

BAB 5

GEOKIMIA

5.1 Pendahuluan

Bab ini membicarakan tren geokimia khusus bagi Kompleks Stong dan Kompleks Benom dengan melibatkan plotan Gambar Rajah Harker, Gambar Rajah Labah-labah dan Tren unsur-unsur nadir bumi (REE). Perbincangan hanya kepada pola taburan dan tafsiran umum sahaja. Pengelasan batuan berdasarkan geokimia akan dibincangkan di dalam bab 6 (Pengelasan Pluton) dan proses petrogenesis (Bab 7) dan sejarah evolusi batuan di dalam bab 8. Penulisan bab ini mengutarakan aspek geokimia setiap pluton atau “interpluton” dan diikuti oleh perbandingan geokimia secara intra pluton atau antara pluton. Geokimia pluton-pluton Jalur Tengah yang lain dipersembahkan di bahagian seterusnya.

5.2 Kompleks Igneus Stong

64 sampel mewakili Kompleks Igneus Stong telah dianalisis bagi mendapatkan unsur-unsur major dan minor. Daripada jumlah ini, sebanyak 31 sampel yang sama dianalisis untuk mendapatkan nilai kepekatan unsur-unsur nadir bumi (REE). Namun begitu, bagi pemplotan graf sebanyak 108 sampel data digunakan melibatkan data kajian terdahulu. Data geokimia unsur-unsur major dan unsur-unsur surih berserta nilai mineral normatif CIPW, indeks pembezaan dan indeks alumina ditunjukkan di dalam Lampiran 4. Sementara itu, data unsur-unsur nadir bumi (REE) ditunjukkan di dalam Lampiran 6.

5.2.1 Pencirian Geokimia unit batuan di dalam Setiap Pluton

a) Pluton Berangkat

Penulis membahagikan Pluton Berangkat kepada tiga unit batuan, iaitu Tonalit Dabong, Granodiorit Bertam dan Granit Sg. Lah. Selain itu, terdapat juga zenolit mikrodiiorit di dalam Granodiorit Bertam yang dianalisis secara geokimia dibincangkan bersama dalam Pluton Berangkat. Nilai purata unsur-unsur geokimia bagi kesemua unit batuan ditunjukkan di dalam Jadual 5.1. Berdasarkan indeks pembezaan batuan (D.I), didapati Granit Sg. Lah menunjukkan nilai indeks pembezaan paling rendah diikuti oleh Zenolit Mikrodiiorit, Granodiorit Bertam dan Tonalit Dabong. Jujukan ini bersesuaian dengan hubungan antara batuan di lapangan yang menunjukkan pembezaan secara berterusan daripada Granit Sg. Lah, Granodiorit Bertam dan Tonalit Dabong. Kesemua unit batuan menunjukkan indeks Alumina (A/CNK) < 1.0 .

Daripada Jadual 5.1, Granit Sg. Lah dicirikan oleh nilai TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO dan CaO yang lebih tinggi berbanding dengan Tonalit Dabong dan Granodiorit Bertam. Sebaliknya pula, ia lebih rendah nilai Na_2O dan K_2O . Nilai unsur-unsur surih adalah hampir sama bagi ketiga unit batuan kecuali Cr dan Ni yang lebih tinggi di dalam Granit Sg. Lah.

Plotan Harker Diagram dengan jelas menunjukkan unsur-unsur TiO_2 , MgO , CaO , P_2O_5 dan Fe_2O_3 menunjukkan tren negatif daripada batuan Granit Sg. Lah, kepada Tonalit Dabong dan Granit Bertam. Unsur Al_2O_3 , Na_2O dan MnO menunjukkan taburan yang hampir seragam antara ketiga unit batuan (Rajah 5.1). Unsur-unsur Ba , Sr , V , Hf , Cr , Ni , Zr , Cu , Ga dan Co menunjukkan tren negatif dengan pertambahan SiO_2 ,

sementara Y, Ce dan Zn menunjukkan tren positif daripada Granit Sg. Lah kepada Granodiorit Bertam. Unsur-unsur Rb, La, dan Nb pula menunjukkan tren yang seragam dan bertindan antara satu sama lain (Rajah 5.2).

Plotan Gambar Rajah Labah-labah pula menunjukkan kesemua batuan mempunyai tren yang sama mencerminkan kesemua batuan berpunca daripada magma yang sama. Ia beranomali positif pada unsur-unsur Th, K, Pb, Nd dan Y, dan beranomali negatif pada unsur Ba, Nb, Ce, Sr, P dan Ti (Rajah 5.3(a), (b), (c) dan (d)). Nilai unsur dinormalkan dengan mantel primitif mengikut Sun & McDonough (1989).

Nilai kepekatan unsur REE bagi tiga unit batuan Pluton Berangkat ditunjukkan di dalam Jadual 5.2. Granodiorit Bertam menunjukkan jumlah REE yang paling tinggi diikuti oleh Zenolit Mikrodiorit dan Granit Sg. Lah. Darjah pengfraksian REE yang dicirikan oleh La_N/Yb_N juga menunjukkan pengfraksian paling tinggi bagi Granodiorit Bertam diikuti Zenolit Mikrodiorit dan Granit Sg. Lah. Pengfraksian LREE dan HREE ditunjukkan oleh nisbah La_N/Sm_N dan Eu_N/Yb_N masing-masing.

Granodiorit Bertam menunjukkan pengfraksian LREE dan HREE yang paling tinggi, sementara Granit Sg. Lah menunjukkan nilai pengfraksian LREE dan HREE yang paling rendah berbanding kedua unit batuan yang lain (Jadual 5.2). Plotan tren REE ketiga unit batuan menunjukkan tren yang hampir sama dengan tiada nilai anomali Eu diperolehi (Rajah 5.4).

b) Pluton Noring

Pluton Noring dibahagikan kepada Granit Sg. Long (GSL), Granit Sg. Suda (GSS) dan Mikrogranit Sg. Terang (MST). Nilai julat dan purata setiap unit batuan ini ditunjukkan di dalam Jadual 5.3. Granit Sg. Long dicirikan oleh julat SiO_2 antara 66.20 – 69.26 wt%, nilai TiO_2 , MgO , P_2O_5 dan Fe_2O_3 yang lebih tinggi berbanding Granit Sg. Suda dan Mikrogranit Sg. Terang (Rajah 5.5).

Granit Sg. Suda dan Mikrogranit Sg. Terang menunjukkan cirian geokimia yang hampir sama pada kebanyakan unsur. Kedua-dua unit batuan mempunyai nilai Na_2O , K_2O dan Ba yang lebih tinggi berbanding Granit Sg. Long. Ini menunjukkan pengaruh kelimpahan K-feldspar di dalam kedua unit batuan ini adalah lebih tinggi berbanding Granit Sg. Long.

Berdasarkan normatif batuan, nilai pembezaan batuan (D.I) meningkat daripada GSL kepada GSS dan MST. Nilai ini menunjukkan pembezaan batuan berlaku daripada GSL kepada GSS dan MST. Nilai A/CNK bagi kesemua unit batuan menunjukkan nilai yang hampir sama dengan purata masing-masing 1.03 (GSL), 1.01 (GSS) dan 1.03 (MST). Kesemua unit batuan di bawah nilai A/CNK 1.10 (Jadual 5.3).

Nilai indeks pembezaan batuan menunjukkan peningkatan daripada Granit Sg. Long kepada Granit Sg. Suda dan Mikrogranit Sg. Terang. Nilai ini adalah selaras dengan tafsiran di lapangan yang menunjukkan Granit Sg. Long mengandungi mineral yang lebih awal menghablur diikuti Granit Sg. Suda dan Mikrogranit Sg. Terang.

Plotan Gambar Rajah Harker unit batuan di dalam Pluton Noring menunjukkan tren negatif pada unsur-unsur TiO_2 , MgO , CaO , P_2O_5 dan Fe_2O_3 daripada GSL kepada GSS dan MST, sementara itu, unsur Al_2O_3 , Na_2O , K_2O menunjukkan penambahan daripada GSL kepada GSS, tetapi berkurangan di dalam MST, dan MnO pula menunjukkan taburan yang hampir seragam antara ketiga unit batuan (Rajah 5.5).

