and P_2O_5 0.01. Sementara itu, nilai kepekatan (ppm) bagi unsur surih pula ialah Ba 595, Zr 144, Sr 96, Rb 254, Pb 24, As 17, Zn bdl, Cu 16, Co bdl, Ni 3, Cr 9 and V 6.

Abstract: The Gunung Pulai area is mainly underlain by igneous rocks and sedimentary rocks. The igneous rocks comprises plutonic and volcanic rocks. Granite is the main rock and consists of biotite granite and hornblende granite. There are also medium to coarse-grained granodiorite. The previous study showed that the age of these granites is early Triassic to early Cretaceous. The volcanic rocks belong to the Gunung Pulai volcanic member of the Jurong Formation. The volcanic rocks are rhyolite and pyroclastics. The rocks were analysed for SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , Na_2O , K_2O and P_2O_5 . The 12 trace elements analysed were As, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn dan Zr. From XRF analysis, the average (range) for major and minor elements (wt %) are: SiO_2 74.77 (67.84–79.92), TiO_2 0.18 (0.05–0.53), Al_2O_3 13.63 (11.21–15.93), Fe_2O_3 1.96 (0.63–4.97), MnO 0.05 (0.01–0.22), MgO 0.17 (0.02–1.06), CaO 1.54 (0.18–4.19), Na_2O 3.03 (2.56–3.58), K_2O 4.02 (2.74–4.82) dan P_2O_5 0.03 (0.01–0.12). Meanwhile, the average (range) for trace elements are: Ba 487 (0–744), Zr 140 (115–186), Sr 99 (40–191), Rb 206(123–336), Pb 28 (4–83), As 18 (11–26), Zn 25 (0–91), Cu 19 (13–38), Co 17 (0–42), Ni 5 (1–7), Cr 12 (7–22) dan V 17 (2–59). From geochemical studies, the granitoid are classified as I-type and peraluminous. The calc-alkaline value for the granitoid in the area is 64. Results from geochemical analysis show that granitoid rocks in the study area result from magma evolution from granodiorite to granite. Besides that, the weight percentage (wt%) for major and minor elements of rhyolite is SiO_2 74.99, TiO_2 0.10, Al_2O_3 13.14, Fe_2O_3 1.28, MnO 0.02, MgO bdl, CaO 1.31, Na_2O 2.60, K_2O 4.42 and P_2O_5 0.01. Meanwhile, the concentration (ppm) of trace elements is Ba 595, Zr 144, Sr 96, Rb 254, Pb 24, As 17, Zn bdl, Cu 16, Co bdl, Ni 3, Cr 9 and V 6.

PENDAHULUAN

Kawasan kajian ini terletak di bahagian selatan Johor iaitu meliputi kawasan Kulai, Skudai dan Gunung Pulai. Kawasan kajian ini berada pada garis bujur (longitud) $103^{\circ}30'T$ hingga $103^{\circ}36'T$ dan garis lintang (latitud) $01^{\circ}35'U$ hingga $01^{\circ}39'U$. Keluasan kawasan kajian ini lebih kurang 59.5 km^2 (Rajah 1). Kebanyakan kawasan ini terdiri daripada ladang kelapa sawit dan hutan simpan iaitu Hutan Simpan Gunung Pulai. Ladang-ladang yang terdapat di kawasan kajian ini ialah Ladang Kulai, Ladang Kulai

Besar dan Ladang Kulai Young. Analisis geokimia dilakukan ke atas batuan di kawasan kajian adalah bertujuan untuk mengetahui jenis batuan, siri batuan dan juga suit batuan. Kajian ini dilakukan dengan mentafsirkan sama ada batuan igneus di kawasan kajian mempunyai satu atau lebih daripada satu siri atau daripada suit yang sama.

KAEDAH ANALISIS

Analisis geokimia telah dilakukan ke atas sampel batuan dengan menggunakan kaedah pendaran sinar-X (XRF).

Kaedah ini dilakukan bertujuan menentukan kepekatan unsur major dan unsur surih. Berdasarkan nilai kepekatan unsur-unsur major dan minor ini, tafsiran dibuat dengan memplot pelbagai graf bagi menentukan jenis batuan igneus.

Analisis Kaedah Pendaran Sinar-X (XRF)

Kaedah ini dilakukan dengan menggunakan mesin Spektrometer Pendaflour Sinar-X (XRF) PW 1480 yang beroperasi secara automatik. Kejutuan analisis kimia dengan kaedah ini adalah dibandingkan dengan piawai antarabangsa GS-N (Granite) IAEA untuk unsur major dan unsur surih pula daripada piawai AGV-1 (Jadual 1 dan 2). Ralat peratus relatif (RPR) bagi setiap analisis unsur major dan unsur surih dikira dengan menggunakan rumus seperti berikut:

$$\text{RPR} = \frac{(\text{Nilai sebenar} - \text{Nilai cerapan di makmal}) \times 100}{\text{Nilai sebenar}}$$

HASIL ANALISIS

Terdapat tiga sampel granodiorit, 10 sampel granit dan satu sampel riolit dianalisis bagi mewakili batuan di dalam kawasan kajian. Hasil peratus berat bagi unsur major (wt %) dan kepekatan unsur surih dalam unit bahagian per juta (part per million, ppm) bagi batuan igneus ditunjukkan dalam Jadual 3.

Analisis unsur-unsur major dan minor

Peratus berat unsur major dan minor yang diambil kira dalam penafsiran hasil analisis ini hanya melibatkan batuan granodiorit, granit dan riolit sahaja. Penerangan ini tidak melibatkan batuan piroklas walaupun analisis geokimia bagi batuan tersebut dibuat.

Daripada hasil analisis XRF, unsur SiO_2 adalah berjulat

dari 69.5 (wt %) hingga 79.92 (wt %). Kebanyakan batuan mempunyai kandungan SiO_2 yang tinggi. Ini bermakna batuan-batuan ini terbentuk lewat. Si_2O merupakan unsur yang disumbang oleh mineral kuarza, feldspar alkali dan plagioklas.

Peratus berat (wt %) unsur TiO_2 adalah berjulat dari 0.05 hingga 0.53. Batuan yang mempunyai kandungan TiO_2 yang tinggi ialah granodiorit. Ini mungkin disebabkan kehadiran mineral mafik yang mengambil TiO_2 seperti biotit dan hornblend.

