

BAB 6

PENGELASAN PLUTON

6.1 Pengenalan

Perbincangan batuan granit Semenanjung Malaysia oleh pengkaji terdahulu hanya melibatkan beberapa pengelasan yang lazim seperti pengelasan siri ilmenit dan magnetit (Ishihara, 1977) dan pengelasan jenis-I dan jenis-S (Chappel dan White, 1976). Penulis mendapati tidak ada penulisan yang membincangkan secara ekstensif pengelasan terhadap batuan granit Semenanjung Malaysia, terutamanya Granit Jalur Tengah yang melibatkan Kompleks Stong dan Kompleks Benom.

Di dalam bab ini, penulis akan membincangkan pengelasan-pengelasan granit yang dicadangkan oleh pengkaji terdahulu di dalam subtopik pertama. Kompleks Igneus Stong dan Kompleks Igneus Benom akan dikelaskan menggunakan pengelasan yang telah dicadangkan oleh pengkaji terdahulu dibincangkan di dalam bahagian kedua, diikuti pluton-pluton lain yang berada di dalam Jalur Tengah Semenanjung Malaysia.

6.2 Skema Pengelasan Batuan Igneus/Granit

Terdapat lebih kurang 20 skema pengelasan yang telah dicadangkan oleh pengkaji terdahulu. Secara umum, kesemua pengelasan yang dicadangkan adalah bertujuan untuk mengelaskan batuan kepada penamaan batuan, siri magma, asalan batuan (Origin), dan sekitaran pembentukkan batuan (termasuk tektonik).

Di peringkat awal pengelasan granit, kebanyakan pengkaji menggunakan pendekatan secara bimodal contohnya orogeni melawan anorogeni (Martin dan Piwinski, 1972), leukogranit melawan monzogranit-granodiorit (Didier dan Lameyre, 1969), I-type melawan S-type (Chappel dan White, 1974), siri ilmenite melawan siri magnetite (Ishihara, 1977). Kesemua pengelasan ini tidak mencerminkan sifat granit yang kompleks dari segi kepelbagaian asalan, punca magma, proses yang terlibat seperti peleburan, percampuran magma “mixing and mingling”, pembezaan, pencemaran batuan keliling dan asimilasi serta kepelbagaian sekitaran pembentukan batuan.

Pengelasan granit berkembang dengan penggunaan mikroskop yang menonjolkan kepelbagaian mineralogi dan tekstur batuan. Ia dikaitkan dengan kimia dan sejarah penyejukan batuan. Namun begitu, terdapat banyak pengelasan yang dicadangkan adalah menggunakan geokimia batuan bagi mencirikan batuan disokong dengan mineralogi batuan. Ia kemudian dikaitkan dengan sekitaran pembentukan batuan. Data geokimia yang banyak tersedia memberikan peluang pengkaji terdahulu membuat pengelasan sekitaran batuan seperti Pearce et al. (1984), Pitcher (1983) dan Maniar dan Piccoli (1989).

Seterusnya, pengkaji terdahulu mengabungkan maklumat mineralogi, keadaan batuan di lapangan, geokimia dan proses yang berlaku semasa evolusi batuan bagi mengelaskan batuan secara lebih terperinci seperti Barbarin (1990, 1999) yang mencadangkan pengelasan sintesis. Selain daripada itu, ada juga pengkaji yang mencadangkan pengubahsuaian terhadap pengelasan yang sedia ada seperti Frost et al. (2001). Perbincangan seterusnya menghuraikan pengelasan-pengelasan yang akan digunakan bagi mengelaskan Kompleks Stong dan Kompleks Benom.

6.2.1 Huraian Ringkas Beberapa Skema Penamaan Batuan

a) Penamaan batuan mengikut Cox et al. (1979)

Pengelasan ini menggunakan peratusan jumlah alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) terhadap pertambahan peratusan SiO_2 bagi batuan vulkanik dan batuan plutonik. Kandungan SiO_2 digunakan sebagai penentu kelas batuan sebagai ultrabases $< 45 \text{ wt\% SiO}_2$, batuan bes berjulat antara $45 - 52 \text{ wt\% SiO}_2$, batuan pertengahan berjulat antara $52 - 66 \text{ wt\% SiO}_2$ dan batuan asid sekiranya $> 66 \text{ wt\% SiO}_2$. Kelebihan pengelasan ini adalah peratusan jumlah alkali dan SiO_2 diplotkan secara terus hasil daripada analisis dalam peratusan. Ia dikatakan konsisten dengan pengelasan IUGS mengikut Streckeisen (1976) (Le Bas et al., 1986).

b) Penamaan batuan mengikut De la Roche et al. (1980)

De la Roche et al. (1980) memperkenalkan teknik menamakan granit berdasarkan pemalar dikenali R_1 dan R_2 . Teknik ini menggunakan rajah tetrahedron yang dicadangkan oleh Yoder dan Tilley (1962) dengan membahagikan ia kepada dua dimensi, iaitu $R_1 [4\text{Si} - 11(\text{Na} + \text{K}) - 2(\text{Fe} + \text{Ti})]$ dan $R_2 [\text{Al} + 2\text{Mg} + 6\text{Ca}]$. Teknik ini menggambarkan kepelbagaian ketepuan silika, perubahan nisbah $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$ dan perubahan komposisi plagioklas semasa pembezaan batuan.

Pengelasan ini amat sesuai untuk pengelasan batuan bes, tetapi kurang sesuai untuk pengelasan granit. Ini disebabkan K-feldspar dan albit diplotkan di dalam titik yang sama. Ini menyebabkan pengelasan ini tidak dapat digunakan bagi mengelas

batuan yang pelbagai nisbah K/Na yang mana plotan akan tertumpu kepada bahagian tertentu di dalam diagram (Batchelor dan Bowden, 1985; Frost et al., 2001).

c) Penamaan batuan menggunakan kation P-Q mengikut Debon dan Le Fort (1983)

Pengelasan ini menggunakan parameter Q dan P bagi mewakili kation unsur-unsur major batuan. Parameter Q ialah $(Si/3) - [(K+Na+2Ca)/3]$ dan P ialah $K - (Na + Ca)$ diplotkan bagi mendapatkan penamaan batuan. Pengelasan ini membahagikan batuan pluton kepada 12 jenis batuan daripada granit yang tinggi nilai P dan Q sehingga gabro yang rendah nilai P dan Q. Ia adalah konsisten dan selaras dengan penamaan mengikut Streckeisen (1976).

6.2.2 Huraian Ringkasan Beberapa Pengelasan Siri Magma

Pengelasan siri magma telah banyak dilakukan oleh pengkaji terdahulu dengan menggunakan geokimia batuan. Secara umum, pengelasan ini membezakan siri batuan yang mengalami pengayaan besi atau Fe semasa pembezaan batuan dan SiO_2 rendah, dengan siri batuan yang mengalami pengayaan SiO_2 dengan sedikit pengayaan FeO secara relatif berbanding MgO (Nockolds dan Allen, 1956). Ia asalnya dikenali sebagai siri “Skaergaard” dan “Cascade”, tetapi sekarang lebih dirujuk sebagai “tholeitik” dan “kalk-alkali”.

Terdapat juga pengelasan siri magma menggunakan pemalar alkali K_2O , Na_2O , CaO dan indeks alumina seperti Peacock (1931), Middlemost (1975), Peccerillo dan Taylor (1976). Peacock (1931) mengelaskan siri magma kepada empat, iaitu alkali, alkali-kalsik, kalsik-alkali dan kalsik. Middlemost (1975) pula mengelaskan siri magma

kepada magma alkali dan sub-alkali. Magma alkali boleh dibahagikan kepada siri magma alkali kaya-K, siri magma alkali jenis-K dan siri magma alkali kaya Na. Magma sub-alkali boleh dibahagikan pula kepada siri kalk-alkali kaya alumina dan siri tholeitik rendah K.

Siri kalk-alkali dan Siri tholeitik ini boleh dibezakan dengan plotan AFM mengikut Irvine dan Baragar (1971). Perbezaan jelas antara siri magma ini ialah kandungan Al_2O_3 ; di mana siri kalk-alkali dan andesit mengandungi Al_2O_3 antara 16 -20 wt%, sementara itu siri tholeitik pula antara 12 – 16 wt Al_2O_3 . Siri kalk-alkali boleh dibahagikan pula kepada siri kalk-alkali K-rendah, K-sederhana dan K-tinggi berdasarkan plotan K_2O terhadap SiO_2 mengikut Peccerillo dan Taylor (1976). Magma alkali mengikut Middlemost (1975) dinamakan sebagai siri shonsonit mengikut Irvine dan Baragar (1971). Namun begitu, terdapat persoalan bagi membezakan siri kalk-alkali dan tholeitic dengan menggunakan pengelasan AFM yang dikatakan tidak mencerminkan kewujudan sifat alkali dan sifat kapur batuan (Arculus, 2003). Siri batuan yang dikelaskan sebagai kalk-alkali oleh pengelasan TAS mengikut Le Bas et al. (1986), Al_2O_3 melawan normatif plagioklas oleh Irvine dan Baragar (1971) dikatakan boleh berubah kepada siri batuan yang lain apabila menggunakan pengelasan yang lain. Oleh itu, Arculus (2003) mencadangkan penggunaan Fe^*/MgO melawan SiO_2 bagi mengelaskan siri batuan kepada siri tholeitik dan kalk-alkali, atau boleh dikelaskan kepada Fe-tinggi, Fe-sederhana dan Fe-rendah.