Plotan Harker unsur-unsur surih unit batuan di dalam Pluton Noring juga menunjukkan GSL kaya dengan unsur Rb, Zr, Hf, Nb, V, Cr, Zn, Pb, Co, Ce dan Th berbanding unit batuan GSS dan MST. Manakala unit batuan GSS pula kaya dengan Ba dan Sr yang mencerminkan pengaruh feldspar yang tinggi (Rajah 5.6).

Gambar Rajah Labah-labah bagi ketiga-tiga unit batuan ini menunjukkan tren yang hampir sama apabila diplot dengan penormalan mantel primitif mengikut Sun & McDonough (1989). Ketiga-tiga unit batuan menunjukkan anomali positif pada Th, K, Pb, Zr, dan Y (Rajah 5.7). GSL dan GSS menunjukkan tren yang hampir sama, tetapi GSS kurang P dan Ti berbanding GSL. Sementara itu, MST menunjukkan anomali negatif yang ketara pada Ce dan Nb (Rajah 5.7).

Nilai kepekatan unsur-unsur nadir bumi (REE) bagi ketiga-tiga unit batuan di dalam Pluton Noring ditunjukkan di dalam Jadual 5.4. Jumlah REE yang paling tinggi ditunjukkan oleh MST, diikuti oleh GSL dan GSS. Nilai pengfraksian REE keseluruhan (La_N/Yb_N) yang paling tinggi adalah MST, sementara GSL dan GSS saling bertindihan. Namun begitu, MST menunjukkan pengfraksian LREE (La_N/Sm_N) yang rendah antara 2.84 – 3.96, berbanding GSL (20.76 – 24.09) dan GSS (25.45 – 35.58). Sebaliknya pula, pengfraksian HREE (Eu_N/Yb_N) adalah tinggi di dalam MST berbanding GSL dan GSS.

Plotan tren REE menunjukkan GSL dan GSS mempunyai sedikit anomali Eu negatif, sementara MST tidak beranomali Eu (Rajah 5.8). GSL menunjukkan peningkatan HREE di dalam batuan rendah SiO₂ diwakili sampel T21 (Rajah 5.8(a)), sementara kesemua sampel GSS dan MST menunjukkan kandungan REE yang bertindihan (Rajah 5.8(b) & (c)). Perbandingan tren keseluruhan unit batuan menunjukkan GSS mempunyai LREE dan HREE yang lebih tinggi berbanding GSS dan MST. Sementara itu, MST mengandungi MREE yang lebih tinggi dan HREE yang lebih rendah berbanding unit batuan lain mencerminkan pengfraksian mineral yang lebih tinggi berbanding unit GSL dan GSS (Rajah 5.8(d)).

c) Pluton Kenerong

Jadual 5.5 menunjukkan cirian geokimia teras granit bagi Pluton Kenerong yang terbahagi kepada Granit biotit bersifat leukokrat dan Granodiorit. Unit batuan metasedimen tidak digabungkan di dalam perbincangan bab ini. Penulis mendapati Granodiorit dicirikan oleh julat peratusan SiO₂ antara 71.46 – 73.97 wt%, berbanding granit biotit (leukokrat) yang berkepekatan SiO₂ antara 72.79 – 76.62 wt%. Granodiorit dicirikan oleh unsur-unsur TiO₂, Fe₂O₃ dan CaO yang lebih tinggi berbanding Granit biotit. Ia juga lebih tinggi kepekatan Ba dan Sr. Granit biotit pula menunjukkan pengayaan unsur MgO, K₂O dan Rb berbanding granodiorit.

Indeks pembezaan Granodiorit adalah lebih rendah berbanding granit biotit menunjukkan Granodiorit mengandungi mineral lebih awal menghablur berbanding granit biotit. Nilai indeks alumina A/CNK bagi granit biotit adalah antara 1.05 – 1.31 (purata 1.15) dan granodiorit pula bernilai antara 1.07 – 1.14 (purata 1.10).

Gambar Rajah Harker menunjukkan dengan jelas tren negatif pada unsur-unsur TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , P_2O_5 dan Fe_2O_3 dengan penambahan SiO_2 , iaitu daripada granodiorit kepada leukogranit. Unsur K_2O menunjukkan tren positif, sementara MnO menunjukkan taburan yang hampir seragam antara ketiga unit batuan (Rajah 5.9). Unsur-unsur surih seperti Ba, Sr, V, Zn dan Cu pula menunjukkan tren negatif yang jelas dengan penambahan SiO_2 , sementara unsur Rb, Cr, Ni dan Co menunjukkan tren positif yang lemah (Rajah 5.10).

Plotan Gambar Rajah Labah-labah menggunakan penormalan mantel primitif mengikut Sun dan McDonough (1989) ditunjukkan di dalam Rajah 5.11. Granit biotit (leukogranit) menunjukkan pengayaan unsur Rb. Ia menunjukkan anomali negatif pada unsur Ba, La, Sr, P dan Ti, serta beranomali positif terhadap K, Pb dan Sr (Rajah 5.11 (a)). Granodiorit pula menunjukkan tren penurunan seragam daripada Rb, Ba, K dan Sr. Ia dicirikan oleh anomali negatif yang ketara pada unsur P (Rajah 5.11(b)).

Dua sampel mewakili setiap batuan di dalam Pluton Kenerong dilakukan analisis penentuan unsur-unsur nadir bumi (REE). Nilai-nilai kepekatan dan penormalan mengikut Nakamura (1974) ditunjukkan di dalam Jadual 5.6. Granit biotit menunjukkan jumlah REE yang tinggi berbanding granodiorit. Ia juga menunjukkan nilai pengfraksian keseluruhan (La_N/Yb_N) yang tinggi, iaitu melebihi 2 kali ganda daripada granodiorit. Nilai pengfraksian LREE (La_N/Sm_N) menunjukkan nilai hampir sama antara kedua-dua unit batuan, sementara pengfraksian HREE (Eu_N/Yb_N) didapati lebih tinggi di dalam granit biotit.

Granit biotit dan granodiorit menunjukkan tren REE yang hampir sama dengan sedikit anomali Eu negatif. Bagi granit biotit, penambahan SiO_2 menunjukkan

penambahan pada unsur Sm dan Dy, sementara granodiorit pula menunjukkan kesemua unsur REE daripada La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb dan Lu bertambah dengan penambahan SiO₂ (Rajah 5.12).

5.2.2 Pencirian dan Perbandingan Geokimia antara Pluton

Di dalam subtopik ini, penulis ingin merumuskan cirian geokimia mewakili setiap pluton, iaitu Pluton Berangkat, Pluton Noring dan Pluton Kenerong. Kesemua data daripada ketiga-tiga pluton digabungkan untuk pemplotan bagi melihat persamaan dan perbezaan antara pluton.

a) Perbandingan Unsur-unsur Major dan Minor Setiap Pluton

Jadual 5.7 menunjukkan nilai julat dan purata kepekatan unsur-unsur major dan minor bagi Pluton Berangkat, Pluton Noring dan Pluton Kenerong. Berdasarkan jadual ini, Pluton Berangkat dicirikan oleh julat SiO₂ antara 61.39 – 67.06 wt% dengan nilai purata TiO₂ (0.62 wt%), MgO (2.74 wt%), CaO (3.33 wt%), K₂O (5.01 wt%) dan P₂O₅ (0.31 wt%) yang lebih tinggi berbanding Pluton Noring dan Pluton Kenerong. Ia juga menunjukkan nilai Cr dan Ni yang lebih tinggi dengan indeks pembezaan secara purata 70.02 dan A/CNK purata 0.92, iaitu lebih rendah berbanding Pluton Noring dan Pluton Kenerong.