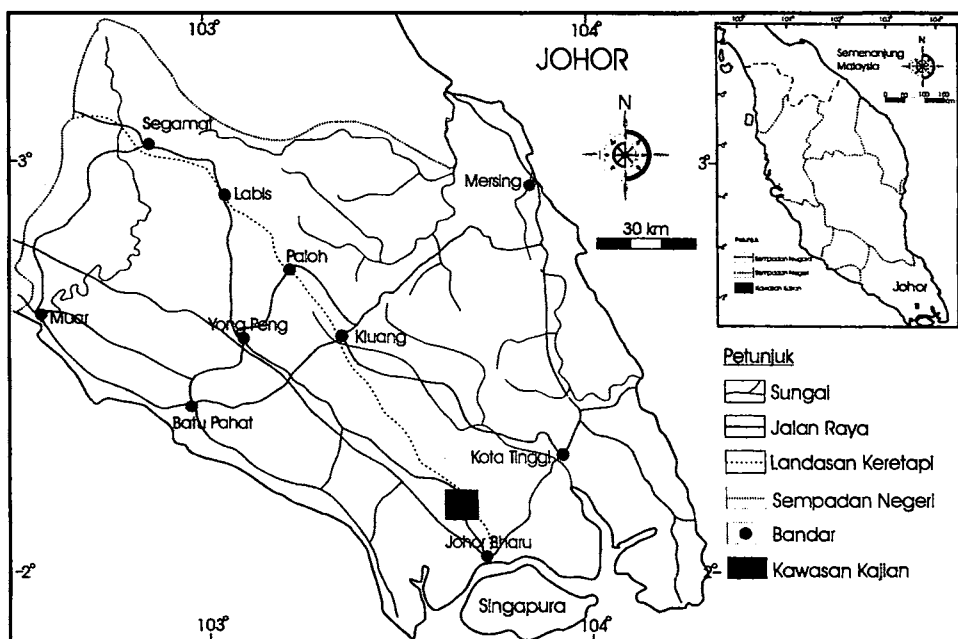
Al_2O_3 mempunyai julat peratus berat antara 11.21 hingga 15.93. Batuan granodiorit mempunyai kandungan Al_2O_3 yang lebih tinggi berbanding batuan lain. Julat peratus berat unsur Fe_2O_3 ialah 0.72 hingga 4.97. Contoh mineral yang mengambil Fe_2O_3 ialah biotit. Kandungan Fe_2O_3 yang tinggi dalam batuan mungkin disebabkan oleh kehadiran mineral biotit dan piroksen yang banyak.

Julat peratus berat bagi bagi MnO ialah antara 0.01 hingga 0.22. Didapati satu sampel granit mengandungi MnO yang tinggi. Ini mungkin disebabkan kandungan oksida besi seperti manganes yang hadir dalam batuan tersebut.

Unsur MgO mempunyai julat peratus berat antara 0.02 hingga 1.06. Daripada hasil analisis, didapati bahawa kebanyakan unsur MgO menunjukkan nilai di bawah had pengesanan jika kandungan unsur SiO_2 dalam sesuatu batuan itu adalah tinggi.

Julat peratus berat bagi unsur CaO ialah 0.18 hingga 4.19. Batuan granodiorit mempunyai kandungan CaO yang tinggi. CaO merupakan unsur pembentuk plagioklas utama (Goldsmith, 1926). Ini adalah benar kerana granodiorit mempunyai komposisi plagioklas yang banyak.

Unsur Na_2O mempunyai peratus berat berjulat dari 2.56 hingga 3.58. Peratus berat unsur ini biasanya berjulat



Rajah 1. Peta kedudukan kawasan kajian di negeri Johor.

Jadual 1. Kejituan analisis bagi unsur-unsur major berdasarkan piawai GS-N.

Oksida	Nilai sebenar (wt %)	Nilai cerapan (wt %)	RPR (%)
SiO ₂	65.98	70.17	- 6.35
TiO ₂	0.68	0.73	- 7.35
Al ₂ O ₃	14.71	15.64	- 6.32
Fe ₂ O ₃	3.76	4.11	- 9.31
MnO	0.06	0.06	0.00
MgO	2.31	1.61	30.30
CaO	2.51	2.82	- 12.35
Na ₂ O	3.78	3.39	10.32
K ₂ O	4.64	5.13	- 10.56
P ₂ O ₅	0.28	0.30	- 7.14

Jadual 2. Kejituan analisis bagi unsur-unsur surih berdasarkan piawai AGV-1.

Unsur Surih	Nilai sebenar (ppm)	Nilai cerapan (ppm)	RPR (%)
As	19	11	42.11
Ba	1,265	1,276	- 0.87
Co	6	30	- 400.00
Cr	22	20	10.00
Cu	32	32	0.00
Ni	17	16	5.88
Pb	26	39	- 50.00
Rb	67	72	- 7.46
Sr	604	608	- 0.66
V	133	132	0.75
Zn	97	104	- 7.22
Zr	247	247	0.00

Jadual 3. Kepekatan unsur major (wt %) dan unsur surih (ppm) dalam batuan igneus di kawasan kajian.

Unsur Major	Granodiorit			Granit										Riolit
	*L3 (wt %)	L5 (wt %)	L31 (wt %)	*L7C (wt %)	*L9 (wt %)	L19 (wt %)	L20 (wt %)	L21 (wt %)	*L22 (wt %)	*L25 (wt %)	*L26C (wt %)	*L27C (wt %)	*L29 (wt %)	L17 (wt %)
SiO ₂	67.84	68.50	69.50	76.66	77.39	73.5	74.00	77.75	79.92	76.52	77.04	75.43	76.46	76.25
TiO ₂	0.52	0.53	0.43	0.06	0.09	0.15	0.14	0.07	0.05	0.09	0.06	0.11	0.09	0.10
Al ₂ O ₃	15.25	15.93	15.13	12.67	12.89	15.43	15.04	12.91	11.21	12.92	12.60	13.15	12.51	13.14
Fe ₂ O ₃	4.50	4.97	4.15	1.21	0.63	1.69	1.55	1.25	0.98	1.59	1.22	1.73	0.72	1.28
MnO	0.09	0.09	0.06	0.03	0.22	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02
MgO	0.58	1.06	0.74	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	Bdl	Bdl
CaO	4.19	3.97	3.30	0.66	0.56	1.71	1.74	0.83	0.18	0.57	0.57	1.36	0.63	1.31
Na ₂ O	3.17	3.03	2.84	3.42	3.25	3.12	2.56	2.80	2.69	3.58	2.89	3.46	3.06	2.60
K ₂ O	2.78	2.74	3.11	4.30	4.78	3.98	4.64	4.14	4.37	3.84	4.62	3.70	4.82	4.42
P ₂ O ₅	0.11	0.12	0.09	tiada	0.01	0.02	0.02	0.01	tiada	0.02	tiada	0.02	Tiada	0.01
L.O.I	0.96	0.75	0.58	0.98	0.37	0.98	0.54	0.33	0.59	0.83	0.99	1.01	1.70	1.07
Jumlah	99.99	101.69	99.93	99.99	99.99	100.62	100.26	100.11	100.00	99.99	100.01	100.00	100.01	100.20
Na ₂ O + K ₂ O	5.95	5.77	5.95	7.72	8.03	7.10	7.20	6.94	7.06	7.42	7.51	7.16	7.88	7.02
A/CNK	1.04	1.13	1.12	1.01	1.00	1.18	1.12	1.11	1.02	1.08	1.03	1.04	0.97	1.05
A/NK	1.71	1.85	1.69	1.09	1.06	1.44	1.40	1.23	1.04	1.16	1.10	1.22	1.04	1.23
Unsur Surih	L3 (ppm)	L5 (ppm)	L31 (ppm)	L7C (ppm)	L9 (ppm)	L19 (ppm)	L20 (ppm)	L21 (ppm)	L22 (ppm)	L25 (ppm)	L26C (ppm)	L27C (ppm)	L29 (ppm)	L17 (ppm)
As	11	23	14	12	24	15	14	23	17	14	24	15	26	17
Ba	548	480	541	711	bdl	568	744	580	536	596	433	489	bdl	595
Co	12	30	18	20	20	25	11	42	9	12	15	22	7	bdl
Cr	22	21	18	7	11	12	11	11	8	11	13	11	9	9
Cu	15	15	13	20	19	15	16	17	20	20	20	38	19	16
Ni	4	5	4	4	7	5	4	1	5	7	5	5	5	3
Pb	12	37	8	34	83	4	40	28	26	25	29	17	29	24
Rb	125	123	147	155	336	198	217	234	225	182	265	171	258	254
Sr	185	191	168	41	54	141	129	78	40	75	55	85	53	96
V	52	59	47	3	7	14	12	4	2	9	2	11	4	6
Zn	64	91	73	11	4	16	27	bdl	bdl	36	bdl	27	7	bdl
Zr	172	163	186	132	115	145	142	128	124	128	127	129	121	144