Dalam subtopik ini, penulis menghuraikan secara ringkas pengelasan yang telah dilakukan oleh pengkaji terdahulu. Pengelasan ini digunakan dalam mengelaskan siri batuan bagi Kompleks Stong, Kompleks Benom dan pluton-pluton yang lain di dalam Jalur Tengah Semenanjung Malaysia.

a) Pengelasan berdasarkan sifat alumina oleh Shand (1943)

Pengelasan sifat alumina oleh Shand (1943) menggunakan konsep ketepuan alumina dengan nisbah A/CNK (molar $\{Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)\}$) atau disebut ASI (Aluminium saturation index). Ia menyatakan bahawa dengan kehadiran kuarza dan plagioklas dan K-feldspar sahaja dalam batuan memberikan nisbah ASI = 1. Oleh itu, nilai nisbah ASI boleh menggambarkan kehadiran mineral tertentu di dalam batuan, contohnya nilai ASI kurang daripada 1 menggambarkan kehadiran mineral hornblend, piroksen dan biotit, dan nilai ASI melebihi 1 menggambarkan kehadiran garnet, andalusit dan almandine (Rajah 6.1(a)).

Pengiraan ASI telah mengelaskan batuan kepada Peralumina (ASI > 1.0) dan Metalumina (ASI < 1.0). Dengan mengira nisbah A/NK pula, pengelasan batuan boleh membezakan antara Metalumina (A/NK > 1.0) dan Peralkalin (A/NK < 1.0) (Rajah 6.1(b)).

b) Pengelasan Indeks Alkali Kapur Peacock (1931)

Selain pengelasan sifat alumina oleh Shand (1943), pengelasan berdasarkan indeks alkali kapur oleh Peacock (1931) juga adalah pengelasan granit yang terawal dan lazim digunakan oleh pengkaji terkini seperti Maniar dan Piccoli (1989) dan Frost et al., (2001). Pengelasan ini mengaitkan kehadiran mineral feldspar di dalam batuan dengan punca magma. Ia berdasarkan peratusan (wt%) SiO_2 yang didapati apabila nisbah peratusan (wt%) Na_2O+K_2O/CaO adalah satu. Sekiranya peratusan (wt%) $SiO_2 < 51$, ia dikelaskan sebagai alkali, SiO_2 antara 51 – 56 dikelaskan sebagai alkali-kalsik, SiO_2 antara 56 – 61 dikelaskan kalk-alkali dan $SiO_2 > 61$ pula dikelaskan sebagai kalsik.

Pengelasan ini agak sukar digunakan bagi nilai SiO_2 yang berjulat besar dan memerlukan jumlah sampel yang banyak (Frost et al, 2001). Oleh itu, Frost et al (2001) mencadangkan pengubahsuaian terhadap pengelasan ini untuk julat SiO_2 yang besar dengan mengurangkan tiga faktor yang digunakan oleh Peacock (1931), iaitu SiO_2 , CaO dan $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ kepada dua faktor sahaja, iaitu SiO_2 dan $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$ (Rajah 6.2). Ia dikenali sebagai pengubahsuaian Indeks Alkali Kapur atau “Modified alkali-lime index” (MALI).

c) Pengelasan siri batuan mengikut Kuno (1968) dan Irvine dan Baragar (1971)

Pengelasan segitiga AFM mengikut Peccerillo dan Taylor (1976) mengambil kira tiga unsur, iaitu unsur A diwakili jumlah alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$), F ($\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$) dan M (MgO). Pengelasan segitiga AFM ini membahagikan magma kepada siri tholeitik dan siri kalk-alkali. Siri magma tholeitik menghampiri puncak F, menunjukkan tren kuat pengayaan besi atau Fe di peringkat awal pembezaan batuan, sementara siri magma kalk-alkali di bahagian menghampiri A dan M, iaitu melintasi tengah diagram akibat kurang kandungan Fe. Kuno (1968) menunjukkan bahawa lava siri tholeitik mengandungi segragasi cecair baki kaya Fe, sedangkan lava siri kalk-alkali mengandungi segragasi cecair baki kaya silika dengan tiada pengayaan Fe.

d) Pengelasan siri batuan mengikut Peccerillo dan Taylor (1976)

Peccerillo dan Taylor (1976) menggunakan nilai K_2O untuk membahagikan siri magma kalk-alkali kepada empat siri, iaitu siri shoshonit, siri kalk-alkali kaya-K, siri kalk-alkali dan siri tholeitik (Rajah 6.3). Pengelasan ini menganggap nilai K secara keseluruhan adalah berasal daripada magma. Ia adalah benar sekiranya tidak berlaku pengayaan K

semasa proses evolusi batuan seperti pencemaran batuan keliling atau pengelompokkan segresai K-feldspar semasa pembezaan batuan.

e) Pengelasan siri batuan mengikut Lameyre (1980)

Pengelasan segitiga QAP oleh Streckeisen (1976) digunakan juga untuk mengelaskan siri magma oleh Lameyre (1980) kepada magma Siri tholeitik, kalk-alkali, alkali dan kalk-alkali kaya K atau shoshonit (Rajah 6.4(a)). Ia melihat perubahan atau tren jujukan batuan yang berlaku di dalam satu siri batuan daripada bes hingga asid. Siri tholeitik dikatakan melalui tren daripada gabro atau diorit kepada tonalit secara menegak di dalam diagram dan berubah secara mendatar daripada tonalit kepada granodiorit, granit dan granit feldspar alkali. Ia berlawanan dengan siri alkali yang melalui tren yang mendatar daripada gabro atau diorit kepada monzogabro atau monzodiorit kepada monzonit, sienit dan sienit kuarza dan seterusnya kepada granit feldspar alkali. Sementara itu, siri kalk-alkali, siri kalk-alkali kaya-K, monzonitik dan transalkali mempunyai tren antara kedua-dua siri thoeilitik dan siri alkali. Lameyre et al. (1982) juga mengaitkan pengelasan IUGS ini dengan jenis permineralan (Rajah 6.4(b)).

f) Pengelasan sifat alumina A-B mengikut Debon dan Le Fort (1983).

Pengelasan mengikut Debon dan Le Fort (1983) menggunakan pemalar kation A dan B bagi mengelaskan batuan berdasarkan komposisi mineral seperti muskovit, biotit, hornblend, piroksen dan olivin. Pemalar A ialah $Al - (K+Na+2Ca)$ dan B ialah $Fe+Mg+Ti$. Ia mengelaskan siri batuan kepada enam kategori yang mana kategori I, II dan III dikelaskan sebagai batuan peralumina, dan kategori IV, V dan VI adalah batuan metalumina. Setiap kategori dikaitkan dengan kehadiran mineral tertentu, contohnya

kategori I mempunyai muskovit yang lebih banyak berbanding biotit dan kategori II dan III lebih banyak biotit, sementara itu, kategori IV mengandungi mineral biotit, hornblend, kemungkinan piroksen dan olivin. Batuan yang mempunyai nilai pemalar B yang rendah daripada 40 dikelaskan sebagai leukogranit (Rajah 6.5).

g) Pengelasan abjad

Pengelasan ini pertama kali dicadangkan oleh Chappel dan White (1974). Mereka mengenalpasti dua jenis granit yang berbeza terdapat di Permatang Lipatan Lanchlan “Lanchlan Fold Belt” di timur Australia yang dikelaskan sebagai jenis-I dan jenis-S. Granit jenis-I adalah metalumina hingga sedikit Peralumina, relatif lebih soda dan dikaitkan dengan tonalit hornblend-biotit dengan SiO_2 antara 56 – 77 wt%. Ia dikatakan dibentuk oleh sumber metagneous atau mantel. Sementara itu, granit jenis-S dikatakan terbentuk daripada sumber berasal daripada sedimen. Ia bersifat lebih potassium disebabkan dibentuk oleh batuan yang telah mengalami luluhawa yang terubah nisbah alkali, iaitu antara Ca dan Al, dan juga Fe^{2+} dan Fe^{3+} . Ia adalah jenis Peralumina yang kuat dan mengandungi SiO_2 yang lebih tinggi, iaitu antara 64 – 77 wt% (Chappel dan White, 1974; Pitcher, 1983; Frost et al., 2001) (Rajah 6.6).

Pengelasan ini dikembangkan lagi oleh Loisella dan Wones (1979) yang memperkenalkan granit jenis-A. Granit ini dibezakan dengan jenis-I kerana didapati bersifat relatif kaya potassium, nisbah $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ yang tinggi, tinggi Zr dan unsur HFSE. Eby (1990) mengatakan granit jenis-A dicirikan oleh komposisi sienit kuarza hingga granit peralkali dan berasosiasi dengan vulkanik. Ia jarang mengalami canggaan dan dikatakan terbentuk di sekitaran anorogeni. Ia dikenali sebagai granit alkali anorogeni (Pitcher, 1983; Frost, et al., 2001). Namun begitu, sesetengah pengkaji

mendapati granit ini boleh juga terbentuk akibat ektensi kerak (Whalen et al., 1987; Eby, 1990; Frost dan Frost, 1997).