Pluton Noring dicirikan oleh julat SiO₂ antara 66.20 – 72.73 wt% dengan Al₂O₃ lebih tinggi berbanding Pluton Berangkat dan Pluton Kenerong. Unsur-unsur major yang lain menunjukkan nilai pertengahan antara Pluton Berangkat dan Pluton Kenerong. Begitu juga dengan nilai indeks pembezaan dan A/CNK. Pluton Noring

adalah rendah unsur Ce dan Co, serta tinggi dengan unsur Ba, Rb, Sr dan Zr berbanding pluton lain.

Pluton Kenerong adalah lebih felsik dicirikan oleh peratusan SiO_2 antara 71.46 – 76.62 wt% dengan nilai TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO dan MnO yang paling rendah berbanding pluton lain. Ia juga menunjukkan nilai Cr, Ni, dan V yang rendah, tetapi tinggi Co, Y, Ga, Nb, Pb dan Th berbanding pluton lain. Indeks pembezaan adalah tinggi mencapai nilai 94.45 dan A/CNK menunjukkan julat antara 1.05 – 1.31.

Kesemua batuan menunjukkan nilai jumlah alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) yang tinggi dengan julat dan purata 7.04 – 10.19 (8.208) bagi Pluton Berangkat, 6.81 – 10.21 (8.219) bagi Pluton Noring dan 6.92 – 9.36 (7.96) bagi Pluton Kenerong. Nilai nisbah $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ mempunyai julat dan purata masing-masing pluton adalah 1.36 – 2.02 (1.62), 0.84 – 1.77 (1.26), 0.79 – 1.70 (1.13).

b) Pemplotan Harker Diagram Kompleks Stong

Gambar Rajah Harker unsur-unsur major telah diplotkan menggabungkan Pluton Berangkat, Pluton Noring dan Pluton Kenerong (Rajah 5.13). Pertindihan peratusan SiO_2 antara Pluton Berangkat dengan Pluton Noring adalah kecil, iaitu sekitar 1 wt%, tetapi pertindihan SiO_2 antara Pluton Noring dan Pluton Kenerong adalah besar, iaitu sekitar 2 – 3 wt%.

Gambar Rajah Harker menunjukkan dengan jelas penambahan peratusan SiO_2 adalah daripada Pluton Berangkat kepada Pluton Noring dan kemudiannya Pluton Kenerong. Unsur-unsur TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO dan P_2O_5 menunjukkan tren negatif

yang jelas dengan penambahan SiO_2 (Rajah 5.13). Sementara itu, unsur Al_2O_3 dan Na_2O menunjukkan taburan yang mendatar di dalam Pluton Berangkat tetapi bertambah di dalam Pluton Noring dan berkurangan semula di dalam Pluton Kenerong. MnO dan K_2O pula menunjukkan tren sebaliknya, iaitu bertren negatif daripada Pluton Berangkat kepada Pluton Noring, dan menunjukkan penambahan di dalam Pluton Kenerong (Rajah 5.13).

Unsur-unsur surih dikaji mengikut kumpulan yang mana perubahan sistematik unsur-unsur dalam kumpulan dijadikan petunjuk proses petrologi (Rollison, 1993). Ia terbahagi kepada enam kumpulan, iaitu (1) kumpulan “Large ion lithophile element” atau LILE, terdiri daripada Rb, Sr, Ba dan Sc (2) “High field strength elements” atau HFSE, iaitu Zr, Hf, Nb dan Y, (3) Unsur logam peralihan atau “Transition Metal”, iaitu V, Cr dan Ni, (4) unsur-unsur logam yang lain seperti Cu, Zn, Ga dan Pb dan (5) unsur-unsur surih tidak stabil terdiri daripada U dan Th dan (6) Unsur-unsur nadir bumi (REE) terdiri daripada La hingga Lu.

Gambar Rajah Harker diplotkan bagi melihat tren unsur-unsur ini yang mewakili komposisi magma batuan tersebut. Unsur Rb menunjukkan tren negatif daripada Pluton Berangkat kepada Pluton Noring dan berlaku penambahan semula di dalam Pluton Kenerong (Rajah 5.14). Taburan Rb di dalam Pluton Noring terbahagi kepada dua kumpulan, iaitu yang kaya Rb (>400 ppm), iaitu Granit Sg. Long (ada hornblend) dan rendah Rb (<400 ppm), iaitu Granit Sg. Suda (tiada hornblend). Unsur Sr dan Ba pula menunjukkan tren tidak seragam daripada Pluton Berangkat kepada Pluton Noring dan Pluton Kenerong (Rajah 5.14). Pertambahan Sr dan Ba berlaku daripada Pluton Berangkat kepada Pluton Noring dan Pluton Kenerong, tetapi dalam masa yang sama berlaku penurunan nilai Sr dan Ba di dalam setiap Pluton Noring dan Pluton Kenerong.

Ini kerana julat nilai Sr dan Ba di dalam Pluton Noring dan Pluton Kenerong adalah besar, iaitu masing-masing Sr (80-1200 ppm; 15-1400 ppm) dan Ba (250-2500 ppm; 600-2700 ppm). Ini menunjukkan unsur-unsur LILE seperti Rb, Ba dan Sr memainkan peranan yang besar di dalam evolusi dan proses petrogenesis batuan. Ia dibincangkan dalam bab 7.

Unsur-unsur HFSE diwakili oleh Zr, Hf, Nb dan Y. Unsur Zr dan Hf menunjukkan tren negatif lemah, unsur Nb pula bertrend positif lemah dan Y menunjukkan penurunan daripada Pluton Berangkat kepada Pluton Noring tetapi meningkat di dalam Pluton Kenerong (Rajah 5.14)). Kesemua unsur-unsur ini sepatutnya menunjukkan tren negatif dengan arah pembezaan magma mengikut Nockolds dan Allen (1953), namun begitu didapati Nb menunjukkan penambahan daripada Pluton Berangkat kepada Pluton Noring dan Pluton Kenerong, sementara Y menunjukkan penurunan daripada Pluton Berangkat ke Pluton Noring dan bertambah di dalam Pluton Kenerong. Keadaan ini adalah disebabkan oleh asimilasi oleh batuan keliling terutamanya semasa evolusi Pluton Noring membentuk Pluton Kenerong.

c) Pemplotan Gambar Rajah Labah-labah Kompleks Stong

Ketiga-tiga pluton diplotkan Gambar Rajah Labah-labah menggunakan nilai piawai penormalan mantel primitif oleh Sun & McDonough (1989) (Rajah 5.15(a-c)). Gabungan ketiga-tiga pluton sebagai perbandingan juga diplotkan menggunakan piawaian yang sama dan ditunjukkan oleh Rajah 5.15 (d).

Penambahan dan pengurangan unsur-unsur berkait rapat dengan kewujudan mineral di dalam batuan. Unsur-unsur LILE yang senang berpindah diletakkan di

sebelah kiri dan di sebelah kanan unsur-unsur HFSE yang kurang berpindah. Kebanyakan unsur disumbangkan oleh mineral tertentu, seperti Zr oleh zircon, P oleh apatit, Sr oleh plagioklas, Ti, Nb dan Ta oleh ilmenit, rutil atau sfen. Sementara itu, anomali Nb negatif di dalam tren menunjukkan cirian kerak benua dan menjadi petunjuk penglibatan kerak dalam proses pembentukan batuan. Unsur-unsur LILE juga banyak terdapat di dalam kerak benua dan boleh menjadi petunjuk asimilasi kerak semasa pembentukan batuan.

