SKRIPSI

GEOKIMIA BATUAN PLAGIOGRANIT DAERAH BULU SABANGNAIRI KECAMATAN BARRU KABUPATEN BARRU PROVINSI SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh

MUSTIKAYANTI
D611 14 002

DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR
2021

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

GEOKIMIA BATUAN PLAGIOGRANIT DAERAH BULU SABANGNAIRI KECAMATAN BARRU KABUPATEN BARRU PROVINSI SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh:

MUSTIKAYANTI

D 611 14 002

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 18 Agustus 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
Dr. Ulva Ria Irvan, S.T., M.T	Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T
NIP.197006061994122001	NIP. 196711191998022001

Ketua Program Studi

Dr. Eng. Asri Jaya, HS, S.T., M.T.
NIP. 196909241998021001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : MUSTIKAYANTI

NIM : D611 14 002

Program studi : Teknik Geologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul :

"GEOKIMIA BATUAN PLAGIOGRANIT DAERAH BULU SABANGNAIRI KECAMATAN BARRU KABUPATEN BARRU PROVINSI SULAWESI SELATAN"

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain bahwa skripasi/tesis/disertasi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi/tesis/disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya siap menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 29 Juni 2021

Yang Menyatakan

Mustikayanti

SARI

Secara Administratif daerah penelitian terletak di daerah Bulu Sabangnairi Kecamatan Barru Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis daerah penelitian terletak 119^{o}39'15" – 119^{o}39'45" Bujur Timur dan 04^{o}24'45" – 04^{o}25'0" Lintang Selatan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis batuan granitoid, kandungan unsur kimia batuan granitoid dan menginterpetasi tatanan tektonik batuan granitoid pada daerah penelitian dengan menggunakan metode analisis X-Ray Fluorescence (XRF) dan analisis petrografi. Berdasarkan hasil penelitian lapangan, analisis petrografi dan geokimia, maka batuan yang terdapat pada lokasi penelitian terdiri dari tonalite (plagiogranit) dan granodiorit. Berdasarkan kandungan unsur SiO2 batuan granitoid semakin ke arah tenggara daerah penelitian semakin bersifat asam karena kandungan SiO_2 semakin tinggi, termasuk dalam seri magma Low K Tholeiite dengan tipe magma berupa magma asam, untuk tingkat saturasi alumina plagiogranit termasuk dalam jenis metaluminous dan merupakan dengan tipe M (*M-type*) yang ditunjukkan dengan kehadiran mineral mafik seperti hornblende dan biotit dan terbentuk pada tatanan tektonik zona anorogenik yakni pada lingkungan mid-oceanic ridge. Umumnya memiliki tekstur holokristalin dan kelimpahan mineral plagioklas.

Kata kunci: Bulu Sabangnairi, analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF), *plagiogranit*, *Low K Tholeiite*, Mid-Oceanic Ridge.

ABSTRACT

Administratively, study area is located in Sabbang, Sabbang District, North Luwu Regency South Sulawesi Province and astronomically research area is located at 119°39'15" – 119°39'45" east longitude and 04°24'45" – 04°25'0"*south latitude. The purpose of this research, want to know the kind of granitoid rocks, content of chemical element granitoid rocks and interpretation genesis of granitoid rocks in research area with X-Ray Fluorescence Method. Based on the field research, petrographic analysis, and geochemical analysis, the granitoid rocks in research area include tonalite and granodiorite. Based on SiO_2 element, in this research area have more acid to the southeast because of the content of SiO_2 is higher to the Southeast, included Low K Tholeiite magma series with acid magma type, for the saturation level of alumina, the type of plagiogranite is metaluminous, beside that, plagiogranite in this areas is the M-type showed the present of mafic minerals such as hornblende and biotite minerals and formed in anorogenic zone tectonic setting environment mid-oceanic ridge. Generally have a texture holocrystalline and abundant mineral plagioclase.*

Keywords: *Bulu Sabangnairi, analysis X-Ray Fluorescence (XRF), plagiogranite, low K Tholeiite, Mid-Oceanic Ridge.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan pemetaan geologi yang berjudul **"Geokimia Batuan Plagiogranit Daerah Bulu Sabangnairi Kecamatan Barru Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan".**