White (1979) mencadangkan pengelasan granit kepada jenis-M. Granit ini dikatakan berasal daripada peleburan semula kerak lautan atau lapisan mantel, terutamanya terbentuk di sekitaran arka kepulauan “island arc setting” (White dan Chappel, 1983). Selain itu, Kilpatrick dan Ellis (1992) mencadangkan pengelasan granit jenis-C yang ditafsirkan sebagai granit charnokit “charnockitic” atau granit hipersten. Granit ini mengandungi ortopiroksen, pigeonit atau fayalit yang menunjukkan kehadiran komposisi cecair semasa pengabluran magma dan secara relatif ia kaya dengan besi (Fe). Namun begitu, biotit adalah lebih stabil berbanding olivin atau piroksin, dan ia kaya dengan Mg. Oleh itu, kumpulan mineral “anhydrous” diperlukan bagi membentuk granit jenis-C yang kaya Fe (Frost et al., 2000). Frost et al. (2000) juga menyatakan bahawa granit charnotik bukan hanya dibentuk oleh magma komposisi kaya Fe, tetapi boleh juga dijumpai di dalam granit jenis magnesian. Jadual 6.1 menunjukkan ringkasan pengelasan granit jenis-S, jenis-I, jenis-M dan jenis-A mengikut Pitcher (1983).

Salah satu kelemahan pengelasan abjad ini ialah mereka menganggap setiap jasad granit berasal daripada satu punca magma sahaja, dan punca magma ini boleh dikenal berdasarkan geokimia batuan (Frost et al., 2001). Hakikatnya adalah satu jasad granit jarang dibentuk oleh satu punca magma, tetapi dibentuk oleh campuran leburan mafik daripada mantel dan leburan daripada kerak batuan yang boleh atau tidak boleh mengandungi komponen metasedimen (John dan Wooden, 1990; Miller et al., 1981). Ia telah dibuktikan oleh kajian terhadap granit jenis-I dan jenis-S di Permatang Lipatan Lanchlan “Lanchlan Fold Belt” oleh Collin (1996). Batuan granit juga mengablur di

dalam julat komposisi yang luas dan bertindih antara jenis-I dan jenis-S (Hyndman, 1984; Ague dan Brimhall, 1988).

h) Pengelasan siri batuan berdasarkan nombor Fe atau Fe* mengikut Frost et al. (2001)

Nombor Fe* yang diutarakan oleh Frost et al. (2001) adalah merujuk kepada nisbah $\text{FeO}^{\text{tot}}/(\text{FeO}^{\text{tot}}+\text{MgO})$. Ia adalah pengubahsuaian daripada Miyashiro (1970) yang menggunakan $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ melawan SiO_2 . Nilai FeO^{tot} digunakan kerana kebanyakan alat tidak membezakan Fe^{2+} dan Fe^{3+} semasa analisis (Frost et al., 2001).

Pengelasan ini membahagikan pluton kepada jenis ferroan dan magnesian. Pluton jenis ferroan adalah tinggi nombor Fe* melebihi 0.7 pada nilai SiO_2 adalah 50 wt%. Garisan pemisah antara kedua pluton ini diformulakan dengan $\text{Fe}^* = 0.486 + 0.0046 \times \text{wt\% SiO}_2$.

6.2.3 Huraian Beberapa Pengelasan Sekitaran Tektonik

Pengelasan sekitar pembentuk batuan adalah lanjutan daripada pengelasan siri batuan oleh pengkaji terdahulu, contohnya pengelasan Indek Alkali Kapur Peacock (1931) dan Shand (1943) telah dikaitkan bahawa siri batuan peralumina adalah hasil peleburan metasedimen, terutamanya semasa perlanggaran kerak, siri kalk-alkali dicadangkan sebagai hasil aktiviti arka vulkanik, dan siri alkali dan peralkali dikaitkan dengan aktiviti dalam kerak atau “within plate setting” (Pearce et al, 1984). Begitu juga dengan pengelasan granit jenis-S dan jenis-I (Chappel dan White, 1974; White dan Chappel, 1977) dikembangkan sebagai petunjuk di mana jenis-S dianggap hasil

perlanggaran kerak dan jenis-I sebagai hasilan cordilleran dan terbentuk pada regim pengangkatan selepas perlanggaran (Beckinsale, 1979; Pitcher, 1983). Granit jenis-A (Collins et al., 1982) dan jenis-M (White, 1979) ditafsirkan masing-masing sebagai granit anorogenik dan arka lautan.

Terdapat banyak pengelasan sekitaran pembentukkan batuan dilakukan berdasarkan batuan granit oleh pengkaji terdahulu (contohnya Floyd dan Winchester, 1975; Petro et al., 1979; Chappel dan White, 1974; Collins et al., 1982; Whalen et al., 1987; Pitcher, 1983) dan ringkasannya dihuraikan oleh Barbarin (1990, 1999) seperti yang ditunjukkan oleh Jadual 6.2. Kebanyakan pengelasan yang dicadangkan adalah merujuk kepada asalan dan petrogenesis granit, namun begitu istilah dan kriteria yang digunakan berbeza daripada satu pengkaji kepada pengkaji yang lain (cth, Bowden et al., 1984; Barbarin, 1990; Frost et al., 2001). Oleh itu, penulis hanya menghuraikan beberapa pengelasan granit bagi menentukan sekitaran pembentukkan yang akan digunakan di dalam kajian ini sahaja, iaitu pengelasan mengikut Pearce et al., (1984), Maniar dan Piccoli (1989), Batchelor dan Bowden (1985), Barbarin (1999) dan Frost et al., (2001).

a) Pengelasan mengikut Pearce et al. (1984)

Pearce et al., (1984) menggunakan unsur-unsur surih, iaitu plotan Rb-(Y+Nb), Nb-Y, Rb-(Ta+Yb) dan Ta-Yb bagi membina diagram pengelasan batuan granit (Rajah 6.7). Ia membahagikan sekitaran granit berdasarkan ragam intrusif kepada empat kumpulan, iaitu (1) Granit Permatang Lautan atau Ocean Ridge Granite “ORG”, (2) Granit Arka Volcanik atau Volcanic Arc Granite “VAG”, (3) Granit Dalam Kepingan atau Within Plate Granite “WPG”, dan (4) Granit Pelanggaran atau Collision Granite “COLG”.

Setiap kumpulan boleh dibahagikan kepada beberapa sub-kumpulan berdasarkan kedudukan tektonik dan petrogenesisnya.

Namun begitu, pengelasan ini tidak dapat mengelaskan sekitaran pembentukan granit selepas pelanggaran “post-collision granit” dan sekitaran plagiogranit. Ini kerana pembentukan granit selepas pelanggaran tidak boleh diterangkan berdasarkan satu asalan. Ia boleh terhasil daripada peleburan kerak bawah akibat pelepasan suhu diikuti oleh pelanggaran, dan juga boleh terhasil daripada peleburan mantel atas akibat pelepasan tekanan (ekstensi) selepas pelanggaran (Pearce et al. 1984). Granit plagiogranit pula dikatakan tidak dapat dikelaskan sekitarannya berdasarkan geokimia sahaja kerana mempunyai geokimia yang berbeza dengan granit siri tholeitik Arka Kepulauan yang sepatutnya sama atau hampir sama. Ia sepatutnya sama kerana kedua-dua granit adalah asalan magma daripada mantel.

b) Pengelasan mengikut Maniar dan Piccoli (1989)

Maniar dan Piccoli (1989) mengelaskan granit berdasarkan sekitaran tektonik kepada tujuh sekitaran, iaitu (1) Granit Arka Kepulauan “IAG”, (2) Granit Arka Kebenuaan “CAG”, (3) Granit Pelanggaran Benua “CCG”, (4) Granit Selepas Orogeni “POG”, (5) Granit Berkaitan Regangan “RRG”, (6) Granit Pengangkatan Epeirogenik Kebenuaan “CEUG” dan (7) Plagiogranit Lautan “OP”. Granit jenis IAG, CAG, CCG dan POG dikelaskan sebagai granit orogenik, sementara itu granit jenis RRG, CEUG dan OP adalah granit anorogenik. Pengelasan adalah menggunakan unsur-unsur major sahaja.

Granit OP dibezakan daripada granit sekitaran yang lain berdasarkan plotan K_2O melawan SiO_2 (Rajah 6.8 (a)). Pengelasan granit kepada kumpulan I (IAG + CAG +

CCG), kumpulan II (RRG + CEUG) dan kumpulan III (POG) boleh dibuat dengan memplotkan Al_2O_3 melawan SiO_2 (Rajah 6.8 (b)), nisbah $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ melawan SiO_2 (Rajah 6.8 (c)), FeO_t melawan MgO (Rajah 6.8 (d)) dan $\text{FeO}_t + \text{MgO}$ melawan CaO (Rajah 6.8 (e)). Granit CCG pula boleh dibezakan daripada granit sekitaran yang lain berdasarkan nilai A/CNK yang lebih tinggi daripada 1.15 (Rajah 6.8 (f)).