* - Dinormalkan

bdl - Di bawah had pengesanan

tiada - Nilai kepekatan sifar

antara 2 dan 4. Unsur ini biasanya disumbang oleh mineral feldspar alkali dan juga plagioklas dalam batuan granitoid.

Julat peratus berat bagi unsur K_2O ialah di antara 2.74 hingga 4.82. Batu granit hornblend mempunyai kandungan unsur K_2O yang paling tinggi. K_2O merupakan unsur pembentuk feldspar alkali dan biotit. Julat peratus berat bagi unsur P_2O_5 yang diperolehi adalah antara 0.01 hingga 0.12. Kehadiran unsur P_2O_5 dalam sesuatu batuan igneus biasanya membentuk apatit.

Penamaan batuan igneus dengan plot TAS

Pengelasan dengan menggunakan plot jumlah alkali dilakukan oleh Le Maitre *et al.* (1989). Beliau telah memplot 24,000 data analisis batuan vulkanik bagi menentukan sempadan kawasan bagi penamaan batuan. Wilson (1989) pula menggunakan TAS untuk memberikan satu pengelasan bagi batuan igneus pluton.

Berdasarkan hasil analisis XRF, nilai peratus berat unsur jumlah alkali (Na_2O dan K_2O) dan kandungan SiO_2 (S) yang dipadankan dengan rajah TAS bagi batuan vulkanik menunjukkan batuan dikelaskan sebagai riolit (Rajah 2), sementara itu, plotan bagi batuan igneus plutonik menunjukkan batuan dikelaskan sebagai granodiorit dan granit (Rajah 3).

Pengelasan Kumpulan Granit Berdasarkan Nilai A/NK dan A/CNK

Bersama dengan hasil daripada analisis XRF, nilai-nilai A/NK dan A/CNK bagi semua batuan ditunjukkan dalam Jadual 3. Nilai-nilai yang diperolehi ini adalah dikira dalam mol di mana A/NK ialah molar ($Al_2O_3/Na_2O + K_2O$) dan A/CNK ialah molar ($Al_2O_3/CaO + Na_2O +$

K_2O). Berdasarkan pada nilai yang diperolehi ini, didapati batuan granit, granodiorit, dan riolit dapat dikelaskan sebagai kumpulan batuan granit jenis peralumina dengan nilai A/NK > 1.0 (1.04–1.85) dan A/CNK > 1.0 (1.0–1.85) (Rajah 4).

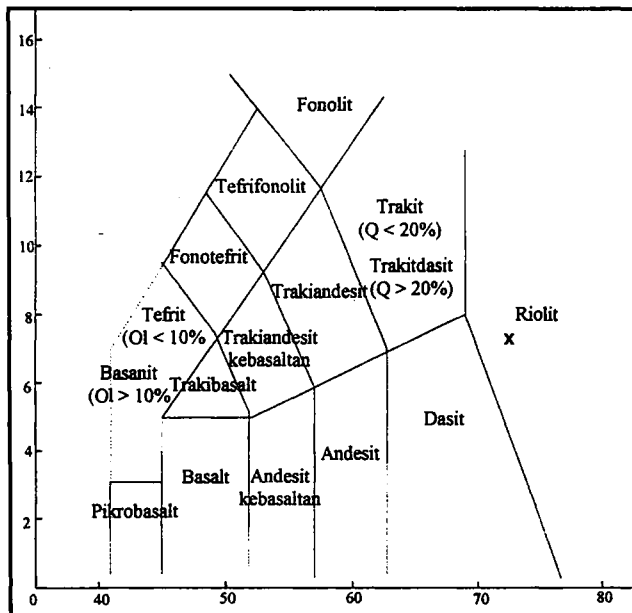
Pengelasan Asalan Granit Berdasarkan Nilai A/CNK

Secara umumnya, asalan granit dibahagikan kepada empat jenis iaitu jenis I, jenis S, jenis M dan jenis A. Mengikut Chappell dan White (1974), jika A/CNK > 1.1, maka ia dikelaskan sebagai asalan granit jenis S manakala jika A/CNK < 1.1, maka ia dikelaskan sebagai asalan granit jenis I. Namun begitu, perlu ada pertimbangan lain bagi menyokong asalan granit yang dikelaskan mengikut skema ini.

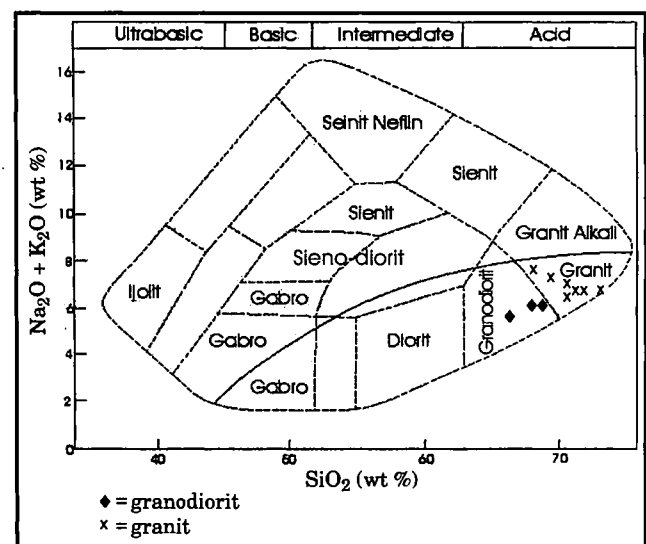
Berdasarkan kepada plot batuan didapati hampir kesemua batuan menunjukkan ia sebagai asalan granit jenis I (Rajah 5). Walaupun terdapat plot batuan yang menunjukkan ia sebagai granit jenis S, tetapi penulis menganggap ia sebagai pengecualian yang mungkin berlaku akibat asimilasi batuan keliling terhadap batuan tersebut. Hujah yang digunakan bagi meletakkan kesemua batuan ini sebagai granit jenis I ialah berdasarkan hubungan yang baik yang ditunjukkan melalui gambarajah Harker unsur-unsur major.