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis dalam penyusunan laporan ini, antara lain :

1. Ibu Dr. Ulva Ria Irvan S.T, M.T, dan Bapak Dr, Ir. Kaharuddin MS, M.T. selaku pembimbing tugas akhir yang telah banyak mencurahkan waktu dan ilmunya untuk penulis.
2. Bapak Dr. Eng. Asri Jaya HS, S.T, M.T sebagai Ketua Departemen Tenik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Orangtua dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan baik moril maupun materil.
4. Bapak Ir. Jamal Rauf, M.T selaku Penasehat Akademik yang telah banyak memberikan masukan saran selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Geologi.
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin.
6. Bapak dan Ibu Staf Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin.

7. Saudara Wahyu Adjie Syahputra, Andi Muhammad Yusril, Putik dan Melti atas bantuannya selama proses pengambilan data hingga penyusunan laporan.
8. Semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari banyaknya ketidaksempurnaan yang terdapat pada penulisan laporan ini. Oleh karena itu penulis sangat mengaharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Akhir kata semoga laporan ini dapat bernilai positif bagi para pembaca maupun penulis.

Makassar, Juni 2021

Penyusun

Mustikayanti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL…….……. i

HALAMAN TUJUAN…….. ii

HALAMAN PENGESAHAN……... iii

SARI……... iv

***ABSTRACT*……...……. v**

KATA PENGANTAR……...…… vi

DAFTAR ISI…….…….. ix

DAFTAR TABEL…….…….. x

DAFTAR GAMBAR…….……. xi

BAB I PENDAHULUAN…….. 1

1.1 Latar Belakang……. 1

1.2 Maksud dan Tujuan……..…… 2

1.3 Batasan Masalah…….. 2

1.4 Letak, Luas dan Kesampaian Daerah …….…… 3

1.5 Alat dan Bahan ……..……. 4

1.6 Peneliti Terdahulu..……. 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA……..……..……..... 7

2.1 Geologi Regional……. 7

2.1.1 Geomorfologi Regional……... 7

2.1.2 Stratigrafi Regional……. 8

2.2 Magma…….…. 12

2.2.1 Evolusi Magma…… 13

2.2.2 Diferensiasi Magma……. 14

2.2.3 Komposisi Magma…….…….. 16

2.3 Batuan Granitoid……. 18
2.3.1 Mineralogi dan Tekstur Batuan Granitoid…….. 19
2.3.2 Klasifikasi Batuan Granitoid…….. 21
2.3.2.1 Klasifikasi Batuan Granitoid Berdasarkan Komposisi Mineral……. 21
2.3.2.2 Klasifikasi Batuan Granitoid Berdasarkan Komposisi Kimia……. 21
2.4 Plagiogranit……. 25
2.4.1 Petrografi dan Geokimia Plagiogranit……. 27
2.4.2 Lingkungan Tektonik Plagiogranit…….. 29

BAB III METODE PENELITIAN…… 36

3.1 Metode Penelitian……...……. 36
3.2 Tahapan Penelitian……..…… 36
3.2.1 Penelitian Lapangan……. 36
3.2.2 Analisis Laboratorium……. 37
3.2.3 Pengolahan Data…….. 38

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN……..…….. 41

4.1 Geologi Daerah Penelitian……..…… 41
4.1.1 Geomorfologi Daerah Penelitian…….…….. 41
4.1.2 Stratigrafi Daerah Penelitian……..……..... 42
4.1.2.1 Satuan Peridotit……..……..... 43
4.1.2.2 Satuan Plagiogranit……..…….. 45
4.1.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian……..……. 47
4.2 Karakteristik Megaskopis dan Petrografi Batuan Plagiogranit…..…… 48
4.2.1 Analisis Megaskopis……..... 48
4.2.2 Petrografi…….. 49
4.2.2.1 Stasiun 1…… 49
4.2.2.2 Stasiun 3…… 50
4.2.2.3 Stasiun 5……..... 51
4.3 Geokimia Batuan Plagiogranit…….. 52