Namun begitu, pengelasan ini dibuat menggunakan sampel granit yang mengandungi kuarza lebih daripada 2 % secara modal dan melebihi 60 wt% daripada analisis geokimia.

c) Pengelasan mengikut Batchelor dan Bowden (1985)

Pengelasan ini menggunakan pemalar R1 dan R2 sebagai vektor graf. Nilai R1 adalah $6\text{Ca}+2\text{Mg}+\text{Al}$ dan R2 adalah $4\text{Si} - 11(\text{Na}+\text{K}) - 2(\text{Fe}+\text{Ti})$. Batchelor dan Bowden (1985) mengelaskan sekitaran tektonik berdasarkan granit kepada tujuh, iaitu (1) Granit hasil Pengfraksian Mantel “Mantle Fractionates Granite”, (2) Granit sebelum Pelanggaran Kepingan “Pre-plate Collision Granite”, (3) Granit selepas Pelanggaran “Post Collision Granite”, (4) Granit Akhir Pengangkatan Orogenik “Late-Uplift Orogenic Granite”, (5) Granit Anorogenik “Anorogenic Granite”, (6) Granit semasa Pelanggaran “Syn-collision Granite” dan (7) Granit selepas Orogenik “Post-orogenic Granite” (Rajah 6.9).

6.2.4 Pengelasan Secara Gabungan (Sintetik)

a) Pengelasan mengikut Barbarin (1999).

Pendekatan terbaru di dalam pengelasan granit adalah dengan menggabungkan dan melihat kaitan antara data lapangan, petrografi, mineral dan geokimia bagi menentukan jenis granit, asalan, siri magma dan sekitaran tektonik. Kaedah ini dilakukan oleh Barbarin (1990, 1999) dengan mengemukakan cadangan pengelasan dikenali pengelasan sintetik (Barbarin, 1990). Pengelasan sintetik ini membahagikan tiga kumpulan granit yang dikaitkan dengan asalan kerak, mantel dan campuran antara kerak dan mantel. Granit asalan kerak dibahagikan kepada jenis C_{ST} , C_{CA} , C_{CI} dan granit asalan mantel dibahagikan kepada jenis T dan A, sementara itu granit campuran dibahagikan kepada jenis H_{LO} dan H_{CA} (Jadual 6.3).

Namun begitu, pengelasan ini tidak digunakan secara meluas oleh pengkaji selepasnya disebabkan kriteria yang kompleks, ketiadaan ciri jelas membezakan antara jenis granit dan kaitan antara jenis granit dan geodinamik sekitaran yang tidak jelas (Barbarin, 1999). Oleh itu, Barbarin (1999) mengemukakan pengelasan yang lebih sistematik dengan mencadangkan turutan pengelasan daripada aspek mineralogi atau himpunan mineral (Jadual 6.4) diikuti oleh petrografi dan penamaan batuan, hubungan dengan batuan keliling, kandungan “enclave” dan proses pembezaan batuan yang berlaku (Jadual 6.5) dan kimia batuan serta isotop (Jadual 6.6). Pengelasan ini membahagikan granit kepada tujuh jenis, iaitu (1) MPG “Muscovite-bearing Peraluminous Granitoid”, (2) CPG “Cordierite-bearing Peraluminous Granitoid”, (3) KCG “K-rich Calc-alkaline Granitoid”, (4) ACG “Amphibole-bearing Calc-alkaline

Granitoids”, (5) ATG “Arc Tholeiitic Granitoids”, (6) RTG “Mid-ocean Ridge Tholeiitic Granitoids” dan (7) PAG “Peralkaline and Alkaline Granitoids” (Jadual 6.7).

MPG dan CPG adalah granit peralumina yang terbentuk semasa penebalan kerak benua hasil penumpuan antara dua kerak litosfera. CPG tertabur di permatang pergunungan sementara itu MPG berlaku di sepanjang potongan sesar dan zon ricihan yang memotong kerak (Barbarin, 1996). KCG dan ACG adalah hasil campuran bahan kerak dan mantel. KCG terhasil daripada pelbagai sekitaran geodinamik, iaitu boleh terbentuk selepas perlanggaran kerak yang mewujudkan keadaan tenang atau keadaan perantaraan daripada regim mampatan hingga regim ricihan (Lameyre, 1988; Bonin, 1990). KCG banyak didapati di sepanjang jalur orogeni yang berkaitan dengan perlanggaran kerak terutamanya selepas perlanggaran berakhir. Ia juga didapati berasosiasi dengan PAG dan ACG (Barbarin, 1999). ACG dan ATG terbentuk di atas zon subduksi. ATG dikaitkan dengan kelimpahan andesit di dalam arka vulkanik. Di dalam jalur subduksi yang aktif, ATG adalah jarang dijumpai dan ACG membentuk batolith yang selari dengan jalur. Kebanyakan zon subduksi yang matang adalah dikaitkan dengan kelimpahan ACG (Barbarin, 1999). RTG pula dikaitkan dengan pemuaiian dasar lautan, sementara itu PAG yang terdiri daripada alkali dan peralkali granit dan sienit. Ia selalu dikaitkan dengan proses “doming” dan zon pereganggan “rifting zon”.

Barbarin (1999) juga membuat perbandingan pengelasan granit yang diutarakan oleh beliau dengan pengelasan-pengelasan yang dilakukan oleh pengkaji terdahulu (Jadual 6.3). Ia menunjukkan persamaan dengan pengelasan abjad, iaitu S, I, M dan A mengikut Chappel dan White (1974, 1983), Collins et al. (1982) dan Whalen et al. (1987), dan pengelasan Maniar dan Piccoli (1989). Namun begitu, Barbarin (1999)

menegaskan bahawa kedua-dua pengelasan ini adalah berdasarkan geokimia semata-mata dan beliau berpendapat bahawa geokimia perlu digunakan secara berhati-hati kerana nilai geokimia boleh berubah contohnya granit yang berkomposisi campuran atau asalan mantel boleh berubah kepada komposisi peralumina selepas pengfraksian amfibol secara kuat, interaksi cecair atau asimilasi batuan pelit (contohnya, Clark, 1992).

b) Pengelasan mengikut Frost et al. (2001).

Pengelasan ini menggunakan tiga langkah atau pencirian bagi membahagikan jenis-jenis granit, iaitu dengan membahagikan granit berdasarkan nombor fe atau Fe^* sebagai pengelasan utama. Ia membahagikan granit kepada jenis magnesian dan jenis ferroan. Setiap jenis granit ini dibahagikan pula berdasarkan indeks alkali kapur yang diubahsuai "MALI" kepada empat jenis, iaitu kalsik, kalk-alkali, alkali-kalsik dan alkali. Bagi setiap jenis pengelasan ini, Frost et al. (2001) membahagikan pula masing-masing kepada dua berdasarkan A/CNK kepada jenis metalumina dan peralumina. Ini menjadikan keseluruhan pengelasan membahagikan granit kepada 16 jenis granit.

6.3 Pengelasan Kompleks Igneus Stong

6.3.1 Penamaan Batuan Secara Geokimia

a) Penamaan batuan mengikut Cox et al. (1979)

Penamaan batuan berdasarkan jumlah alkali silika atau TAS mengikut Cox et al. (1979) menunjukkan Pluton Berangkat mempunyai julat batuan yang besar, iaitu daripada

monzonit kepada sienit dan diorit kuarza hingga kepada granit. Keseluruhan sampel batuan bagi Pluton Noring dan Pluton Kenerong dikelaskan kepada granit (Rajah 6.10).

b) Penamaan batuan mengikut De la Roche et al. (1980)

Pengelasan ini menunjukkan Pluton Berangkat terdiri daripada granodiorit, tonalit, monzonit kuarza, monzodiorit dan monzonit. Kebanyakan sampel Pluton Noring pula terdiri daripada granodiorit dan granit, sementara satu sampel dikelaskan sebagai monzonit kuarza dan tonalit. Pluton Kenerong terdiri daripada granit dan granodiorit, tetapi satu sampel terkelas sebagai granit alkali (Rajah 6.11).

c) Penamaan batuan menggunakan kation P-Q Debon dan Le Fort (1983)

Berdasarkan pengelasan batuan menggunakan kation P dan Q mengikut Debon dan Le Fort (1983), penulis mendapati Pluton Berangkat terkelas sebagai granit (gr), sienit (Sq), adamalit (ad) dan monzonit (mzq). Pluton Noring pula terkelas dominan sebagai adamalit, diikuti granit, granodiorit dan sienit. Pluton Kenerong dikelaskan sebagai adamalit, granodiorit dan granit (Rajah 6.12).

6.3.2 Pengelasan Siri Batuan

a) Pengelasan berdasarkan sifat alumina oleh Shand (1943)

Penulis mendapati Pluton Berangkat secara keseluruhan dikelaskan sebagai siri batuan metalumina. Pluton Noring mempunyai julat batuan daripada siri metalumina hingga peralumina, yang mana siri metalumina diwakili oleh unit batuan Granit Sg. Long yang

mengandung hornblend dan siri peralumina diwakili oleh Granit Sg. Suda yang dominan dengan biotit tanpa kehadiran hornblend. Sementara itu, Pluton Kenerong pula terkelas sebagai batuan siri peralumina (Rajah 6.13).

b) Pengelasan Indeks Alkali Kapur Peacock (1931)

Plotan pengelasan Indeks Alkali Peacock (1931) menunjukkan Pluton Berangkat, $\text{SiO}_2 = 51.2$ dan Pluton Noring, $\text{SiO}_2 = 54.2$, yang mana kedua-dua pluton ini boleh dikelaskan sebagai siri alkali-kalsik, manakla Pluton Kenerong, mempunyai nilai $\text{SiO}_2 = 60.5$ dan dikelaskan sebagai siri kalk-alkali (Rajah 6.14 (a)).