Pengelasan Kumpulan Batuan Berdasarkan Indeks Alkali Kapur

Pengelasan batuan di kawasan kajian boleh juga dilakukan berdasarkan nilai indeks alkali kapur mengikut Peacock (1931). Pengelasan ini dibuat berdasarkan nilai peratus berat SiO_2 pada kedudukan CaO dan ($Na_2O + K_2O$) yang mempunyai nilai peratus berat yang sama. Ini



Rajah 2. Pengelasan kimia dan penamaan batuan vulkanik dengan menggunakan jumlah alkali silika (Le Maitre *et al.*, 1989). Q = normatif kuarza; Ol = normatif olivin. Riolit diperolehi di kawasan kajian.



Rajah 3. Pengelasan kimia dan penamaan batuan pluton dengan menggunakan gambarajah TAS, Cox *et al.* (1979) diubahsuai oleh Wilson (1989) untuk batuan kawasan kajian berkomposisi granit dan granodiorit.

bermakna nilai yang diperolehi adalah nilai peratus berat SiO₂ pada titik persilangan antara garis CaO dengan (Na₂O + K₂O).

Nilai peratus berat SiO₂ iaitu indeks alkali kapur ialah 64 (Rajah 6). Berdasarkan indeks alkali kapur Peacock (1931), batuan ini dikelaskan sebagai batuan siri kalsik.

Gambarajah Harker

Berdasarkan hasil peratus berat unsur-unsur major daripada analisis XRF, nilai-nilai ini diplot ke dalam gambarajah Harker. Gambarajah ini menunjukkan dua

korelasi iaitu korelasi positif dan korelasi negatif (Rajah 7). Korelasi ini bergantung kepada proses-proses yang berlaku semasa evolusi batuan dan dikaitkan dengan perubahan kandungan mineral yang membawa unsur-unsur tersebut.

Secara umumnya, corak variasi yang ditunjukkan dalam gambarajah Harker menunjukkan batuan igneus di kawasan kajian mempunyai hubungan genetik di antara satu sama lain dan berkemungkinan berasal dari satu magma yang sama.

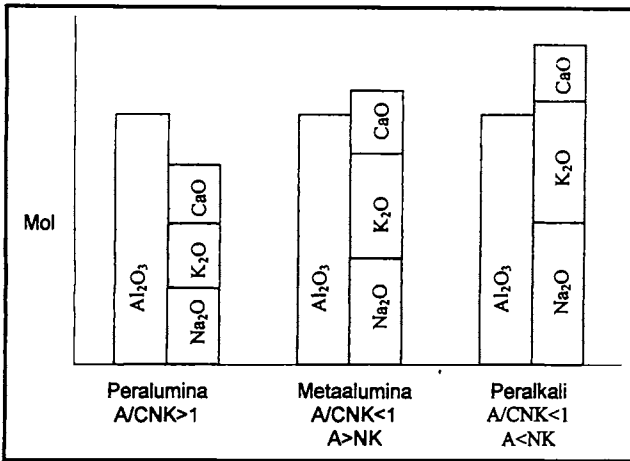
Korelasi Positif

Hubungan korelasi positif diperolehi bagi unsur-unsur Na₂O dan K₂O (Rajah 7g dan 7h). Ini menunjukkan semakin bertambah peratus berat SiO₂, semakin bertambahnya peratus berat unsur-unsur Na₂O dan K₂O.

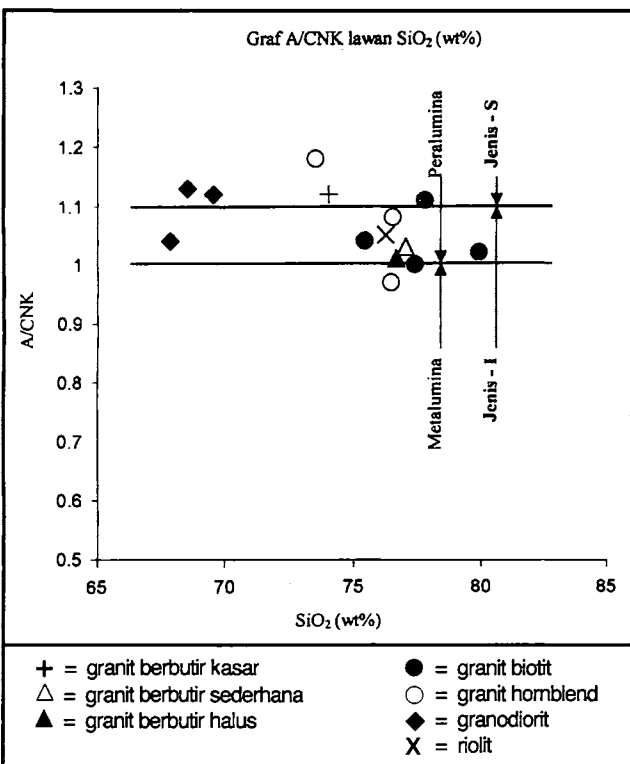
Dari granodiorit ke granit, didapati bahawa Na₂O bertambah. Ini mungkin disebabkan oleh pengambilan Na₂O untuk membentuk mineral plagioklas dalam batuan granodiorit. Namun begitu, terdapat juga penurunan Na₂O dalam granit (Rajah 7g). Unsur K₂O didapati bertambah dari granodiorit ke granit. Ini disebabkan oleh penambahan mineral feldspar alkali dari granodiorit kepada granit (Rajah 7h).

Korelasi Negatif

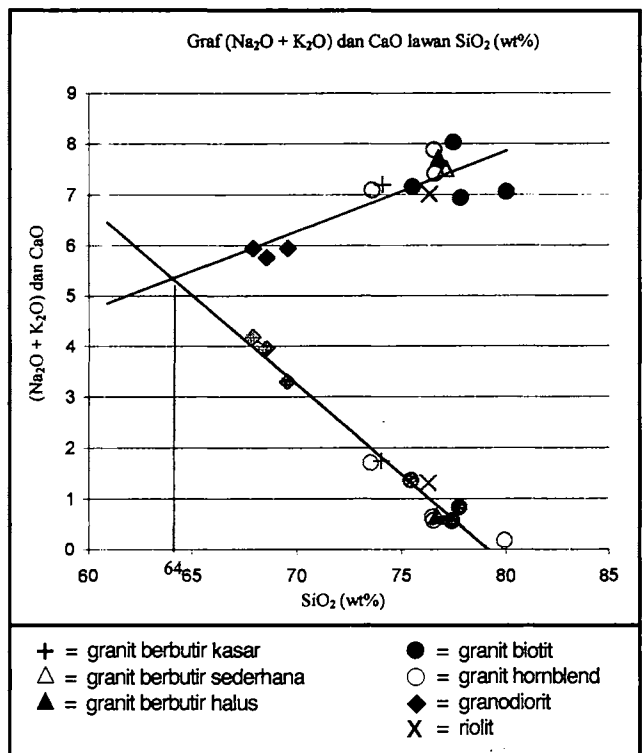
Hubungan korelasi negatif diperolehi bagi unsur-unsur TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO dan P₂O₅ (Rajah 7 a, b, c, d, e, f dan i). Unsur-unsur TiO₂, Fe₂O₃, MnO, MgO