Gambar Rajah Labah-labah menunjukkan tren yang hampir sama oleh kesemua pluton (Rajah 5.15 (a-c)). Ia menunjukkan anomali positif pada unsur-unsur Rb, Th, K, Pb, Nd dan Y dan beranomali negatif pada unsur-unsur Ba, Nb, La, Ce, P dan Ti. Pola taburan menunjukkan kesemua unsur ini kaya di dalam Pluton Berangkat dan berkurang di dalam Pluton Noring dan seterusnya Pluton Kenerong. Secara perbandingan didapati anomali negatif yang ketara dilihat pada unsur P dan Ti di dalam Pluton Kenerong (Rajah 5.15 (d)).

d) Pemplotan Rajah Tren Unsur-unsur Nadir Bumi (REE)

Unsur-unsur Nadir Bumi (REE) merupakan unsur yang stabil. Tren REE di dalam igneus dikawal oleh kimia REE punca batuan dan keseimbangan antara kristal-leburan yang berlaku semasa evolusi. Berdasarkan pemalar pecahan mineral/leburan “mineral/melt partition coefficients” untuk leburan dasit and riolit oleh Arth (1976) mendapati mineral aksesori seperti allanit, zircon, sfen, monazit dan apatit mempengaruhi tren REE yang kuat walaupun ujud dalam kuantiti kecil. Hornblend pula mempengaruhi MREE terutama Dy dan Er. Anomali Eu negatif dikawal oleh plagioklas dan K-feldspar.

Unsur-unsur nadir bumi boleh dibahagikan kepada LREE (La, Ce, Pr dan Nd), MREE (Sm, Eu, Tb, Dy dan Ho) dan HREE (Er, Tm, Yb dan Lu). Nilai La_N/Yb_N mewakili pengfraksian keseluruhan batuan, sementara nilai La_N/Sm_N mewakili nilai pengfraksian LREE dan nilai Eu_N/Yb_N mewakili pengfraksian HREE. Nilai La_N/Yb_N Pluton Berangkat adalah paling besar, diikuti oleh Pluton Noring dan Pluton Kenerong. Semakin besar nilai ini maka semakin besar pengfraksian mineral berlaku. Pengfraksian LREE menunjukkan Pluton Noring adalah paling tinggi diikuti oleh Pluton Berangkat dan Pluton Kenerong. Sementara nilai Eu_N/Yb_N menunjukkan Pluton Berangkat paling tinggi diikuti Pluton Kenerong dan Pluton Noring.

Pluton Berangkat menunjukkan nilai HREE yang paling tinggi diikuti oleh Pluton Noring dan Pluton Kenerong, sementara itu LREE pula tinggi di dalam Pluton Berangkat dan Pluton Noring, serta berkurangan di dalam Pluton Kenerong. Anomali Eu negatif paling besar diperolehi di dalam Pluton Noring, diikuti oleh Pluton Kenerong, sementara itu Pluton Berangkat tidak beranomali (Rajah 5.16).

5.3 Kompleks Igneus Benom

55 sampel mewakili batuan Kompleks Igneus Benom telah dianalisis secara XRF untuk mendapatkan unsur-unsur major, minor dan unsur-unsur surih. Daripada sampel yang sama, 20 sampel telah dipilih berdasarkan perbezaan kepekatan SiO_2 untuk dilakukan analisis Pengaktifan Neutron Instrumentasi (INAA) bagi mendapatkan nilai kepekatan unsur-unsur nadir bumi (REE). Data geokimia unsur-unsur major dan unsur-unsur surih berserta nilai mineral normatif CIPW, indeks pembezaan dan indeks alumina ditunjukkan di dalam Lampiran 4. Sementara itu, data unsur-unsur nadir bumi (REE) ditunjukkan di dalam Lampiran 6. Data yang diperolehi ini digabungkan dengan data-

data kajian terdahulu menjadikan jumlah keseluruhan data analisis ialah 177 sampel batuan.

5.3.1 Pencirian Geokimia Batuan Siri Alkali

Batuan siri alkali terdiri daripada piroksenit, gabro hingga gabro alkali, diorit hingga diorit kuarza, sienit kuarza hingga sienit augit dan monzonit kuarza hingga monzogabro. Sebanyak 135 data sampel batuan digunakan bagi mencirikan batuan dan memplot rajah. Plotan menunjukkan pertindihan peratusan SiO_2 antara batuan berlaku dengan jelas. Ini selaras dengan cerapan lapangan dan petrografi yang agak sukar membezakan antara batuan kerana kaitan antara batuan yang bercampuran dengan sempadan yang tidak jelas serta perubahan komposisi mineral adalah secara tidak jelas.

a) Unsur-unsur Major and Minor

Jadual 5.8 menunjukkan julat dan purata unsur-unsur major, minor dan surih bagi batuan Siri Alkali. Ia menunjukkan pertindihan peratusan SiO_2 yang jelas berlaku antara piroksenit, gabro, diorit, sienit dan monzonit dengan masing-masing berjulat dan purata mengikut turutan iaitu 42.4-54.34 wt% (47.78 wt%), 43.14-53.82 wt% (47.43 wt%), 47.28-60.66 wt% (54.30 wt%), 52.11-63.65 wt% (56.79 wt%) dan 50.95-64.67 wt% (58.03 wt%).

Berdasarkan nilai purata setiap unsur, piroksenit dan gabro boleh dicirikan oleh nilai $\text{SiO}_2 < 50$ wt%, dengan unsur TiO_2 yang tinggi (>1.0 wt%), Fe_2O_3 rendah (<15.0 wt%), MgO dan CaO yang tinggi (>8.0 wt%), Fe_2O_3 yang tinggi (>9.0 wt%) dan Na_2O

dan K_2O yang rendah iaitu masing-masing (<2.0 wt%, <4.5 wt%). Sementara itu, diorit, sienit dan monzonit menunjukkan nilai purata yang sebaliknya.

Berdasarkan nilai purata unsur-unsur surih pula, piroksenit dan gabro didapati tinggi Ba, Cr, Cu, V, Y dan Zn. Unsur-unsur lain menunjukkan nilai yang rendah berbanding diorit, sienit dan monzonit (Jadual 5.8). Gabro adalah rendah dengan Rb, Pb dan La, dan tinggi dengan V. Ia mengandungi unsur-unsur lain dengan nilai julat yang besar. Nilai kepekatan unsur-unsur bagi diorit adalah berada di antara gabro dan monzonit, hampir bertindih dengan sienit. Sienit tinggi kandungan Rb, Ba dan Sr mencerminkan kelimpahan K-feldspar. Monzonit pula dicirikan oleh tinggi Rb, Zr dan Ga, serta rendah V, Cr, Y, Cu dan Zn.

b) Pemplotan Gambar Rajah Harker

Gambar Rajah Harker unsur-unsur major menunjukkan unsur-unsur TiO_2 , MgO , CaO , P_2O_5 , Fe_2O_3 dan MnO bertren negatif yang jelas dengan pertambahan SiO_2 . Sementara itu, unsur Na_2O dan K_2O menunjukkan tren positif, dan Al_2O_3 menunjukkan tren yang hampir seragam antara kesemua batuan kecuali piroksenit yang rendah nilainya (Rajah 5.17).

Gambar Rajah Harker unsur-unsur surih pula menunjukkan unsur-unsur Rb, Zr, Pb dan La menunjukkan tren positif, sementara unsur V menunjukkan tren negatif. Unsur-unsur lain menunjukkan taburan agak seragam (Rajah 5.18). Unsur Rb menunjukkan tren positif terhadap SiO_2 (Rajah 5.18). Pertambahan agak sekata dari gabro kepada diorit, tetapi mendadak peningkatan sehingga seratus peratus pertambahan di dalam sienit dan monzonit. Unsur Sr pula menunjukkan pertambahan daripada

piroksenit dan gabro kepada diorit dan sienit, tetapi berkurang semula di dalam monzonit. Batuan siri alkali mempunyai nilai kepekatan Ba yang tinggi dengan julat antara 2,000 ppm hingga 11,000 ppm. Unsur Ba menunjukkan tren negatif dengan turutan piroksenit, gabro, sienit, diorit dan monzonit.

Nilai unsur HFSE, iaitu Zr, Hf, Nb dan Y di dalam gabro dan sienit menunjukkan julat yang besar. Unsur Zr menunjukkan tren positif, sementara unsur Hf dan Nb menunjukkan pertambahan daripada gabro kepada diorit dan sienit dan penurunan di dalam monzonit (Rajah 5.18). Unsur Y menunjukkan pertambahan daripada gabro kepada sienit tetapi berkurang ke arah diorit dan monzonit. Tren perubahan yang tidak menentu terutama di antara sienit, diorit dan monzonit menunjukkan terdapat interaksi dan perubahan komposisi magma semasa pembentukan batuan ini.