Dengan menggunakan pengelasan MALI “modified alkali-lime index” mengikut Frost et al. (2001) pula, penulis mendapati pengelasan agak berbeza berbanding pengelasan Peacock (1931), iaitu Pluton Berangkat dikelaskan sebagai siri alkali-kalsik hingga alkali, Pluton Noring pula dikelaskan sebagai siri alkali-kalsik hingga kalk-alkali, sementara itu Pluton Kenerong menunjukkan julat siri batuan daripada alkali-kalsik, kalk-alkali hingga kalsik (Rajah 6.14 (b)).

c) Pengelasan siri batuan mengikut Peccerillo dan Taylor (1976)

Pengelasan siri magma mengikut Peccerillo dan Taylor (1976) pula menunjukkan Pluton Berangkat dikelaskan sebagai siri shonsonit, Pluton Noring dikelaskan sebagai siri kalk-alkali kaya-K hingga siri shonsonit, dan Pluton Kenerong dikelaskan sebagai siri kalk-alkali hingga siri kalk-alkali kaya-K dan siri shonsonit (Rajah 6.15). Penulis mendapati julat yang besar kandungan K_2O di dalam sesetengah sampel Pluton

Kenerong adalah hasil assimilasi dengan batuan keliling. Ini menyebabkan pengelasan ini memberikan julat siri yang besar kepada Pluton Kenerong.

d) Pengelasan siri batuan mengikut Lameyre (1980)

Berdasarkan tren evolusi siri batuan mengikut Lameyre (1980) didapati evolusi batuan daripada Pluton Berangkat kepada Pluton Noring dan Pluton Kenerong boleh dikelaskan sebagai tren 5, yang mencerminkan siri batuan adalah siri batuan Kalk-alkali kaya-K, shonsonit, monzonitik atau transalkali (Rajah 6.16).

e) Pengelasan sifat alumina A-B mengikut Debon dan Le Fort (1983).

Pengelasan sifat alumina mengikut Debon dan Le Fort (1983) pula menunjukkan Pluton Berangkat dikelaskan sebagai kategori IV, iaitu mengandungi biotit, hornblend dengan atau tiada piroksen dan olivin. Ia merupakan unit batuan yang lebih bersifat bes berbanding pluton lain dengan nilai pemalar B mencapai 200. Pluton Noring pula dikelaskan kategori III yang kaya dengan biotit berbanding muskovit, sementara itu pula, Pluton Kenerong dikelaskan sebagai kategori II (kaya biotit) dan kategori I (kaya muskovit) dan terkelompok dalam leukogranit. Pluton Berangkat juga boleh dikelaskan sebagai batuan metalumina, tetapi Pluton Noring dikelaskan perantara metalumina dan peralumina, dan Pluton Kenerong terkelas sebagai batuan peralumina (Rajah 6.17).

f) Pengelasan abjad

Pluton Berangkat merupakan batuan yang lebih bersifat bes dan dikelaskan sebagai batuan metalumina. Ia terkelas sebagai granit jenis-I secara keseluruhan dengan nilai

A/CNK di bawah 1.0. Pluton Noring juga boleh dikelaskan sebagai granit jenis-I, tetapi mempunyai nilai A/CNK antara 1.0 hingga 1.1. Namun begitu berbeza dengan Pluton Berangkat adalah Pluton Noring terdiri daripada batuan metalumina dan peralumina. Pluton Kenerong dikelaskan secara keseluruhan sebagai batuan jenis peralumina, tetapi menunjukkan percampuran antara granit jenis-S yang dominan dengan granit jenis-I. Kesan teranjakan nilai A/CNK boleh berlaku apabila proses asimilasi batuan keliling menambahkan nilai Al_2O_3 pada batuan. Ia juga dipengaruhi oleh kehadiran garnet (Rajah 6.18).

g) Pengelasan siri batuan berdasarkan nombor Fe atau Fe^* mengikut Frost et al.(2001)

Penulis cuba menggunakan pengelasan yang diutarakan oleh Frost et al. (2001) berdasarkan nombor Fe. Pengelasan ini menunjukkan Pluton Berangkat dikelaskan eksklusif sebagai pluton magnesian. Namun begitu, Pluton Noring boleh dikelaskan sebagai pluton magnesian dengan sebahagian terkelas sebagai pluton ferroan (kebanyakkan adalah unit batuan Granit Sg. Suda yang tiada hornblend). Agak berbeza dengan Pluton Kenerong yang didapati dominan terkelas sebagai pluton ferroan dengan beberapa plotan sampel terkelas sebagai pluton magnesian (Rajah 6.19).

6.3.3 Pengelasan Sekitaran Tektonik

a) Pengelasan mengikut Pearce et al. (1984)

Plotan Rb melawan (Y+Nb) menunjukkan bahawa keseluruhan pluton di dalam Kompleks Stong terkelas sebagai granit semasa pelanggaran “syn-COLG”. Ini

menunjukkan bahawa Kompleks Stong terbentuk pada sekitaran yang berkaitan dengan orogenik, sama ada semasa atau selepas perlanggaran. Namun begitu, plotan Nb melawan Y menunjukkan Pluton Berangkat dan Pluton Kenerong boleh juga dikelaskan sebagai WPG hingga ORG, sementara itu Pluton Noring dikelaskan sebagai VAG+Syn-COLG (Rajah 6.20). Ketidakselarasan antara kedua-dua plotan ini bagi menentukan sekitaran pembentukan granit memerlukan penelitian terhadap proses yang boleh mempengaruhi unsur-unsur Rb, Y dan Nb.

b) Pengelasan mengikut Maniar dan Piccoli (1989)

Berdasarkan plotan graf pengelasan yang diutarakan oleh Maniar dan Piccoli (1989) didapati Kompleks Stong bukan merupakan Plagiogranit lautan (OP). Pluton Noring dan Pluton Kenerong dikelaskan sebagai kumpulan I, iaitu IAG+CAG+CCG berdasarkan plotan Al_2O_3 melawan SiO_2 . Plotan $FeO[t]/(FeO[t]+MgO)$ melawan SiO_2 pula menunjukkan ketiga-tiga pluton terkelas di dalam kumpulan I, dengan sebahagian Pluton Kenerong terkelas sebagai POG dan kumpulan II, iaitu RRG+CEUG. Plotan $FeO[t]$ melawan MgO pula menunjukkan dengan jelas bahawa ketiga-tiga pluton sebagai kumpulan I. Plotan $FeO[t]+MgO$ melawan CaO pula menunjukkan Pluton Berangkat dan Pluton Noring dikelaskan sebagai POG dan Pluton Berangkat kemungkina juga terkelas sebagai kumpulan I (Rajah 6.21).

Berdasarkan pengelasan ini, penulis menyimpulkan bahawa ketiga-tiga pluton dikelaskan terbentuk di dalam kumpulan I, iaitu sama ada di dalam sekitaran IAG, CAG dan CCG. Ia merupakan sekitaran orogenik.

c) Pengelasan mengikut Batchelor dan Bowden (1985)

Berdasarkan plotan R1-R2 mengikut Batchelor dan Bowden (1985), Pluton Kenerong boleh dikelaskan terbentuk di sekitaran semasa perlanggaran hingga selepas orogenik. Pluton Noring pula dikelaskan terbentuk pada sekitaran semasa pelanggaran hingga 'late-uplift orogenic'. Sementara itu, Pluton Berangkat pula agak sukar ditentukan sekitaran pembentukan batuan kerana plotan menunjukkan taburan yang rawak, dan berkemungkinan terbentuk di sekitaran selepas pelanggaran atau sekitaran pengangkatan di peringkat akhir orogenik (Rajah 6.22).

6.3.4 Pengelasan Secara Gabungan (Sintetik)

Berdasarkan pengelasan secara geokimia seperti yang dibincangkan sebelum ini, penulis mendapati pengelasan-pengelasan ini memberikan tafsiran yang agak berbeza-beza bergantung kepada parameter yang digunakan terutamanya bagi penentuan penamaan batuan. Oleh itu, penulis percaya bahawa pengelasan secara kolektif dengan mengambilkira aspek-aspek seperti mineralogi, kaitan antara batuan dan geokimia seperti yang diutarakan oleh Barbarin (1999) adalah lebih baik dan boleh mewakili sekitaran sebenar bagi pembentukkan batuan.

a) Pengelasan mengikut Barbarin (1999).

Pengelasan oleh Barbarin didasarkan kepada aspek mineralogi, kaitan antara batuan dan geokimia seperti yang ditunjukkan di dalam Jadual 6.4 (a), (b), (c) dan (d). Berdasarkan faktor-faktor ini, penulis mendapati Pluton Berangkat boleh dikelaskan sebagai granit KCG, sementara itu Pluton Noring boleh terkelas kepada KCG bagi unit Granit Sg.