4.3.1 Unsur Utama……. 52

4.3.2 Jenis dan Afinitas Magma……..... 54

4.3.3 Penamaan Batuan……. 57

4.3.4 Klasifikasi Batuan Berdasarkan Komposisi Kimia…….. 58

4.3.5 Evolusi Magma……. 61

4.3.6 Petrogenesa dan Geotektonik Batuan Plagiogranit…….. 64

BAB V

PENUTUP……..... 67

5.1 Kesimpulan……..... 67

5.2 Saran…….. 67

DAFTAR PUSTAKA……..……. 69

LAMPIRAN :

1. Deskripsi Petrografi
2. Peta Stasiun
3. Peta Geomorfologi
4. Peta Geologi

DAFTAR TABEL

Tabel **Halaman**

2.1 Ciri-ciri seri magma yang berasosiasi dengan tatanan tektonik khusus (Wilson, 1989)..... 12

2.2 Klasifikasi batuan granitoid secara petrografi dan geokimia (Christiansen dkk, 1996 dalam Ronaldo, 2015)..... 24

2.3 Klasifikasi lingkungan tektonik pada batuan granitoid……..…… 33

4.1 Deskripsi petrografis conto batuan pada daerah penelitian……..……... 51

4.2 Hasil analisis geokimia *Major Element* sampel batuan pada daerah penelitian …… 54

4.3 Klasifikasi magma berdasarkan kandungan SiO2 (%) atau derajat keasaman (Le Maitre et al, 1989 dalam Rollinson, 1993)..... 55

4.4 Komposisi kandungan senyawa SiO2 wt% *versus* Na2O + K2O pada setiap batuan……... 57

4.5 Tipe I, S, A, dan M granitoid data dari White and Chapell (1983), Clarke Dalam (1992) Winter, 2001……...…….. 60

4.6 Jenis granit yang tersusun oleh mineral yang khas tiap jenisnya menurut Clarke 1992……..…….. 64

5.7 Klasifikasi lingkungan tektonik (Pitcher, 1992-1993 dan Barbarin, 1990 dalam winter , 2001)..... 66

DAFTAR GAMBAR

Gambar **Halaman**

1.1 Peta Tunjuk Lokasi…… 1

2.1 Lokasi penelitian pada Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat (Sukamto, 1982)..... 10

2.2 Lokasi penelitian pada Peta Geologi Daerah Lasitae Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan…….. 11

2.3 Proses diferensiasi magma *Crystallyzation and Settling* (Pearson Prentice Hall, Inc. 2005…… 15

2.4 Kisaran komposisi (persen berat) jenis batuan beku dan dibedakan menjadi Tiga kelompok utama jenis magma (Flint, 1977)..... 18

2.5 Klasifikasi batuan beku (Streckeisen, 1991)..... 21

2.6 Jenis-jenis batuan granitoid berdasarkan kandungan alumina saturasi….. 22

2.7 Penampang melintang kerak samudera yang menunjukkan intrusi plagiogranit zona transisi dike-gabro dari ofiolit (dimodifikasi dari Stakes and Taylor).. 25

2.8 Foto yang menunjukkan hubungan antara plagiogranit dengan gabro, yang terdapat pada Nidar Ophiolitic, Ladakh Timur, India…….……... 26