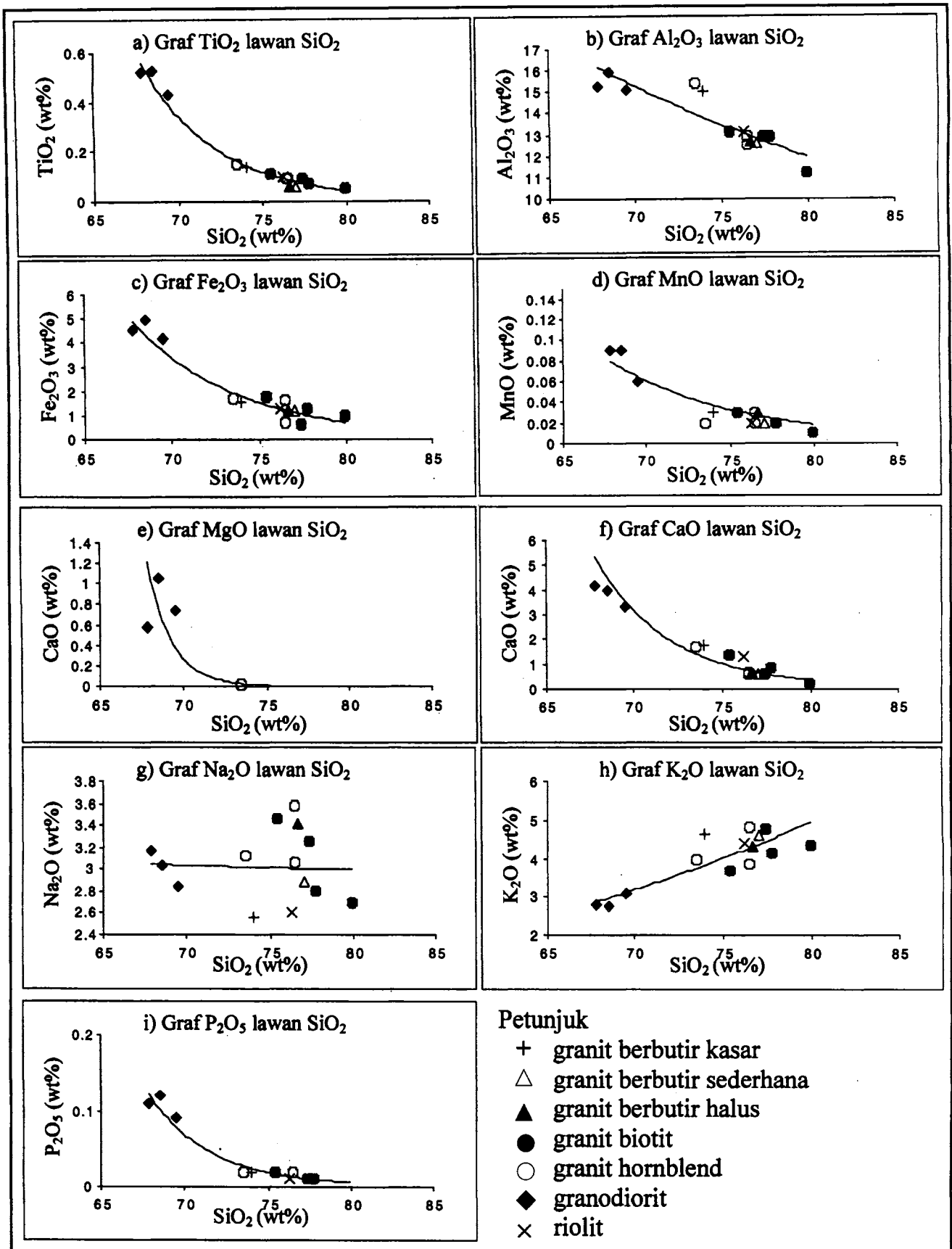
Rajah 4. Mineralogi dan skematik yang mewakili komposisi kimia (kepekatan alumina oleh Shand, 1947).



Rajah 5. Pengelasan asalan granit berdasarkan nilai A/CNK mengikut Chappell dan White (1974). Sifat batuan kawasan kajian dominan sebagai granit jenis I.



Rajah 6. Graf indeks alkali kapur Peacock (1931). Nilai indeks alkali kapur iaitu nilai SiO₂ pada CaO = (Na₂O + K₂O) batuan kawasan kajian ialah 64 (wt %).



Rajah 7. Variasi gambarajah Harker yang diperolehi daripada plot unsur-unsur oksida melawan SiO₂.

dan CaO merupakan unsur pembentuk mineral mafik yang utama. Ini menunjukkan mineral mafik adalah banyak di dalam batuan granodiorit yang menyebabkan batuan ini kelihatan kelabu gelap (Rajah 7f).

Al_2O_3 pula merupakan unsur pembentuk feldspar alkali, plagioklas dan sedikit dalam mineral mafik (Rajah 7b). Oleh itu, dari granodiorit ke granit, penurunan plagioklas menyebabkan peratus berat unsur Al_2O_3 juga menurun. Maka, satu trend negatif diperolehi.

ANALISIS UNSUR SURIH

Barium mempunyai julat kepekatan (ppm) antara 433 hingga 744. Batuan yang mempunyai kepekatan Ba yang paling tinggi ialah granit berbutir kasar manakala paling rendah ialah granit berbutir sederhana.

Julat bagi kepekatan Zr (ppm) ialah 115 hingga 186 di mana granodiorit mempunyai kepekatan yang paling tinggi. Zr jarang digunakan dalam pembentukan mineral utama, tetapi kehadirannya boleh menghasilkan mineral zirkon. Ini adalah kerana nilai cas dan jejarnya yang tinggi menyebabkan Zr terpisah dari sebarang unsur utama batuan igneus (Mason, 1982).

Julat kepekatan Sr (ppm) ialah 40 hingga 191. Berdasarkan ukuran ion Sr oleh Mason (1982), Sr boleh menggantikan Ca atau K. Maka, Sr boleh hadir dalam mineral seperti feldspar alkali dan plagioklas. Kepekatan Rb (ppm) yang paling tinggi ialah 336 dan paling rendah ialah 123. Julat kepekatan (ppm) bagi batuan igneus lain ialah antara 125 hingga 265. Rb boleh tedapat dalam mineral feldspar alkali dan mika.