Long yang mengandungi hornblend dan CPG bagi unit Granit Sg. Suda. Pluton Kenerong pula boleh dikelaskan sebagai CPG.

b) Pengelasan mengikut Frost et al. (2001)

Pengelasan mengikut Frost et al. (2001) meletakkan Pluton Berangkat sebagai granit jenis magnesian (Rajah 6.19) dengan ciri batuan alkali hingga alkali-kalsik (Rajah 6.14) dan bersifat metalumina. Ini menunjukkan Pluton Berangkat dikaitkan dengan penebalan kerak seperti dialami oleh batolith Cordilleran. Satu sampel pluton adalah Ben Nevis (Haslam, 1968). Pluton Noring boleh dibahagikan kepada jenis pluton magnesian bagi Granit Sg. Long dan pluton ferroan bagi Granit Sg. Suda dan Mikrogranit Sg. Terang. Masing-masing dikelaskan pula sebagai alkali-kalsik (Pluton magnesian-Granit Sg. Long) dan kalk-alkali (Pluton ferroan-Granit Sg. Suda dan Mikrogranit Sg. Terang). Pengelasan berdasarkan sifat batuan menunjukkan bahawa Granit Sg. Long dikelaskan sebagai pluton magnesian-alkali kalsik-metalumina, sementara itu Granit Sg. Suda (Pluton ferroan, kalk-alkali, dan peralumina). Oleh itu, Granit Sg. Long dikelaskan dalam kumpulan sama dengan Pluton Berangkat, tetapi Granit Sg. Suda dikatakan terkelas sebagai granit dua mika dan berlaku di dalam granit jenis-A seperti sesetengah batolith Lachlan (King et al., 1997). Pluton Kenerong pula adalah jenis pluton ferroan, kalk-alkali dan dikelaskan sebagai peralumina. Ia dikategorikan sebagai granit dua mika seperti Granit Sg. Suda.

Walaupun pengelasan ini boleh membezakan jenis-jenis pluton, namun penulis mendapati huraian bagi menjelaskan setiap pembahagian pluton adalah masih kabur dan longgar. Oleh itu, penggunaan pengelasan ini tidak menyakinkan penulis dan agak mengelirukan.

6.4 Pengelasan Kompleks Igneus Benom

6.4.1 Penamaan Batuan Secara Geokimia

a) Penamaan batuan mengikut Cox et al. (1979)

Penamaan batuan secara geokimia mengikut Cox et al. (1979) menunjukkan batuan alkali Kompleks Benom adalah terdiri daripada batuan bes hingga pertengahan. Ia terdiri daripada gabro, gabro diorit, sieno-diorit, sienit, diorit dan monzodiorit “monzonit”. Penamaan ini menunjukkan keselarasan dengan penamaan secara mod mineral keratan nipis batuan terutamanya bagi gabro, diorit dan sienit (Rajah 6.23). Bagi batuan kalk-alkali Kompleks Benom, kesemua batuan dikelaskan sebagai granit selaras dengan penamaan secara mod mineral keratan nipis batuan.

b) Pengelasan batuan mengikut Middlemost (1985, 1992)

Pengelasan batuan mengikut Middlemost (1985) menunjukkan batuan siri alkali boleh dikelaskan kepada sienit, monzonit kuarza, monzonit, monzo-diorit, monzo-gabro, gabro, gabrodiorit, diorit dan granodiorit. Keseluruhan batuan siri kalk-alkali dikelaskan sebagai granit (Rajah 6.24).

c) Pengelasan batuan kation P-Q mengikut Debon dan Le Fort (1983)

Pengelasan batuan mengikut Debon dan Le Fort (1983) menggunakan pemalar P-Q juga memberikan penamaan yang hampir sama dengan penamaan di dalam keratan nipis

batuan, terutama sienit, sienit kuarza dan monzonit, monzonit kuarza. Keseluruhan batuan siri kalk-alkali terkelas sebagai granit dan adamalit (Rajah 6.25).

d) Pengelasan batuan mengikut De la Roche et al. (1980)

Penulis mendapati pengelasan ini lebih menepati pengelasan di lapangan di mana piroksenit dikelaskan sebagai (1) batuan ultramafik, gabro terkelas sebagai (4) gabro, (3) gabro alkali, (5) sieno-gabro dan (7) gabro diorit, diorit-diorit kuarza pula didapati terkelas sebagai (5) sieno-gabro, (6) monzogabro, (7) gabro diorit, (10) monzo-diorit, dan (11) diorit, dan sienit augit- sienit kuarza terkelas sebagai (7) gabro diorit, (8) sieno diorit, (9) monzonit dan (10) monzo-diorit, sementara itu monzonit dikelaskan sebagai (6), (7), (8) dan (14) tonalit. Kesemua batuan siri kalk-alkali terkelas sebagai granit (Rajah 6.26).

6.4.2 Pengelasan siri batuan/magma

a) Pengelasan berdasarkan sifat alumina oleh Shand (1943)

Hampir kesemua batuan siri alkali Kompleks Benom, iaitu piroksenit, gabro, diorit, sienit dan monzonit dikelaskan sebagai batuan metalumina $ASI < 1.0$, sementara batuan siri kalk-alkali dikelaskan sebagai batuan peralumina, $ASI > 1.0$ (Rajah 6.27).

b) Pengelasan Indek Alkali Kapur Peacock (1931)

Pengelasan mengikut Peacock (1931) menggunakan pemalar Na_2O+K_2O , CaO dan SiO_2 menunjukkan piroksenit, gabro, diorit, sienit dan monzonit dikelaskan sebagai siri

alkali, $\text{SiO}_2 = 51.0$, dan batuan kalk-alkali dikelaskan sebagai siri kalsik-alkali, $\text{SiO}_2 = 59.5$, (Rajah 6.28 (a)). Pengelasan ubahsuai indek alkali kapur oleh Frost et al. (2001) pula menunjukkan kelima-lima batuan siri alkali boleh dikelaskan sebagai siri alkali hingga siri alkali-kalsik, sementara batuan kalk-alkali dikelaskan sebagai siri kalsik-alkali (Rajah 6.28 (b)).

c) Pengelasan siri batuan mengikut Middlemost (1975)

Pengelasan ini menunjukkan siri magma yang membentuk batuan siri alkali bagi Kompleks Benom adalah dikelaskan sebagai magma basalt-alkali (Rajah 6.29 (a)). Pengelasan siri magma diperincikan lagi berdasarkan plotan K_2O melawan Na_2O yang menunjukkan magma bagi pembentukan batuan siri alkali boleh dikelaskan sebagai magma alkali basalt kaya-K hingga magma alkali basalt siri K (Rajah 6.29 (b)).

d) Pengelasan siri batuan mengikut Peccerillo dan Taylor (1976)

Pengelasan ini menunjukkan batuan siri alkali dikelaskan sebagai siri shoshonit, sementara itu batuan siri kalk-alkali dikelaskan kepada siri kalk-alkali kaya-K (Rajah 6.30).

e) Pengelasan siri batuan mengikut Lameyre (1980)

Tren evolusi batuan siri alkali Kompleks Benom daripada piroksenit, gabro, diorit, sienit dan monzonit menunjukkan ia boleh dikelaskan sebagai tren siri alkali. Namun begitu, evolusi bagi sienit dan monzonit boleh juga menggambarkan siri batuan sebagai siri kalk-alkali kaya-K, shonsonit, monzonitik dan transalkali. Sementara itu tren

evolusi granodiorit, granit kasar dan granit halus sederhana dikelaskan sebagai tren siri kalk-alkali (Rajah 6.31).

f) Pengelasan siri batuan mengikut Irvin dan Baragar (1971)

Pengelasan ini menunjukkan batuan siri alkali dan siri kalk-alkali Kompleks Benom dikelaskan sebagai magma siri kalk-alkali (Rajah 6.32).

g) Pengelasan sifat alumina A-B mengikut Debon dan Le Fort (1983).

Pengelasan ini menunjukkan diorit, sienit dan monzonit terkelas di dalam kategori IV (BI+HB+CPx+OPx+OL), sementara gabro dan piroksenit terkelas di dalam kategori V (CPx+HB) yang tinggi pemalar $B = Fe+Mg+Ti$ (Rajah 6.33). Ini adalah selaras dengan kandungan mineral yang dicerap di dalam batuan yang mana gabro dan piroksenit mengandungi banyak mineral hornblend dan piroksen.

h) Pengelasan abjad

Pengelasan abjad mengikut Chappel dan White (1974) menunjukkan kesemua batuan siri alkali dikelaskan sebagai granit jenis-I, dan batuan kalk-alkali terkelas antara jenis-S dan sebahagiannya adalah jenis-I. Hampir keseluruhan sampel batuan siri alkali dikelaskan sebagai granit metalumina, tetapi keseluruhan sampel batuan siri kalk-alkali dikelaskan sebagai peralumina (Rajah 6.34).

- i) Pengelasan siri batuan berdasarkan nombor Fe atau Fe* mengikut Frost et al.(2001)

Pengelasan pluton berdasarkan nombor Fe mengikut Frost et al. (2001) membahagikan batuan dengan jelas, iaitu batuan siri alkali didapati terkelas sebagai pluton magnesian dan batuan siri kalk-alkali terkelas sebagai pluton ferroan (Rajah 6.35).

6.4.3 Pengelasan Sekitaran Tektonik

- a) Pengelasan mengikut Pearce et al. (1984)

Pengelasan sekitar tektonik mengikut Pearce et al. (1984). Berdasarkan plotan Rb melawan (Y+Nb), didapati batuan siri alkali dikelaskan sebagai WPG dan sebahagiannya terplot di dalam VAG, sementara itu hampir secara keseluruhan batuan siri kalk-alkali dikelaskan sebagai WPG. Plotan Nb melawan Y pula menunjukkan batuan siri alkali terkelas sebagai WPG dengan sedikit terplot di dalam VAG+syn-COLG. Batuan siri kalk-alkali terkelas sebagai ORG dan sedikit terplot di dalam WPG (Rajah 6.36).