2.9 Diagram persentase mineral pada batuan beku……..……. 28

2.10 Tatanan tektonik batuan beku pada *constructive plate* (Wilson, 1989)..... 32

2.11 Tatanan tektonik batuan beku pada *within plate* (Wilson, 1989)..... 33

2.12 Memperlihatkan struktur dari kerak samudera yang terbentuk selama proses Extension……..... 34

2.13 Kenampakan dari dekat lapisan batas antara lelehan magma dengan lapisan Intrusi…….. 34

2.14 Memperlihatkan proses migrasi dari cairan magma ke atas membentuk plagio-granit…… 35

3.1 Diagram Alir metode penelitian……..…… 40

4.1 Kenampakan satuan geomorfologi perbukitan denudasional pada daerah pene-

litian yaitu Bulu Sabangnairi difoto ke arah N 115^{O}E…….. 42
4.2 Foto kenampakan singkapan peridotit di Bulu Sabangnairi difoto ke arah N 160^{O}E……. 44
4.3 Foto mikrograf conto sayatan ST 6/UB dengan komposisi mineral piroksin, serpentin, mineral opaq, danhornblende…… 44
4.4 Kenampakan singkapan plagiogranit di BuluSabangnairi……. 46
4.5 Foto mikrograf conto sayatan batuan ST 1 dengan komposisi mineral plagioklas jenis oligoklas (Pg), kuarsa (Q), piroksin (Px)……. 46
4.6 Kenampakan kekar non sitematik pada litologi peridotit dan isian yang telah mengalami alterasi Bulu Sabangnairi…… 47
4.7 Foto singkapan plagiogranit pada stasiun 3 dengan arah pengambilan foto N 278^{O}E……. 48
4.8 Kenampakan petrografis plagiogranit pada sayatan ST 1 yang memperlihatkan kandungan mineral berupa Plagioklas, Hornblende dan Kuarsa…….. 50
4.9 Kenampakan petrografis plagiogranit pada sayatan ST 3 yang memperlihatkan Kandungan mineral berupa plagioklas, kuarsa dan hornblende…… 50
4.10 Kenampakan petrografis plagiogranit pada sayatan ST 5 yang memperlihatkan Kandungan mineral berupa plagioklas, kuarsa dan hornblende…… 51
4.11 Plotting pada klasifikasi afinitas magma berdasarkan perbandingan K2O dan SiO2 (Peccerillo and Taylor, 1976 dalam Rollinson, 1993)..... 56
4.12 Hasil plotting *Major element* (SiO2 - Na2O + K2O) pada klasifikasi batuan beku plutonik (Middlemost, 1985)..... 58
4.13 Jenis-jenis batuan granitoid berdasarkan kandungan alumina saturasi…. 59
4.14 Diagram Molar Na2O-Al2O3-K2O untuk menentukan saturasi alumina... 59
4.15 Plotting kandungan *major element* terhadap SiO2 ke diagram variasi (Harker, 1909 dalam Rollinson, 1993)..... 63
4.16 Klasifikasi geotektonik menurut Batchelor dan Bowden (1985)..... 66

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pulau Sulawesi merupakan daerah kompleks tektonik dan volkanisme masa lampau. Pulau ini tersusun tersusun oleh tiga mandala geologi yang didasari oleh litologi, struktur, dan sejarah pembentukannya yaitu Sulawesi bagian Barat berupa batuan vulkanik, Sulawesi bagian Timur berupa batuan metamorf dan ofiolit dan Baggai-Sula merupakan fragmen kontinen yang mempunyai karakter dan fenomena geologi yang berbeda (Sukamto, 1975) dan sekitar 70% daerahnya tertutupi oleh batuan vulkanik dan dari berbagai jenis dengan umur yang berbeda. Hal ini dapat memberikan pengetahuan bahwa Pulau Sulawesi merupakan betukan tiga lempeng mayor (Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia) yang saling berinteraksi menghasilkan berbagai fenomena geologi termasuk peristiwa letusan gunungapi (vulkanisme) dan batuan produknya.

Batuan jenis plagiogranit masih diteliti oleh beberapa ahli di dunia saat ini, hal ini dikarenakan batuan plagiogranit memiliki penyebaran yang masih jarang dijumpai bahkan keterdapatan batuan ini hanya ada di beberapa negara saja sehingga batuan plagiogranit sering juga disebut batuan langka di dunia. Namun penelitian terbaru memberikan informasi bahwa di salah satu daerah tepatnya di daerah Sabangnairi, Barru terdapat indikasi keterdapatan batuan jenis plagiogranit. Oleh karena itu, untuk mengetahui keberadaan, ciri fisik, dan geokimia serta karakteristik batuan plagiogranit di daerah Sabangnairi Kecamatan Barru

Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan, maka perlu dilakukan suatu penelitian dengan analisis geokimia. Beberapa hal di atas merupakan faktor yang melatarbelakangi penulis untuk melakukan penelitian tersebut.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis tentang geokimia batuan plagiogranit di daerah Barru Kecamatan Barru Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan.