Julat kepekatan Pb (ppm) ialah antara 4 hingga 83 di mana granit hornblend berpekatan paling rendah manakala granit biotit berpekatan paling tinggi. Granodiorit mempunyai kepekatan As (ppm) yang paling rendah iaitu 11 manakala granit hornblend mempunyai kepekatan paling tinggi iaitu 26 ppm. Nilai kepekatan tertinggi dalam batuan igneus ialah granodiorit dan diikuti oleh granit hornblend. Julat kepekatan Zn ialah antara 4 ppm hingga 91 ppm. Granodiorit mempunyai kepekatan Cu paling rendah dengan nilai kepekatannya 13 ppm manakala granit biotit paling tinggi iaitu 38 ppm.

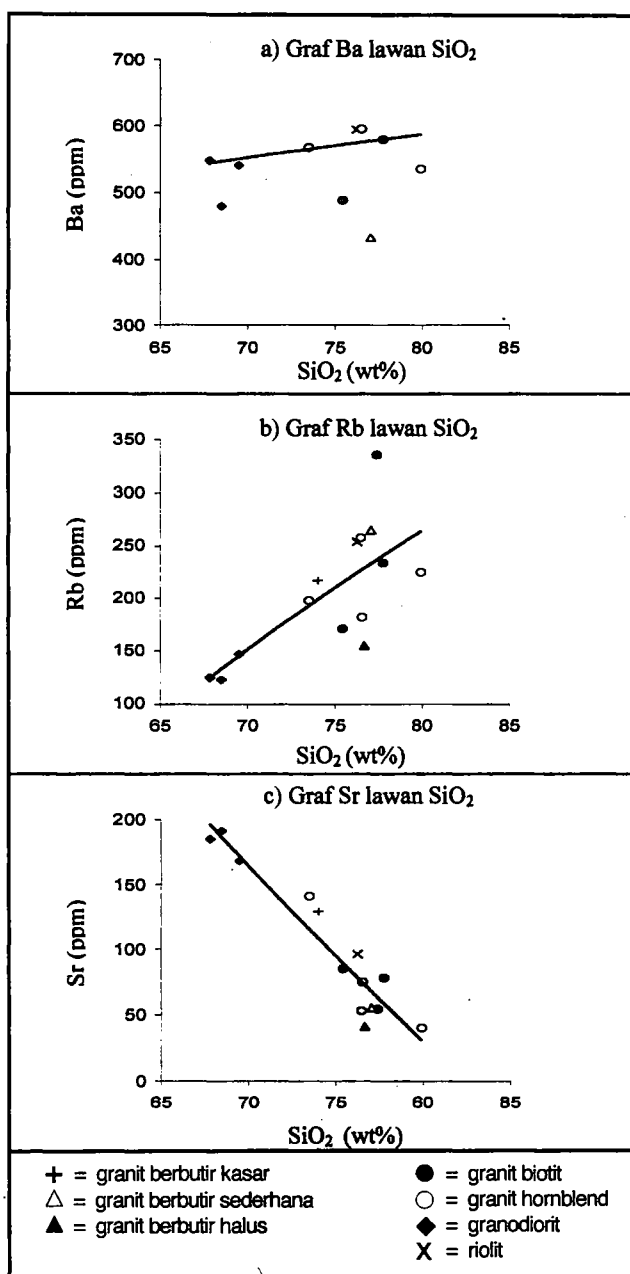
Julat kepekatan bagi Co ialah antara 7 ppm hingga 42 ppm dengan batu granit biotit berpekatan paling tinggi dan granit hornblend paling rendah. Julat kepekatan Ni ialah antara 1 ppm hingga 7 ppm. Carr dan Turekian (1962) menyatakan bahawa terdapat korelasi Ni dalam batuan granitoid, biasanya bersamaan dengan Mg dan Cr. Ni boleh didapati pada mineral-mineral yang mengandungi Mg kerana Ni mempunyai cas dan jejari yang hampir sama dengan Mg (Mason, 1982). Kepekatan Cr kesemuanya lebih daripada 7 ppm. Kepekatan Cr tertinggi terdapat pada batu granodiorit dengan nilai kepekatannya 22 ppm. Terdapat korelasi antara Cr dan Mg di mana nilai kepekatan Cr yang tinggi adalah bersamaan dengan nilai peratusan Mg yang tinggi juga (Carr dan Turekian, 1962). Julat kepekatan V ialah antara 2 ppm hingga 59 ppm. Nilai

kepekatan V tertinggi ialah pada batuan granodiorit.

Bagi membincangkan unsur-unsur surih, penulis mengelaskan unsur-unsur surih kepada unsur-unsur LILE, unsur-unsur logam peralihan, unsur HFSE dan unsur-unsur logam.

Unsur-unsur LILE

Unsur-unsur LILE terdiri daripada unsur Rb, Ba dan Sr. Mengikut ElBouseily dan El Sockary (1975), unsur Ba dan Rb boleh menggantikan K yang terkandung dalam feldspar alkali sahaja. Manakala Sr pula boleh menggantikan Ca yang terdapat dalam plagioklas dan K dalam feldspar alkali. Unsur-unsur ini diplotkan dalam gambarajah Harker dengan melawan SiO_2 (Rajah 8).



Rajah 8. Graf bagi unsur-unsur LILE melawan peratus berat SiO_2 .

Ba dan Rb menunjukkan pertambahan kepekatan ke arah pertambahan peratus berat SiO_2 manakala Sr pula menunjukkan pengurangan kepekatan ke arah pertambahan peratus berat SiO_2 (Rajah 8). Pertambahan kepekatan Rb selaras dengan peningkatan pembezaan batuan (Ahrens *et al.*, 1952; Taylor *et al.*, 1956) dan selaras dengan pertambahan feldspar alkali di dalam batuan. Didapati bahawa kepekatan unsur Sr berkurang dengan pengurangan Ca. Mengikut Sen *et al.*, (1959) dan Hall (1967), Sr berkurang dengan pengurangan Ca dalam batuan asid. Dalam kes kajian ini, didapati bahawa ia berubah dari granodiorit kepada granit.