Unsur-unsur logam peralihan seperti V, Cr dan Ni menunjukkan tren negatif yang sangat jelas dengan pengurangan daripada gabro, diorit, sienit kepada monzonit (Rajah 5.18). Namun begitu, julat kepekatan unsur Cr dan Ni di dalam gabro adalah cukup besar mencakupi kesemua nilai batuan lain. Unsur Co pula menunjukkan tren yang tidak jelas dan nilai menunjukkan agak rawak di dalam kesemua jenis batuan.

Unsur-unsur logam yang lain menunjukkan tren yang pelbagai. Unsur Cu menunjukkan tren negatif, tetapi unsur Pb menunjukkan tren positif (Rajah 5.18). Sementara itu, unsur Zn menunjukkan pertambahan daripada gabro kepada diorit dan sienit dan berkurangan semula di dalam monzonit. Unsur Ga pula menunjukkan tren yang seragam pada semua batuan (Rajah 5.18). Unsur-unsur tidak stabil, iaitu Th

menunjukkan tren positif tetapi nilai maksimum pada diorit, bukannya pada monzonit (Rajah 5.18).

c) Pemplotan Gambar Rajah Labah-labah

Gambar Rajah Labah-labah telah diplotkan menggunakan penormalan mantel primitif oleh Sun & McDonough (1989) bagi setiap batuan dalam Siri Alkali Kompleks Benom (Rajah 5.19). Piroksenit dan gabro menunjukkan tren yang agak berbeza berbanding diorit, sienit dan monzonit (Rajah 5.19). Ia menunjukkan perbezaan anomali pada unsur Th, Eu, Y dan Yb. Ini mencerminkan asalan magma bagi pembentukan piroksenit dan gabro adalah berbeza dengan magma pembentukan diorit, sienit dan monzonit.

Namun begitu, secara keseluruhan didapati kesemua batuan menunjukkan anomali positif pada unsur Ba, Th, K, Ce, Pb, Nd dan Y, dan beranomali negatif pada unsur Nb (paling ketara), La, Sr, P dan Ti. Keselarasan tren secara keseluruhan ini menunjukkan batuan adalah asalan igneus bukannya sedimen yang mengalami peleburan semula.

d) Pemplotan Gambar Rajah Tren REE

Plotan tren REE bagi setiap batuan dalam Siri Alkali Kompleks Benom menunjukkan tren yang hampir sama pada kesemua jenis batuan. Ia menunjukkan kecerunan tinggi pada piroksenit mencirikan pengfraksian mineral yang kuat (Rajah 5.20). Kesemua batuan tidak menunjukkan anomali Eu kecuali monzonit menunjukkan anomali Eu +ve yang sedikit. Nilai penormalan Kondrit digunakan adalah mengikut Nakamura (1974).

Dengan melihat perbandingan tren REE kesemua batuan, didapati piroksenit tinggi dengan LREE dan rendah HREE berbanding batuan lain. Sementara itu, diorit pula tinggi HREE dan rendah LREE berbanding batuan lain.

Jadual 5.9 menunjukkan nilai-nilai REE bagi setiap batuan Siri Alkali dengan nilai penormalan dan nisbah. Piroksenit menunjukkan jumlah REE yang paling tinggi berjulat antara 694.48 – 982.79, sementara itu diikuti oleh monzonit (610.05 – 779.99), sienit (451.06 – 858.46), diorit (342.2 – 670.2) dan akhir sekali gabro (369.04 – 459.8). Nilai pengfraksian REE (La_N/Yb_N) pula paling tinggi di dalam piroksenit dengan purata 27.3, diikuti oleh monzonit (17.96), gabro (15.78), sienit (14.56) dan diorit (9.72). Nilai pengfraksian REE yang tinggi ini menunjukkan pengfraksian mineral di dalam batuan berlaku dengan julat yang besar. Sementara itu, pengfraksian LREE (La_N/Sm_N) pula paling tinggi di dalam diorit dengan purata 43.22 diikuti oleh monzonit (3.04), sienit (2.92), gabro (2.35) dan piroksenit (1.096). Pengfraksian HREE (Eu_N/Yb_N) pula menunjukkan nilai paling tinggi di dalam piroksenit (85.944), diikuti oleh monzonit (6.76), gabro (5.14), sienit (4.56) dan diorit (4.00). Nilai pengfraksian LREE yang tinggi di dalam diorit disebabkan anomali negatif Sm, sementara pengfraksian HREE yang tinggi di dalam piroksenit disebabkan anomali positif unsur Eu.

5.3.2 Pencirian Geokimia Batuan Siri Kalk-alkali

Batuan Siri Kalk-alkali terdiri daripada granodiorit (GD), granit berbutir kasar porfiritik (GKP) dan granit berbutir halus hingga sederhana (GHS). Istilah GD, GKP dan GHS digunakan di dalam perbincangan seterusnya bagi memudahkan penulisan. Sebanyak 36 data sampel batuan digunakan bagi mencirikan batuan dan pemplotan rajah.

a) Unsur-unsur Major and Minor

Ringkasan geokimia unsur-unsur major, minor dan surih ditunjukkan di dalam Jadual 5.10. Ia menunjukkan granodiorit (GD) boleh dicirikan oleh peratusan $\text{SiO}_2 < 73.36$ wt% dengan purata 71.46 wt%. Ia tinggi dengan TiO_2 (purata 0.32), Al_2O_3 (purata 14.53), Fe_2O_3 (purata 2.49), MgO (purata 0.62), CaO (purata 1.52), dan Na_2O (purata 3.42) dan rendah dengan unsur K_2O (purata 4.10) berbanding GKP dan GHS. GD juga rendah dengan Rb, Nb, Y, Ni dan Co.

Peratusan SiO_2 bagi GKP dan GHS saling bertindihan dengan julat masing-masing antara 73.37 – 76.0 wt% dan 74.10 – 77.52 wt%. Kedua-duanya tinggi dengan K_2O , Rb, Nb, Y, Ni dan Co (Jadual 5.10).

b) Pemplotan Gambar Rajah Harker

Plotan Gambar Rajah Harker unsur-unsur major menunjukkan tren negatif bagi unsur-unsur TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , P_2O_5 dan Fe_2O_3 . Unsur K_2O pula bertren positif dengan penambahan SiO_2 , tetapi Na_2O dan MnO menunjukkan nilai hampir seragam dalam kesemua batuan (Rajah 5.21).

Gambar Rajah Harker unsur-unsur surih pula menunjukkan tren negatif oleh unsur-unsur Ba, Sr, Zr dan V, sementara tren positif ditunjukkan oleh unsur-unsur Rb, Nb, Y, Ni dan Pb. Unsur lain menunjukkan tren hampir seragam seperti Cr, Cu, Zn, Ga, Pb, Co dan Th (Rajah 5.22).

c) Pemplotan Gambar Rajah Labah-labah

Plotan Gambar Rajah Labah-labah menggunakan penormalan mantel primitif mengikut Sun & McDonough (1989) menunjukkan ketiga-tiga batuan mempunyai anomali yang hampir sama (Rajah 5.23). Ia menunjukkan anomali positif pada Rb, Th, Pb, Zr dan Y, dan beranomali negatif pada unsur Ba, Nb, P dan Ti. Secara bandingan didapati GKP menunjukkan anomali negatif Nb dan P yang paling jelas diikuti oleh GHS dan GD (Rajah 5.23).

d) Pemplotan Gambar Rajah Tren REE

Bagi pemplotan Gambar Rajah Tren REE batuan Siri Kalk-alkali, penormalan kondrit mengikut Nakamura (1974) juga digunakan. Nilai REE, kiraan penormalan dan nisbahnya ditunjukkan di dalam Jadual 5.11.