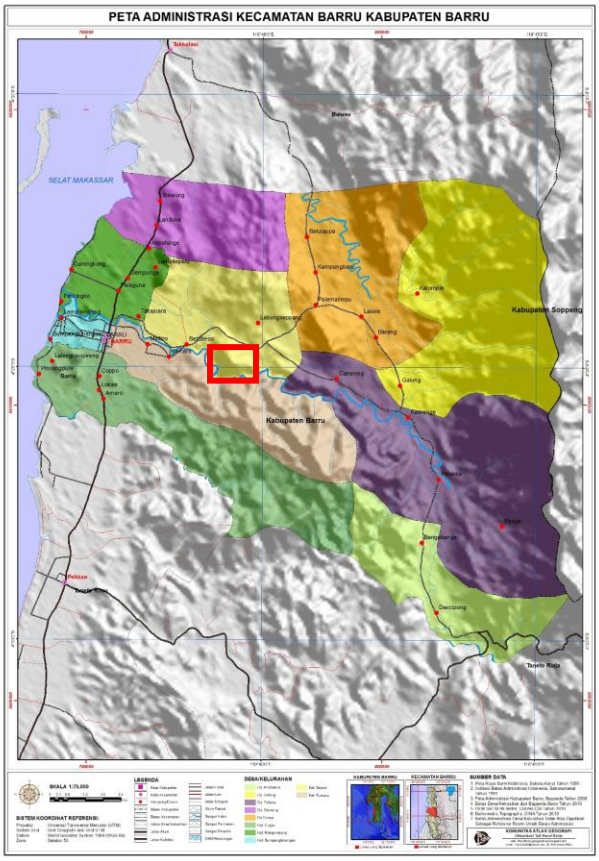
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan jenis unsur batuan plagiogranit dengan menggunakan metode analisis geokimia ruah batuan dan mineral XRF *(X–Ray Fluorescence spectrometry)* untuk mengetahui unsur–unsur oksida dalam magma (*major element*), serta untuk mengetahui karakteristik geokimia batuan plagiogranit berdasarkan hasil analisis geokimia yang telah dilakukan.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan membatasi masalah pada penelitian yang berdasarkan aspek–aspek geokimia menggunakan metode analisis geokimia ruah batuan dan mineral XRF *(X–Ray Fluorescence spectrometry)* untuk mengetahui unsur–unsur oksida dalam magma (*major element*)

1.4 Letak, Waktu, dan Kesampaian Daerah

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam wilayah Kecamatan Barru Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan (gambar 1.1). Secara astronomis daerah penelitian terletak pada 119º39'15" – 119º39'45" Bujur Timur dan 04º24'45" – 04º25'0" Lintang Selatan. Daerah penelitian terpetakan dalam peta Rupa Bumi Indonesia sekala 1 : 10.000 Lembar Barru nomor 2011–61 terbitan Bakosurtanal edisi I tahun 1991 (Cibinong Bogor). Luas daerah penelitian mencakup wilayah 8,1 x 2,61 Km, dengan luas sekitar 21,15 Km^2. Daerah penelitian ini dapat dicapai dengan menggunakan jalur darat berupa kendaraan roda empat maupun roda dua dengan waktu tempuh perjalanan ± 4 jam.



Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi

1.5 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan selama kegiatan penelitian ini terbagi dalam dua kategori yakni alat yang digunakan pada saat di lapangan dan alat yang digunakan pada saat analisa laboratorium.

1. Alat dan bahan yang digunakan pada saat di lapangan adalah sebagai berikut:
    1. Peta Topografi bersekala 1 : 25.000 yang merupakan hasil perbesaran dari peta rupa bumi sekala 1 : 50.000 terbitan Bakosurtanal Edisi I tahun 1991
    2. *Global Positioning System* (GPS tipe *Garmin 76Csx*)
    3. *Software* digitasi peta *Arc GIS 10.8*
    4. Laptop
    5. Kompas geologi
    6. Palu geologi
    7. Lup dengan pembesaran 10X
    8. Buku catatan lapangan
    9. Kamera digital
    10. Larutan HCl (0,1 M)
    11. Kantong sampel
    12. Alat tulis menulis
    13. Ransel lapangan
2. Alat dan bahan yang akan digunakan selama analisis laboratorium adalah sebagai berikut :
    1. Mikroskop polarisasi untuk analisis petrografi