Unsur-unsur Logam Peralihan

Unsur-unsur logam peralihan terdiri daripada unsur Ni, Cr, Co dan V. Unsur-unsur ini diplotkan melawan peratus berat SiO_2 (Rajah 9). Trend negatif dapat dilihat

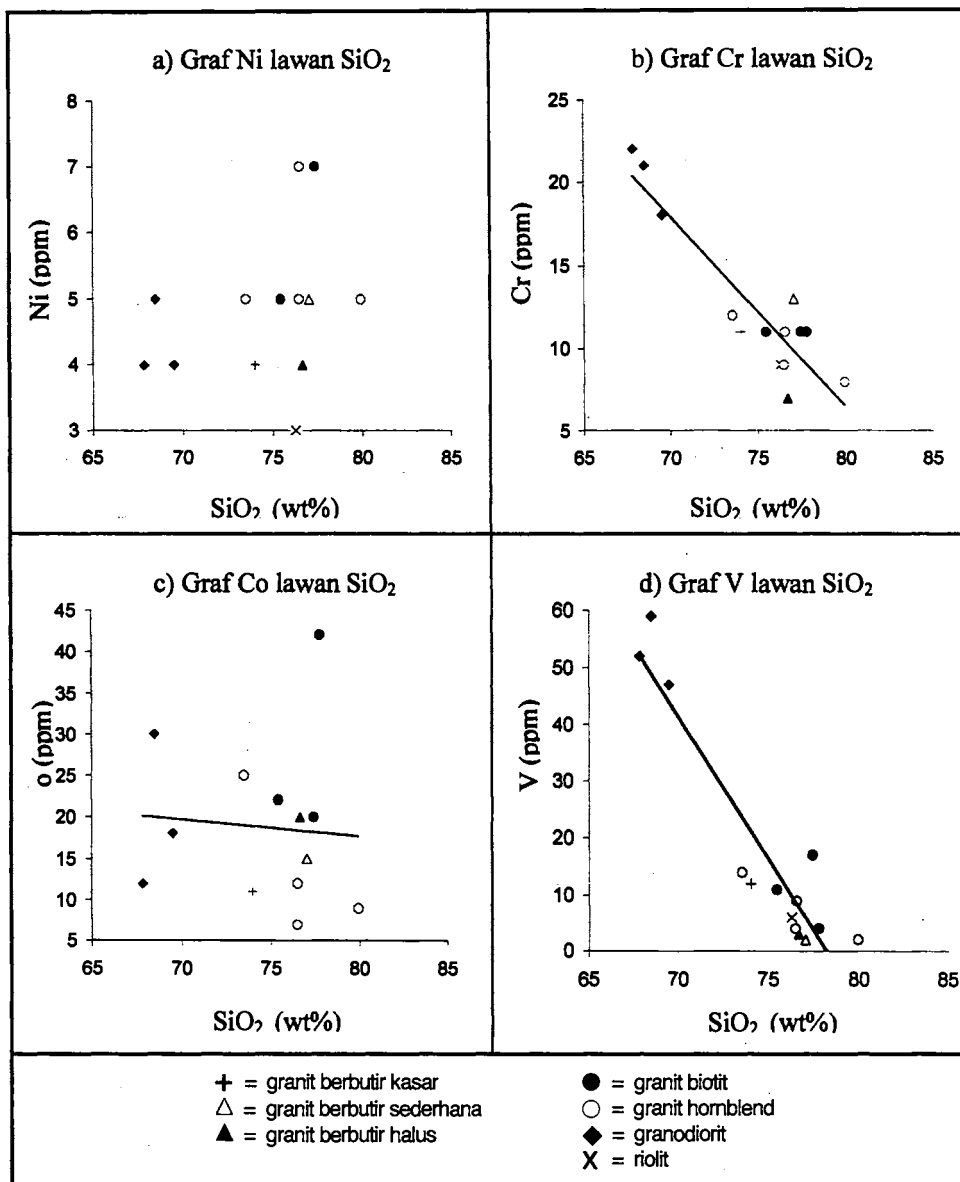
pada unsur Cr dan V. Sementara itu, unsur Ni dan Co memperlihatkan trend yang berselerak.

Unsur HFSE

Unsur HFSE yang diperolehi dari analisis cuma Zr sahaja. Unsur Zr yang terdapat dalam zirkon boleh menggantikan Mg dan Fe yang terdapat dalam mineral silikat seperti biotit (Goldsmith, 1926). Unsur ini diplot melawan peratus berat SiO_2 dan satu trend negatif diperolehi (Rajah 11). Ini bermakna dengan pertambahan peratus berat SiO_2 , semakin rendah kepekatan Zr (ppm).

Unsur-unsur Logam

Unsur-unsur logam terdiri daripada unsur Cu, As, Zn dan Pb. Unsur-unsur ini juga diplotkan melawan peratus berat SiO_2 (Rajah 10). Kesemua unsur menunjukkan kenaikan dengan kenaikan peratus berat SiO_2 kecuali unsur Zn.



Rajah 9. Graf unsur-unsur logam peralihan melawan peratus berat SiO_2 .

PERBINCANGAN DAN KESIMPULAN

Perbincangan dan Kesimpulan dari Analisis Unsur Major dan Minor

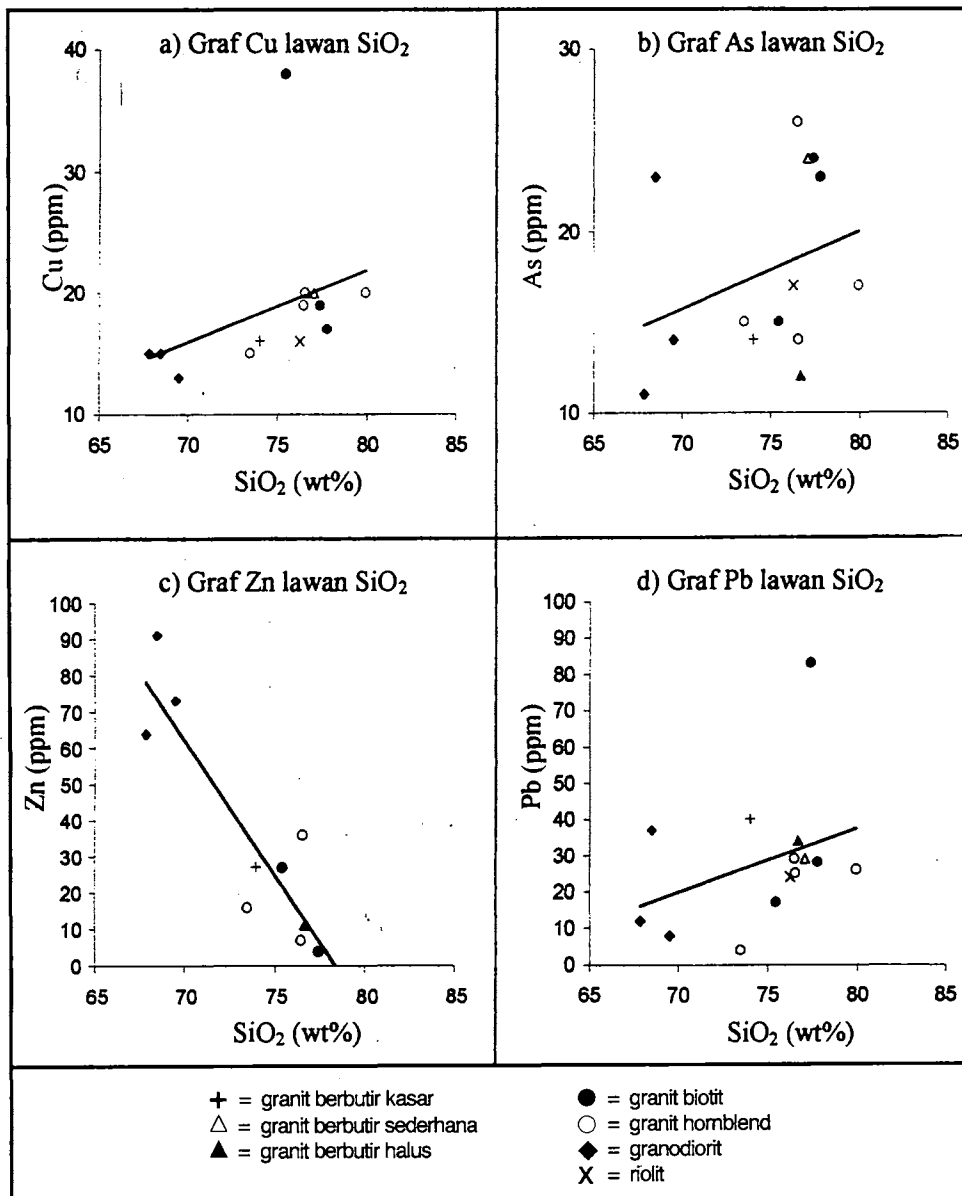
Secara amnya, terdapat dua hipotesis tentang asalan granit iaitu (i) merupakan hasil dari akhir proses pembezaan magma dan (ii) merupakan dua magma berlainan yang menerobos pada waktu yang sama dan berlakunya percampuran magma (Ahrens *et al.*, 1952). Penulis bersetuju dengan hipotesis pertama di mana asalan granit di kawasan kajian merupakan hasil peringkat akhir proses pembezaan magma.