Jumlah REE yang tinggi diwakili oleh GKP dengan purata 332.72, diikuti oleh GD (123.83) dan GHS (68.55). Nilai pengfraksian REE (L_{a_N}/Y_{b_N}) juga tinggi di dalam GKP (8.76) diikuti GD (4.26) dan GHS (3.37). Tururtan pengfraksian LREE (L_{a_N}/Sm_N) juga daripada GKP (3.77) kepada GD (2.67) dan GHS (2.42). Sementara itu, pengfraksian HREE (Eu_N/Y_{b_N}) agak berbeza, iaitu tinggi di dalam GKP (3.08) kepada GHS (2.58) dan GD (2.41) (Jadual 5.11).

Pemplotan rajah tren REE menunjukkan pola yang hampir sama antara kesemua jenis batuan (Rajah 5.24). Kesemua beranomali Sm $-ve$ dan Eu $+ve$, dan berbeza hanya pada kepekatan REE sahaja, iaitu GKP paling tinggi LREE, MREE dan HREE diikuti GD dan GHS.

5.3.3 Perbandingan geokimia antara Siri Alkali dan Siri Kalk-alkali

a) Pemplotan Gambar Rajah Harker

Perbandingan unsur-unsur major dan minor antara batuan Siri Alkali dan Siri Kalk-alkali boleh dilihat dengan jelas di dalam Rajah 5.25. Secara umum, terdapat sela lompong 5 wt% SiO₂ yang memisahkan antara dua siri batuan ini.

Kesimpulannya menunjukkan batuan Siri Alkali tinggi kandungan TiO₂ (> 0.5 wt%), tinggi MgO (> 1.0 wt%), tinggi CaO (>2.0 wt%), tinggi Fe₂O₃ (>3.0 wt%) dan MnO (>0.04 wt%). Sementara itu, unsur-unsur Al₂O₃, Na₂O dan K₂O mempunyai nilai yang bertindihan dengan Siri Kalk-alkali (Rajah 5.25). Batuan Siri Kalk-alkali mempunyai unsur-unsur sebaliknya. Berdasarkan Rajah 5.26, didapati batuan Siri Alkali juga rendah Rb (<200 ppm), tinggi Ba, Sr, V dan Cr berbanding batuan Siri Kalk-alkali. Sementara itu, batuan Siri Kalk-alkali dicirikan oleh nilai Rb, Ni, Zn dan Ga yang tinggi berbanding Siri Alkali.

b) Pemplotan Gambar Rajah Labah-labah

Sebanyak 23 sampel mewakili batuan Siri Alkali dan 14 sampel mewakili batuan Siri Kalk-alkali diplotkan untuk melihat tren gambar Rajah Labah-labah. Plotan dibuat dengan menggunakan penormalan mantel primitif mengikut Sun & McDonough (1989) bagi melihat perubahan tren unsur (Rajah 5.27(a) dan (b)). Perbandingan tren antara dua siri batuan juga diplotkan bagi melihat perbezaan yang ujud (Rajah 5.27 (c)).

Batuan siri alkali menunjukkan anomali negatif pada unsur-unsur Nb, La, P, Zr, Ti dan Yb. Ia menunjukkan anomali positif pada unsur-unsur Th, K, Pb, Nd, Eu dan Y (Rajah 5.27(a)). Batuan siri kalk-alkali pula menunjukkan anomali negatif pada unsur-unsur Ba, Nb, P dan Ti, beranomali positif pada unsur-unsur Th, Pb, Zr dan Y (Rajah 5.27(b)).

Pertindihan tren Gambar Rajah Labah-labah antara batuan Siri Alkali dan Siri Kalk-alkali yang telah diplotkan menunjukkan perbezaan jelas antara kedua-dua siri batuan (Rajah 5.27(c)). Perbezaan jelas adalah anomali positif unsur Ba pada siri alkali berbanding negatif bagi batuan siri kalk-alkali. Anomali negatif unsur Nb, P dan Ti pada batuan siri kalk-alkali adalah begitu jelas menurun kepada nilai 10 bagi Nb hingga bawah 1.0 bagi P dan Ti. Bagi batuan siri alkali anomali negatif tidak begitu ketara. Perbezaan yang jelas tren Gambar Rajah Labah-labah membuktikan bahawa kedua-dua siri batuan bukan berasal daripada punca magma yang sama atau berkemungkinan melalui proses yang berbeza semasa pembentukan batuan.

c) Pemplotan Gambar Rajah Tren REE

Gambar Rajah tren REE bagi kedua-dua siri batuan juga menunjukkan perbezaan tren yang jelas (Rajah 5.28). Batuan Siri Alkali menunjukkan nilai LREE yang lebih tinggi berbanding Siri Kalk-alkali. HREE pula tinggi di dalam Siri Kalk-alkali berbanding Siri Alkali.

5.4 Geokimia Pluton-pluton Jalur Tengah yang lain

Jasad-jasad granit yang lain di dalam Jalur Tengah Semenanjung Malaysia boleh dikelompokkan kepada (1) pluton-pluton di bahagian utara dan tengah di dalam Jalur Tengah, dan (2) pluton-pluton di bahagian selatan di dalam Jalur Tengah. Pengelompokkan ini berdasarkan cirian batuan dilapangan dari segi saiz butiran, tekstur dan julat kepelbagaian jenis batuan.

5.4.1 Pluton-pluton di bahagian utara dan tengah di Jalur Tengah Semenanjung Malaysia

Sebanyak enam pluton yang berada di bahagian utara dan tengah Jalur Tengah Semenanjung Malaysia telah dianalisis, iaitu Granit Kemahang, Pluton Senting, Granit Bukit Tujuh, Kompleks Lanchar, Granit Bukit Tapah dan Pluton Palong. Terdapat 51 sampel dipilih mewakili keenam-enam pluton ini mengikut pecahan ditunjukkan di dalam Jadual 5.12.

a) Unsur-unsur Major and Minor

Jadual 5.12 menunjukkan ringkasan geokimia enam pluton di utara dan tengah di dalam Jalur Tengah. Kompleks Lanchar mempunyai nilai purata SiO_2 paling rendah iaitu 62.39 wt%, diikuti Plutong Senting (66.82 wt%), Granit Kemahang (70.07 wt%), Granit Bukit Tapah (70.13 wt%), Granit Bukit Tujuh (71.23 wt%) dan akhir sekali Pluton Palong (72.02 wt%). Kompleks Lanchar berjulat SiO_2 yang besar kerana terdiri daripada batuan siri pertengahan dan siri asidik (Jaafar Ahmad, 1980). Begitu juga Pluton Palong yang terdiri daripada batuan asidik hingga leukokratik.

Kompleks Lanchar mempunyai purata TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO dan P_2O_5 yang paling tinggi di antara kesemua pluton. Sementara itu, Pluton Palong menunjukkan purata nilai sebaliknya bagi unsur yang sama. Namun begitu, purata nilai $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ paling tinggi adalah pada Pluton Senting (8.39 wt%) dan paling rendah ialah Granit Bkt. Tapah (4.17 wt%). Nisbah $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ yang paling tinggi ditunjukkan oleh Granit Bkt. Tujuh (2.26) dan paling rendah ialah Granit Bkt. Tapah (0.64). Nilai-nilai A/NK dan A/CNK ditunjukkan di dalam Jadual 5.12. Penulis mendapati kesemua pluton mempunyai nilai A/CNK berjulat daripada 0.82 – 3.09, kecuali Granit Bkt. Tapah berjulat daripada 1.70 – 2.32. Nilai A/NK pula didapati melebihi 2.0 bagi Kompleks Lanchar dan Granit Bukit Tapah.

Pemplotan Gambar Rajah Harker unsur-unsur major menunjukkan tren negatif dengan pertambahan SiO_2 bagi unsur-unsur TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , P_2O_5 , Fe_2O_3 dan MnO . Tren positif pula ditunjukkan oleh unsur K_2O , dan Na_2O menunjukkan nilai hampir seragam (Rajah 5.29).