2. Sampel megaskopis berupa sampel untuk sayatan tipis dan analisis geokimia ruah batuan (XRF dan ICP-OES)
3. *Software* analisis unsur kimia *GCDkit 3.0*
4. Laptop
5. Alat tulis–menulis
6. Foto sayatan tipis

1.6 Peneliti Terdahulu

Peneliti terdahulu yang pernah mengadakan penelitian yang sifatnya regional di antaranya sebagai berikut :

- Rab Sukamto (1975), melakukan penelitian tentang tektonik Sulawesi menghasilkan Peta Pola Tektonik Regional Sulawesi.
- van Leeuwen (1981), melakukan penelitian tentang geologi Baratdaya Sulawesi khususnya daerah Biru.
- Rab Sukamto (1982), melakukan pemetaan geologi regional bersekala 1 : 250.000 di Sulawesi Selatan terkhusus peta lembar Pangkajene dan Watampone bagian Barat.
- Marlina A. Elburg dan Jhon Foden (1998), melakukan penelitian tentang pengaruh tektonik terhadap perubahan variasi geokimia batuan di Sulawesi Selatan.
- B. Priadi, H. Bellon, R.C Maury, M. Volve, R. Soeria-Atmadja, dan J.C Philppet (1994), melakukan penelitian tentang evolusi magma di Sulaweis berdasarkan data geokimia ($^{40}K - {}^{40}Ar$).

- B. Priadi (2011), melakukan penelitian tentang geologi daerah Sulawesi.
- Adi Tonggiroh (2013), melakukan penelitian tentang analisis geokimia logam Cu dan Fe pada batuan dasit di daerah Barru Sulawesi Selatan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

2.1.1 Geomorfologi Regional

Geomorfologi regional daerah penelitian termasuk dalam Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat Sulawesi. Terletak pada koordinat 119^{o}39'00" – 119^{o}40'00" Lintang Selatan dan 04^{o}00’00” – 05^{o}00’00” Bujur Timur. Pada peta lengan Selatan Pulau Sulawesi secara umum terdapat dua baris pegunungan yang memanjang hampir sejajar pada arah Utara – Baratlaut dan dipisahkan oleh Lembah Sungai Walanae (Sukamto, 1982).

Pegunungan pada bagian Barat menempati hampir setengah luas daerah, melebar di bagian Selatan dan menyempit di bagian Utara dengan ketinggian rata–rata 1500 meter. Pembentuknya sebagian besar berupa batuan gunungapi dan batugamping (Sukamto, 1982). Pegunungan pada bagian Timur lebih sempit dan rendah, ketinggian puncak rata–ratanya 700 meter. Pembentuknya sebagian besar berupa batuan gunungapi.

Lembah Walanae yang memisahkan kedua pegunungan tersebut di bagian Utara lebih lebar daripada di bagian Selatannya. Di tengah lembah terdapat Sungai Walanae yang mengalir ke Utara. Di bagian Selatan berupa perbukitan rendah dan di bagian Utara berupa dataran aluvial.

2.1.2 Stratigrafi Regional

Pemekaran yang terjadi pada Tersier Awal membawa bagian Timur dari Kalimantan ke wilayah Pulau Sulawesi sekarang, dimana *rifting* dan pemekaran lantai samudera di Selat Makassar pada masa Paleogen, menciptakan ruang untuk pengendapan material klastik yang berasal dari Kalimantan. Stratigrafi regional daerah Barru menurut Sukamto (1982), tersusun oleh batuan Pra–Tersier sebagai batuan dasar (*basement*) yang terdiri dari batuan ultrabasa (peridotit yang sebagian besar terserpentinitkan) dan batuan metamorf (sekis).