- b) Pengelasan mengikut Maniar dan Piccoli (1989)

Pengelasan ini dibuat dengan menggunakan sampel yang mempunyai kepekatan SiO₂ melebihi 60 wt%. Oleh itu, ia hanya sesuai bagi mengelaskan batuan siri kalk-alkali Kompleks Benom sahaja.

Berdasarkan plotan K_2O terhadap SiO_2 , batuan siri kalk-alkali Kompleks Benom ditafsirkan bukan terbentuk pada sekitaran plagiogranit kelautan. Plotan Al_2O_3 dan $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$ melawan SiO_2 menunjukkan batuan siri kalk-alkali Kompleks Benom terkelas sebagai pembentukan di sekitaran pos-orogeni (POG). Plotan Fe_{total} terhadap MgO dan plotan Fe_2O_3+MgO terhadap CaO menunjukkan batuan siri kalk-alkali terbentuk pada kumpulan II, iaitu IAG atau CAG atau CCG (Rajah 6.37).

c) Pengelasan mengikut Batchelor dan Bowden (1985)

Pengelasan ini menunjukkan bahawa gabro dan piroksenit terkeluar daripada pengelasan. Monzonit dan sienit boleh dikelaskan terbentuk pada sekitaran selepas perlanggaran “post-collision”, dan diorit terbentuk lebih awal pada sekitaran sebelum perlanggaran “pre-plate collision”. Granodiorit terbentuk pada sekitaran semasa perlanggaran, dan granit kasar porfiritik serta granit halus hingga sederhana terbentuk selepas orogeni (Rajah 6.38).

6.4.4 Pengelasan Secara Gabungan (Sintetik)

a) Pengelasan mengikut Barbarin (1999).

Berdasarkan pengelasan mengikut Barbarin (1999), penulis mendapati batuan siri alkali boleh dikelaskan sebagai ACG, iaitu Granit Kalk-alkali kaya amfibol. Ia mengandungi mineral hornblend lebih banyak berbanding biotit, sesetengah batuan kaya dengan piroksen seperti piroksenit dan gabro juga terdapat piroksen di dalam diorit dan sienit. Batuan siri alkali berasosiasi dengan andesit dan dasit yang menjadi batuan keliling. Proses pembezaan yang berlaku adalah pengfraksian mineral yang kuat dan

percampuran magma yang dicerap berdasarkan komposisi mineral dan singkapan batuan. Ia tinggi CaO dan jumlah $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{MnO}$ dengan nilai nisbah $\text{Fe}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) < 0.8$.

Batuan siri kalk-alkali Kompleks Benom pula boleh dikelaskan sebagai KCG, iaitu Granit Kalk-alkali kaya-K. Ia berdasarkan kandungan mineral batuan siri kalk-alkali yang kaya dengan biotit, jarang dijumpai hornblend kecuali di dalam granit hornblend dekat sempadan batuan keliling. Ia terdiri daripada granodiorit dan granit. Nilai K_2O yang tinggi dengan nisbah $\text{Fe}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ antara 0.8 – 1.0.

b) Pengelasan mengikut Frost et al. (2001)

Pengelasan ini menunjukkan batuan siri alkali Kompleks Benom adalah pluton magnesian (Rajah 6.35) dan dikategorikan sebagai batuan siri alkali-kalsik hingga alkali mengikut pengelasan MALI oleh Frost et al. (2001) (Rajah 6.28). Kesemua batuan siri alkali ini adalah jenis metalumina. Oleh itu, berpandukan kepada pengelasan yang dicadangkan oleh Frost et al. (2001), batuan siri alkali boleh dikelaskan sebagai jenis ke lima atau ke tujuh merujuk kepada jadual 6.6.

Batuan siri kalk-alkali pula dikelaskan sebagai pluton ferroan (Rajah 6.35) dan dikategorikan sebagai batuan siri kalsik-alkali (Rajah 6.28) mengikut pengelasan MALI oleh Frost et al. (2001). Kesemua batuan dikelaskan sebagai jenis peralumina. Oleh itu, batuan siri kalk-alkali ini boleh diletakkan sebagai jenis ke 12 merujuk kepada Jadual 6.6. Ia dikatakan sebagai granit dua mika yang terdiri daripada granit jenis-A.

6.5 Pengelasan Pluton Jalur Tengah yang lain

6.5.1 Pengelasan Pluton Utara dan Pluton Tengah di dalam Jalur Tengah

a) Penamaan Batuan Secara Geokimia

Penamaan batuan secara geokimia pluton-pluton Jalur Tengah yang berada di bahagian utara dan tengah menunjukkan Kompleks Lanchar mempunyai kepelbagaian jenis batuan daripada monzonit, sienit hingga granit. Granit Kemahang, Pluton Senting dan Granit Bukit Tapah mengandungi batuan granodiorit hingga granit. Pluton Palong terdiri daripada monzonit kuarza, granodiorit hingga granit, dan Granit Bukit Tujuh pula didapati keseluruhan batuan dikelaskan sebagai granit. Kesimpulan ini adalah berdasarkan pengelasan mengikut Cox et al. (1979) dan Middlemost (1985) (Rajah 6.39 (a) dan (b)), De la Roche et al. (1980) dan Debon dan Le Fort (1983) (Rajah 6.40 (a) dan (b)).

b) Pengelasan Siri Batuan/Magma

Berdasarkan plotan mengikut Debon dan Le Fort (1983) menggunakan pemalar A-B (Rajah 6.41 (a)) dan A/CNK melawan A/NK mengikut Shand (1943) (Rajah 6.41 (b)) didapati kesemua pluton di dalam kumpulan ini adalah jenis peralumina kecuali Kompleks Lanchar yang mengandungi batuan metalumina dan peralumina.

Pengelasan siri batuan mengikut Peccerillo dan Taylor (1976) menunjukkan Kompleks Lanchar, Pluton Palong, Pluton Senting dan Granit Bukit Tujuh terkelas sebagai siri kalk-alkali kaya-K hingga siri shonsonit, sementara itu Granit Kemahang

dan Granit Bukit Tapah didapati terkelas sebagai batuan siri kalk-alkali hingga siri kalk-alkali kaya-K (Rajah 6.42).

c) Pengelasan Sekitaran Tektonik

Pengelasan sekitar tektonik bagi pluton-pluton ini ditunjukkan di dalam Rajah 6.43. Penulis menggunakan pengelasan mengikut Batchelor dan Bowden (1979) bagi menjelaskan sekitar tektonik kerana ia lebih senang untuk diuraikan dan mencerminkan sekitar secara berturutan daripada “pre-plate collision” hingga anorogenik. Didapati Granit Kemahang dikelaskan sebagai sin-pelanggaran, Pluton Senting pula terbentuk semasa “late-uplift orogenic” dan Granit Bukit Tujuh terbentuk pada sekitar antara sin-pelanggaran dan pos-orogenik.

Kompleks Lanchar menunjukkan taburan yang rawak dan sukar bagi menentukan sekitarnya, iaitu terletak antara “pre-plate collision” dan “late-uplift orogenic”. Ini kerana terdapat dua siri batuan, iaitu siri pertengahan dan siri asidik di dalam Kompleks Lanchar (Jaafar Ahmad, 1979) yang kemungkinan terbentuk pada sekitar yang berlainan. Granit Bukit Tapah pula dikelaskan terbentuk selepas orogenik. Pluton Palong juga menunjukkan dua sekitar yang berbeza bagi pembentukannya. Ini kerana di dalam Pluton Palong terdapat unit-unit granit yang dibahagikan kepada Granit Lui, Granit Serting dan Granit Kemayan yang berbeza cirian batuan dan kemungkinan terbentuk pada sekitar sin-pelanggaran dan pos-orogenik.

6.5.2 Pengelasan Pluton Selatan di dalam Jalur Tengah Semenanjung Malaysia

a) Penamaan Batuan Secara Geokimia

Pengelasan batuan bagi ketiga-tiga pluton di bahagian selatan Jalur Tengah ini menunjukkan bahawa keseluruhan batuan terdiri daripada granit. Pengelasan menggunakan geokimia ini ditunjukkan oleh plotan jumlah alkali oleh Cox et al., (1979) dan Middlemost (1985) (Rajah 6.44 (a) dan (b)), De la Roche et al., (1980) dan Debon dan Le Fort (1983) (Rajah 6.45 (a) dan (b)), Middlemost (1994) (Rajah 6.46). Pengelasan ini juga menunjukkan kesemua pluton terdiri daripada batuan leukogranit.

b) Pengelasan Siri Batuan/Magma

Pengelasan bagi menentukan siri batuan ditunjukkan oleh Rajah 6.47 (a) mengikut pengelasan A/CNK-A/NK oleh Shand (1943) dan Rajah 6.47 (b) mengikut pengelasan Debon dan Le Fort (1983) menunjukkan bahawa kesemua batuan terdiri daripada batuan jenis peralumina kecuali dua sampel batuan bagi Pluton Gunung Ledang yang terkelas sebagai metalumina. Siri magma bagi pembentukannya ketiga-tiga pluton ini boleh dikelaskan sebagai siri Kalk-alkali kaya-K mengikut Peccerillo dan Taylor (1976) (Rajah 6.48).

c) Pengelasan Sekitaran Tektonik

Sekitaran batuan bagi ketiga-tiga pluton ditafsirkan terbentuk selepas orogenik (Rajah 6.49). Ini adalah selaras dengan penentuan usia batuan yang menunjukkan ketiga-tiga pluton didapati berusia Kapur Atas (Hutchison, 1971).