Daripada analisis geokimia, terdapat satu trend tertentu bagi setiap unsur. Batuan granitoid di kawasan kajian adalah jenis peralumina. Sementara itu, trend-trend yang didapati dari Gambarajah Harker (Rajah 7), menunjukkan

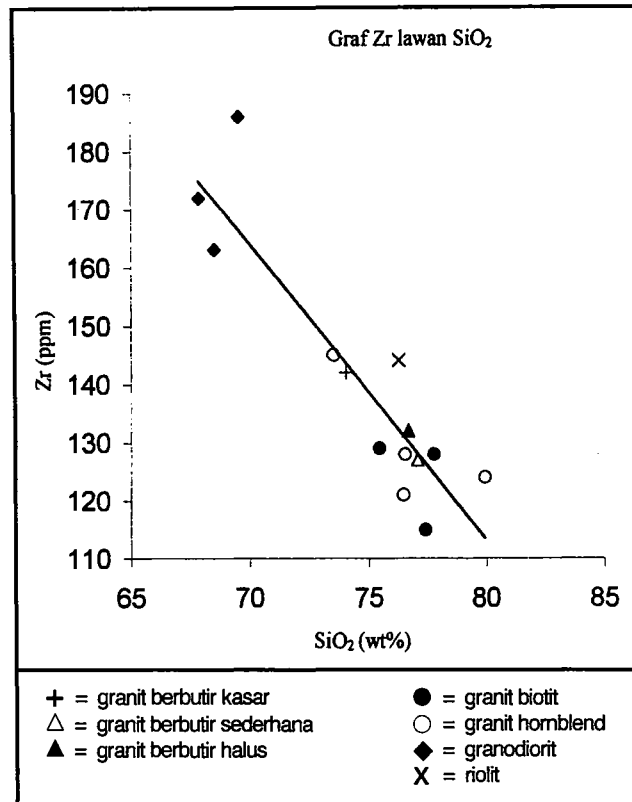
bahawa batuan igneus di kawasan kajian adalah berasal dari satu magma yang sama dan telah mengalami proses evolusi lalu menghasilkan batuan yang lebih asid.

Perbincangan dan Kesimpulan dari Analisis Unsur Surih

Secara umumnya, unsur-unsur surih tidak semestinya dipengaruhi oleh proses assimilasi yang menuju ke arah keseimbangan (McBirney, 1975). Ia adalah penting bagi menunjukkan tahap pembezaan yang bergantung kepada sifat sesuatu unsur sama ada unsur tersebut adalah dalam batuan yang terbentuk atau dipekatkan dalam cecair sisa magma. Maka, dari keputusan analisis unsur surih, penulis mencadangkan bahawa batuan igneus di kawasan kajian adalah berasal dari punca magma yang sama di mana terdapat hubungan linear antara setiap batuan dari Gambarajah Harker dan batuan granitoid di kawasan kajian



Rajah 10. Graf unsur-unsur logam melawan peratus berat SiO₂.



Rajah 11. Graf unsur HFSE melawan peratus berat SiO₂.

adalah hasil dari proses pembezaan magma.

PENGHARGAAN

Terima kasih diucapkan kepada En. Mohd Rozi bin Umor, pensyarah-pensyarah program geologi, pembantu-pembantu makmal dan rakan-rakan yang sudi meluangkan masa untuk membantu saya dalam menyiapkan laporan ini.

RUJUKAN

- AHRENS, L.H., PINSON, W.H. & KEARNS, M.M., 1952. Association of rubidium and potassium and their abundance in common igneous rocks and meteorites. *Geochem. Acta* 2, 229–294.
- CHAPPELL, B.W. & WHITE, A.J., 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8, 173–174.
- EL BOUSEILY, A.M. & EL SOKKARY, A.A., 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chem. Geol.* 16, 207–219.
- GOLDSMITH, V.M., 1926. The Principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks. *J. Chem. Soc.* 1, 655–672.
- HALL, A., 1967. The distribution of some major and trace elements in feldspar from the Rosses and Ardara granite complexes, Donegal, Ireland. *Geochem. Cosmochim. Acta* 31, 835–847.
- LE MAITRE, R.W., BATEMAN, P., DUDEK, A., KELLER, J., LAMEYRE LE BAS, M.J., SABINE, P.A., SCHMID, R., SORENSEN, H., STREICKEISEN, A., WOOLLEY, A.R. & ZANETTIN, B., 1989. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Blackwell, Oxford.
- MASON, B., 1982. *Principle of geochemistry*. 4th Edition. John Wiley & Sons, New York.
- MCBIRNEY, A.R., 1969. *Geology and petrology of the Galapagos Islands*. Oregon, University of Oregon Eugene.
- PEACOCK, M.A., 1931. Classification of igneous rocks series. *Journal Geology* 39, 54–67.
- SEN, N., NOCKOLEDS, S.R. & ALLEN, R., 1959. Trace elements in mineral from rocks of S. California batholith. *Geochim. Cosmochim. Acta* 16, 58–78.
- SHAND, S.J., 1947. *Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification and their Relation to ore-Deposits*. 3rd edition. New York, Wiley & Sons.
- TAYLOR, S.R., EMELUS, C.H. & EXLEY, C.S., 1956. Some anomalous K/Rb ratio in igneous rock and their petrological significance. *Geochim. Cosmochim. Acta* 10, 224–229.
- WILSON, M., 1989. *Igneous petrogenesis*. Unwin Hyman, London.