Plotan Gambar Rajah Harker unsur-unsur surih hanya melibatkan Granit Kemahang, Kompleks Lanchar dan Pluton Palong sahaja. Ia menunjukkan tren negatif pada unsur-unsur Ba, Sr dan V, dan bertren positif pada unsur-unsur Rb, Nb dan Y. Unsur-unsur lain seperti Zr, Hf dan Cr menunjukkan tren hampir seragam dengan pertambahan SiO_2 (Rajah 5.30).

b) Pemplotan Gambar Rajah Labah-labah

Gambar Rajah Labah-labah Granit Kemahang, Kompleks Lanchar dan Pluton Palong ditunjukkan di dalam Rajah 5.31. Penormalan adalah berdasarkan mantel primitif

mengikut Sun & McDonough (1989). Granit Kemahang dan Pluton Palong menunjukkan tren yang hampir sama, dan agak berbeza dengan Kompleks Lanchar (Rajah 5.31). Kedua-dua mempunyai anomali positif pada unsur-unsur Rb, Th, U, K, Pb, Zr dan Y, dan beranomali negatif pada unsur-unsur Ba, Nb, Ce, P dan Ti (Rajah 5.31(a) & (c)). Sementara itu, Kompleks Lanchar menunjukkan anomali positif pada unsur-unsur Th, K, Pb dan Y sahaja, dan beranomali negatif pada unsur-unsur Nb, La dan Ti sahaja (Rajah 5.31(b)).

Perbandingan ketiga-tiga tren Gambar Rajah Labah-labah menunjukkan Granit Kemahang dan Pluton Palong mempunyai unsur-unsur Rb hingga Nb (sebelah kiri rajah) yang lebih tinggi berbanding Kompleks Lanchar, terutamanya unsur-unsur anomali positif. Tetapi, kedua-duanya lebih rendah unsur-unsur sebelah kanan (dari P hingga Y) secara relatif (Rajah 5.31(d)).

5.4.2 Pluton-pluton di bahagian selatan Jalur Tengah Semenanjung Malaysia

Terdapat tiga pluton dikumpulkan di dalam kumpulan ini, iaitu Granit Batang Melaka, Pluton Gunung Ledang dan Granit Bukit Mor. Ia dikumpulkan kerana mempunyai cirian batuan yang hampir sama, bersifat isogranular (sama saiz butiran hingga sedikit porfiritik lemah), berwarna kelabu cerah (leukokratik) dengan kandungan SiO₂ yang tinggi melebihi 70 wt%.

a) Unsur-unsur Major and Minor

Unsur-unsur major ketiga-tiga jasad granit ini ditunjukkan di dalam Jadual 5.13. Terdapat 33 sampel secara keseluruhan digunakan untuk memplotkan graf. Hampir

kesemua unsur-unsur major bagi ketiga-tiga pluton menunjukkan nilai yang hampir sama kecuali MgO yang tinggi di dalam Pluton Gunung Ledang (0.65 wt%) berbanding Granit Batang Melaka (0.26 wt%) dan Granit Bukit Mor (0.07 wt%).

Granit Batang Melaka dan Pluton Gunung Ledang pula dicirikan oleh tinggi nilai Rb dan Zn serta rendah unsur Nb, V, Y, Pb, Ga dan Ce. Granit Bukit Mor berbeza dengan Granit Batang Melaka dan Pluton Gunung Ledang kerana rendah nilai Rb dan Sr, tetapi tinggi nilai unsur Nb, Y, Ga, Pb dan La. Namun begitu, berdasarkan nilai A/CNK, A/NK, jumlah K_2O+Na_2O dan nisbah K_2O/Na_2O , didapati Pluton Gunung Ledang mempunyai persamaan atau pertindihan dengan Granit Bukit Mor (Jadual 5.13).

Plotan Gambar Rajah Harker unsur-unsur major menunjukkan unsur-unsur TiO_2 , Al_2O_3 , CaO, K_2O , P_2O_5 , Fe_2O_3 dan MnO bertren negatif dengan pertambahan SiO_2 . Tren positif pula ditunjukkan oleh unsur Na_2O (Rajah 5.32). Unsur-unsur surih pula menunjukkan tren negatif pada Zr dan V. Unsur-unsur lain menunjukkan tren yang tidak seragam (Rajah 5.33). Berdasarkan plotan unsur-unsur surih didapati Granit Bukit Mor berbeza dengan Granit Batang Melaka dan Pluton Gunung Ledang.

b) Pemplotan Gambar Rajah Labah-labah

Gambar Rajah Labah-labah ketiga-tiga pluton menunjukkan tren yang hampir sama. Ia menunjukkan anomali positif pada unsur-unsur Rb, Th, U, K, Pb, Zr dan Y, serta anomali negatif pada unsur-unsur Ba, Nb, Ce, P dan Ti (Rajah 5.34).

Secara relatif, Granit Batang Melaka rendah unsur-unsur Ba hingga Ce (paling rendah nilai Ba, Nb dan Ce), tetapi tinggi unsur-unsur P hingga Y berbanding Pluton

Gunung Ledang dan Granit Bukit Mor. Sementara itu, Granit Bukit Mor didapati paling rendah nilai Ti (Rajah 5.34(d)). Tren yang hampir sama boleh menggambarkan magma induk pembentuk jasad granit adalah sama.

5.5 Hubungan Geokimia Kompleks Igneus Stong dan Kompleks Igneus Benom

Bagi melihat kaitan antara Kompleks Stong dan Kompleks Benom, pemplotan geokimia telah dilakukan mengabungkan kedua-dua jasad batuan ini. Tren graf terutamanya unsur-unsur surih dan unsur-unsur nadir bumi (REE) memberi kaitan yang lebih bermakna berbanding tren Gambar Rajah Harker unsur major.

5.5.1 Unsur-unsur Major and Minor

Plotan Gambar Rajah Harker unsur-unsur major menunjukkan batuan Kompleks Stong mempunyai peratusan SiO_2 antara 60 wt% hingga 75 wt%, iaitu mengisi ruang lompang antara batuan Siri Alkali Kompleks Benom (berjulat SiO_2 antara 43 wt% hingga 65 wt%) dan Siri Kalk-alkali (berjulat SiO_2 antara 70 wt% hingga 78 wt%).

Gabungan kesemua batuan menunjukkan pertambahan SiO_2 daripada batuan Siri Alkali Kompleks Benom kepada batuan Kompleks Stong dan batuan Siri Kalk-alkali Kompleks Benom. Unsur-unsur TiO_2 , MgO , CaO , P_2O_5 , Fe_2O_3 dan MnO menunjukkan tren negatif dengan pertambahan SiO_2 , sementara itu, tren positif ditunjukkan oleh unsur Na_2O . Unsur K_2O pula menunjukkan tren hampir seragam dengan pertambahan SiO_2 (Rajah 5.35).

5.5.2 Unsur-unsur Surih

Secara umum, batuan Kompleks Stong dicirikan oleh kaya Rb, dan rendah Ba, V, Cr, Ni, La dan Ce berbanding Kompleks Benom. Gambar Rajah Plotan Harker unsur-unsur surih ditunjukkan oleh Rajah 5.36. Tren negatif ditunjukkan oleh unsur-unsur Ba, Sr, V, Cr, Ni, Zn, Ce dan La, sementara tren positif ditunjukkan oleh unsur-unsur Rb, Y dan Th. Unsur-unsur lain menunjukkan tren hampir sekata taburan nilainya, iaitu Zr, Hf, Nb, Ga, Pb dan Co.

5.5.3 Pemplotan Gambar Rajah Labah-labah

Perbandingan tren Gambar Rajah Labah-labah antara Kompleks Stong dan batuan Siri Alkali Kompleks Benom ditunjukkan di dalam Rajah 5.37. Kompleks Stong beranomali positif pada unsur-unsur Rb, Th, K, Pb, Zr dan Y, sedangkan Kompleks Benom pada unsur-unsur Ba, Th, K, Pb, Zr dan Y. Perbezaan jelas ditunjukkan oleh anomali negatif unsur-unsur Ba, P dan Ti pada Kompleks Stong di mana Kompleks Benom tidak menunjukkan anomali sedemikian.