6.6 Perbandingan Pengelasan Pluton di dalam Jalur Barat, Jalur Tengah dan Jalur Timur, Semenanjung Malaysia

Perbandingan pengelasan antara ketiga-tiga jalur pluton Semenanjung Malaysia juga dilakukan bagi melihat perbezaan antara jenis-jenis batuan, siri batuan dan sekitaran tektonik secara menyeluruh.

6.6.1 Penamaan Batuan Secara Geokimia

Perbandingan penamaan batuan secara kimia mengikut Cox et al., (1979) bagi ketiga jalur ditunjukkan di dalam Rajah 6.50. Ia menunjukkan Jalur Barat terhad kepada batuan granit sahaja. Jalur Tengah mempunyai variasi batuan yang berjulat besar meliputi batuan bes, pertengahan dan felsik di dalam siri alkali hingga siri kalk-alkali, sementara itu Jalur Timur juga mempunyai variasi batuan yang besar tetapi mengikut tren perubahan di dalam siri kalk-alkali sahaja.

6.6.2 Pengelasan Siri Batuan

Pengelasan siri batuan mengikut Peccerillo dan Taylor (1976) bagi ketiga-tiga jalur menunjukkan Jalur Barat terkelas sebagai siri kalk-alkali kaya K, Jalur Timur pula berjulat dari siri kalk-alkali kaya K hingga siri kalk-alkali. Tetapi Jalur Tengah agak berbeza, iaitu ia terkelompok kepada batuan siri kalk-alkali kaya K dan siri shoshonit (Rajah 6.51).

6.6.3 Pengelasan Sekitaran Tektonik

Plotan bagi penentuan sekitaran tektonik batuan mengikut Batchelor dan Bowden (1985) menunjukkan Jalur Barat terletak di dalam sekitaran sin-orogenik hingga pos-orogenik, Jalur Tengah di sekitaran pos-orogenik, sin-orogenik dan pos-pelanggaran. Manakala, Jalur Timur terletak di sekitaran pos-orogenik, sin-orogenik dan “pre-plate collision” (Rajah 6.52). Namun begitu, apabila ketiga-tiga jalur diplotkan menggunakan pengelasan mengikut Pearce et al., (1984) didapati Jalur Barat dikelaskan sebagai granit semasa pelanggaran (syn-COLG), sementara Jalur Timur terkelas sebagai granit arka volcanik (VAG) dan sesetengahnya granit dalam kepingan (WPG). Namun begitu, bagi Jalur Tengah didapati terdapat dua kelompok, iaitu terkelas sebagai granit semasa pelanggaran (syn-COLG) dan granit dalam kepingan (WPG) (Rajah 6.53).

6.7 Perbincangan dan Kesimpulan

Kebanyakan pengelasan yang digunakan di dalam mengelas jenis batuan, siri batuan atau magma dan sekitaran pembentukan batuan adalah dengan mengaplikasikan unsur-unsur major kecuali pengelasan oleh Pearce et al. (1984) yang menggunakan unsur-unsur surih dan Barbarin (1990, 1999) yang mengintegrasikan maklumat mineralogi, kaitan batuan di lapangan dan geokimia bagi membuat pengelasannya. Ini kerana unsur-unsur major didapati lebih stabil bagi mencirikan batuan tersebut (Maniar dan Piccolli, 1989; Clarker, 1992).

Walaupun pengelasan ini boleh membantu di dalam menghuraikan cirian batuan, siri magma dan sekitaran pembentukan, tetapi ia perlu digunakan secara berhati-hati. Ini kerana pengelasan ini adalah artifisial dan sesetengah granit menunjukkan ciri-ciri

yang lebih daripada satu jenis (Barbarin, 1990). Percampuran magma dan kepelbagaian proses semasa evolusi boleh menghasilkan kepelbagaian cirian di dalam setiap jenis granit (Orsini, 1979; Pagel dan Leterrier, 1980; Pupin, 1980). Contohnya Pluton Ploumanac di utara Brittany yang terdiri daripada granit jenis kalk-alkali setara dengan H_{LO} mengikut Barbarin (1990) tetapi mempunyai ciri yang hampir sama dengan jenis granit alkali (Barriere, 1977). Di dalam sesetengah kajian, boleh dijumpai pelbagai jenis granit di dalam satu kawasan seperti yang dijumpai di Central Massif French dan Pergunungan Andes (Lameyre, 1988; Pitcher et al., 1985).

Oleh itu, di dalam kajian ini, penulis mendapati pengelasan-pengelasan yang digunakan memberikan tafsiran yang agak berbeza-beza terutama dalam pentafsiran sekitaran tektonik. Contohnya pengelasan Kompleks Stong menunjukkan Pluton Kenerong dan Pluton Berangkat terbentuk pada sekitaran semasa pelanggaran “syn-COLG” atau granit dalam kepingan (WPG), sementara Pluton Noring terkelas sebagai granit arka vulkanik (VAG) atau sekitaran semasa pelanggaran “syn-COLG” mengikut Pearce et al., (1984), sedangkan mengikut Batchelor dan Bowden (1985) didapati Pluton Kenerong terbentuk semasa selepas orogenik “post-orogenic”, Pluton Noring semasa pelanggaran dan Pluton Berangkat pada sekitaran selepas pelanggaran. Pengelasan Pearce et al., (1984) meletakkan ketiga-tiga pluton ini di dalam dua pengelasan yang memerlukan penulis meneliti dan memilih satu pengelasan sahaja dan ia dibantu oleh pengelasan oleh Batchelor dan Bowden (1985). Contohnya dalam kes ini, penulis membuat kesimpulan Pluton Berangkat terkelas sebagai granit dalam kepingan (WPG) kerana ia bersesuaian dengan cirian kimia dan disokong oleh pengelasan selepas pelanggaran oleh Batchelor dan Bowden (1985).

Jadual 6.8 menunjukkan rumusan pengelasan yang dilakukan bagi Kompleks Igneus Stong. Sementara itu, Jadual 6.9 pula menunjukkan rumusan pengelasan yang telah digunakan terhadap Kompleks Igneus Benom yang terbahagi kepada dua siri batuan. Berdasarkan kepada pengelasan ini, beberapa kesimpulan boleh dibuat, iaitu;

- a. Pluton Berangkat dan Unit Granit Sg Long terkelas sebagai batuan metalumina siri shoshonit, granit jenis I dan terbentuk di dalam sekitaran semasa pelanggaran hingga selepas dan dikatakan granit selepas orogenik.
- b. Unit Granit Sg. Suda dikelaskan sebagai batuan siri kalk-alkali kaya K, bersifat alumina tetapi menunjukkan cirian granit jenis I. Ia dikatakan terbentuk semasa pelanggaran.
- c. Pluton Kenerong adalah batuan peralumina dengan menunjukkan ciri-ciri perantaran granit jenis I dan granit jenis S. Ia dikelaskan sebagai siri kalk-alkali hingga kalk-alkali kaya K. Ia ditafsirkan sebagai granit selepas orogenik.
- d. Batuan siri alkali Kompleks Benom dikelaskan sebagai batuan siri shoshonit, berasal daripada basalt alkali siri kaya K, metalumina, granit jenis I dan terkelas juga sebagai granit dalam kepingan (WPG), dan terbentuk pada sekitaran sebelum pelanggaran hingga selepas pelanggaran.
- e. Batuan siri kalk-alkali Kompleks Benom adalah batuan peralumina dan dikelaskan sebagai granit perantaraan jenis I dan jenis S. Ia terkelas sebagai batuan siri kalk-alkali kaya K dan granit dalam kepingan (WPG), dan terbentuk pada sekitaran selepas orogenik.

Berdasarkan perbandingan antara pengelasan batuan Jalur Barat, Jalur Tengah dan Jalur Timur, terdapat perbezaan pengelasan yang ketara antara jalur-jalur ini yang boleh mewakili ciri-ciri utama setiap jalur tektonik Semenanjung Malaysia. Ringkasan

rumusan pengelasan ditunjukkan di dalam Jadual 6.10. Daripada pengelasan ini didapati bahawa;

- 1) Jalur Barat terdiri daripada granit (felsik), dominan dengan batuan peralumina dengan minor metalumina, siri kalk-alkali kaya K, granit jenis I dan granit jenis S, dan terbentuk di sekitaran semasa pelanggaran.
- 2) Jalur Tengah terdiri daripada batuan metalumina dan peralumina sama banyak, siri kalk-alkali kaya K dan siri shoshonit, granit jenis I dengan minor jenis S dan dikelaskan sebagai granit semasa pelanggaran dan granit dalam kepingan (WPG). Ia terbentuk di sekitaran selepas orogenik dan selepas pelanggaran.
- 3) Jalur Timur terdiri daripada batuan bes hingga felsik, metalumina dengan minor peralumina, siri kalk-alkali hingga siri kalk-alkali kaya K, keseluruhan jenis I dan dikelaskan sebagai granit arka kepulauan (VAG) dan sesetengahnya granit dalam kepingan (WPG). Ia dikelaskan terbentuk di sekitaran semasa orogenik, selepas orogenik dan sebelum pelanggaran kepingan.