5.5.4 Pemplotan Gambar Rajah Tren REE

Rajah 5.38 menunjukkan tren REE bagi Kompleks Stong dan Kompleks Benom (Siri Alkali sahaja). Kedua-dua kompleks menunjukkan tren yang berbeza. Kompleks Stong rendah LREE tetapi tinggi HREE berbanding dengan Kompleks Benom yang kaya LREE secara relatifnya. Kompleks Stong, iaitu Pluton Granit Noring beranomali Eu negatif sementara Kompleks Benom tiada anomali Eu.

5.6 Perbandingan Geokimia Batuan Igneus Jalur Tengah dengan Jalur Barat dan Jalur Timur.

Dengan menggunakan data-data kajian terdahulu seperti Liew (1983), Cobbing, et al. (1992) dan Jaafar Ahmad (1979; 1980), sebanyak 644 sampel mewakili keseluruhan batuan granit dikumpulkan dan diplotkan bagi membezakan cirian geokimia setiap jalur.

5.6.1 Gambar Rajah Harker Unsur-unsur Major

Didapati Jalur Tengah dan Jalur Timur menunjukkan julat peratusan SiO_2 yang besar berbanding Jalur Barat. Nilai peratusan SiO_2 batuan di Jalur Barat pula tertumpu pada julat antara 68 – 78 wt%.

Berdasarkan Rajah 5.39, penulis mendapati tren yang agak berbeza bagi Jalur Tengah berbanding Jalur Barat dan Jalur Timur bagi unsur-unsur Al_2O_3 , TiO_2 , K_2O dan P_2O_5 . Tren ini boleh menjadi ciri penting dalam membezakannya dengan jalur yang lain. Unsur P_2O_5 di dalam Jalur Tengah menunjukkan nilai yang tinggi berbanding jalur yang lain.

5.6.2 Gambar Rajah Harker Unsur-unsur Surih

Gambar Rajah Harker unsur-unsur surih menunjukkan Jalur Tengah kaya dengan Rb, Ba, Ce, Th dan U berbanding dengan Jalur Barat dan Jalur Timur (Rajah 5.40). Perbezaan yang jelas di dalam batuan siri alkali Kompleks Benom terutamanya pada unsur Ba.

5.6.3 Gambar Rajah Labah-labah purata Unsur Setiap Jalur

Bagi tujuan perbandingan secara umum, purata setiap unsur di dalam Granit Jalur Barat, Jalur Tengah dan Jalur Timur diplotkan secara Gambar Rajah Labah-labah. Di dapati Granit Jalur Tengah mempunyai unsur-unsur daripada Sr hingga Y (bahagian kanan rajah) yang lebih tinggi berbanding Granit Jalur Barat dan Timur (Rajah 5.41). Begitu juga dengan nilai Ba, Th dan U.

5.7 Kesimpulan

Berdasarkan geokimia batuan dan pemplotan Gambar Rajah Harker unsur-unsur major, unsur-unsur surih, Gambar Rajah Labah-labah dan Tren REE, penulis membuat kesimpulan seperti berikut;

1. Cirikan geokimia telah membezakan secara jelas antara Pluton Berangkat, Pluton Noring dan Pluton Kenerong di dalam Kompleks Stong. Pluton Berangkat dicirikan oleh julat SiO_2 antara 61.39 – 67.06 wt% dengan nilai purata TiO_2 (0.62 wt%), MgO (2.74 wt%), CaO (3.33 wt%), K_2O (5.01 wt%) dan P_2O_5 (0.31 wt%) yang lebih tinggi berbanding Pluton Noring dan Pluton Kenerong. Mempunyai nilai Cr dan Ni yang lebih tinggi dengan indeks pembezaan secara purata 70.02 dan A/CNK purata 0.92, iaitu lebih rendah berbanding Pluton Noring dan Pluton Kenerong. Pluton Noring dicirikan oleh SiO_2 antara 66.20 – 72.73 wt% dengan Al_2O_3 lebih tinggi berbanding Pluton Berangkat dan Pluton Kenerong. Unsur-unsur major yang lain menunjukkan nilai pertengahan antara Pluton Berangkat dan Pluton Kenerong. Begitu juga dengan nilai indeks pembezaan dan A/CNK. Pluton Noring adalah rendah unsur Ce dan Co, serta tinggi dengan unsur Ba,

Rb, Sr dan Zr berbanding pluton lain. Pluton Kenerong adalah lebih felsik dicirikan oleh peratusan SiO_2 antara 71.46 – 76.62 wt% dengan nilai TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO, CaO dan MnO yang paling rendah berbanding pluton lain. Ia juga menunjukkan nilai Cr, Ni, dan V yang rendah, tetapi tinggi Co, Y, Ga, Nb, Pb dan Th berbanding pluton lain. Indeks pembezaan adalah tinggi mencapai nilai 94.45 dan A/CNK menunjukkan julat antara 1.05 – 1.31.

2. Pluton Noring pula boleh dibezakan berdasarkan geokimia selaras dengan penamaan di lapangan kepada (1) Granit Sg. Long (GSL) yang mengandungi biotit dan hornblend (dicirikan oleh TiO_2 , MgO, CaO, P_2O_5 dan Fe_2O_3 yang tinggi), (2) Granit Sg. Suda (GSS) yang hanya mengandungi biotit (dicirikan oleh TiO_2 , MgO, CaO, P_2O_5 dan Fe_2O_3 yang rendah), dan (3) Mikrogranit Sg. Terang (MST).
3. Ketiga-tiga pluton di dalam Kompleks Stong menunjukkan tren labah-labah yang hampir sama dan mencerminkan kemungkinan berpunca daripada magma yang sama. Namun begitu, proses yang dilalui bagi setiap pluton semasa pembentukan batuan adalah berbeza.
4. Pluton Berangkat mengalami pengfraksian mineral yang kurang berbanding Pluton Noring yang paling besar berdasarkan kecerunan antara LREE dan HREE.
5. Nilai anomali Eu negatif pada Pluton Noring mungkin akibat asimilasi magma dengan batuan keliling.
6. Kompleks Benom boleh dibezakan kepada batuan Siri Alkali dan Siri Kalk-alkali berdasarkan geokimia batuan. Lompang atau “gap” nilai SiO_2 antara kedua siri batuan sebanyak 5 wt% menunjukkan ketidak sambungan pembezaan batuan, mencerminkan bahawa kedua siri batuan berasal daripada magma yang berbeza. Ini disokong oleh tren Gambar Rajah Labah-

labah dan tren REE kedua-dua siri batuan yang menunjukkan perbezaan tren yang jelas.

7. Pertindihan nilai kepekatan SiO_2 yang jelas antara piroksenit, gabro, diorit, sienit dan monzonit menunjukkan berlakunya interaksi yang kuat antara batuan di dalam Siri Alkali semasa pembentukan batuan. Ia menyokong cerapan di lapangan yang menunjukkan kemungkinan berlaku interaksi magma dengan batuan keliling atau percampuran antara magma.
8. Pengelompokkan pluton-pluton Jalur Tengah yang lain kepada (1) Pluton Utara dan Tengah Jalur Tengah dan (2) Pluton Selatan Jalur Tengah daripada kajian di lapangan, didapati selaras dan boleh dibezakan juga secara geokimia. Pluton (1) yang terdiri daripada enam pluton mengandungi julat SiO_2 antara 50 – 78 wt%, TiO_2 , MgO , CaO , P_2O_5 , Fe_2O_3 dan MnO yang tinggi, tetapi Pluton (2) berjulat SiO_2 antara 70 – 78 wt% dengan unsur-unsur TiO_2 , MgO , CaO , P_2O_5 , Fe_2O_3 dan MnO yang rendah.
9. Perbandingan antara Kompleks Stong dan Kompleks Benom secara geokimia menunjukkan tren yang berbeza di dalam pemplotan Gambar Rajah Labah-labah dan Gambar Rajah Tren REE.