Geologi daerah bagian Timur dan Barat Sulawesi Selatan pada dasarnya berbeda, dimana kedua daerah ini dipisahkan oleh sesar Walanae. Di masa Mesozoikum, *basement* yang kompleks berada di dua daerah, yaitu di bagian Barat Sulawesi Selatan dekat Bantimala dan di daerah Barru yang terdiri dari batuan metamorf, ultramafik, dan sedimen. Adanya batuan metamorf yang sama dengan batuan metamorf di Pulau Jawa, Pegunungan Meratus di Kalimantan Tenggara, dan batuan di Sulawesi Tengah menunjukkan bahwa *basement* kompleks Sulawesi Selatan mungkin merupakan pecahan fragmen akibat akresi kompleks yang lebih besar di masa *Lower Cretaceous*. Batuan vulkanik berumur Paleosen terdapat di bagian Timur daerah Sulawesi Selatan dan tidak selaras dengan Formasi Balangbaru. Di daerah Bantimala batuan vulkanik ini disebut Bua dan di daerah Biru disebut Langi. Formasi ini terdiri dari lava dan endapan piroklastik andesit dengan komposisi *trachy–andesit* dengan sisipan *limestone* dan *shale* (van Leeuwen, 1981). Sifat *calc–alkaline* dan unsur tanah tertentu menunjukkan bahwa batuan vulkanik merupakan hasil subduksi dari arah Barat (van Leeuwen, 1981).

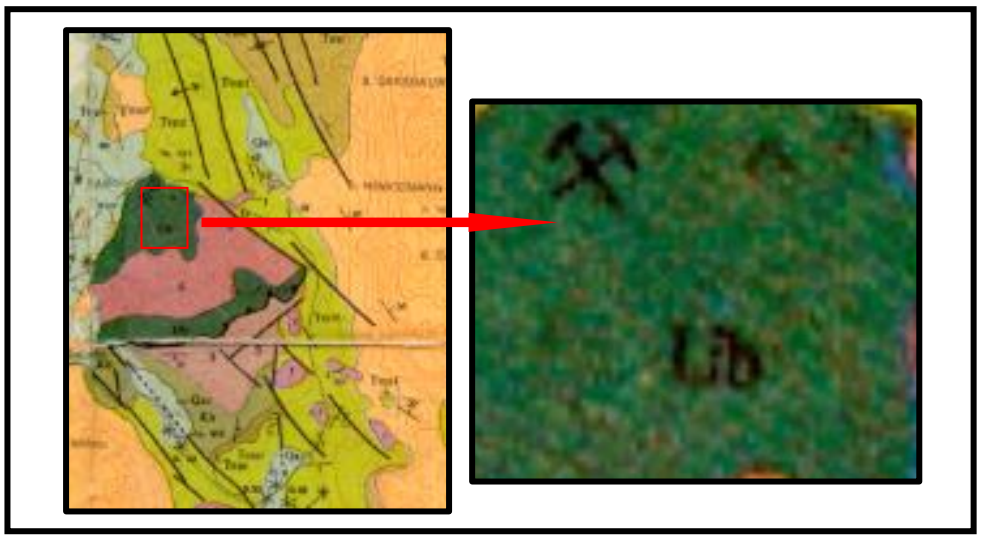
Stratigrafi daerah penelitian termasuk pada Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone bagian Barat (Sukamto, 1982), yaitu sebagai beikut :

s: Batuan Malihan; sebagian besar sekis dan sedikit genes; secara megaskopis terlihat mineral di antaranya glaukopan, garnet, epidot, muskovit, dan klorit; di bawah mikroskop mengenali sekis glaukopan, eklogit, sekis garnet, sekis amfibol, sekis klorit, sekis muskovit, sekis muskovit-tremoilit-aktinolit, sekis muskovit-aktinolit, genes albit-ortoklas, dan genes kuarsa-feldspar; eklogit tidak ditemukan berupa singkapan, melainkan berupa sejumlah bongkah besar di daerah batuan malihan; sekisnya mengandung grafit; berwarna kelabu, hijau, coklat dan biru. Batuan malihan ini umumnya tersebar miring ke arah Timurlaut, sebagian terbreksikan, dan tersesarkan naik ke arah Baratdaya. Satuan ini tebalnya tidak kurang dari 2000 m dan bersentuhan sesar dengan satuan batuan di sekitarnya. Penarikan Kalium/Argon pada sekis di Timur Bantimala menghasilkan umur 111 juta tahun (J.D. Obradovich, 1974 dalam Sukamto, 1982).

Ub: Batuan Ultrabasa; peridotit, serbagian besar terserpentinitkan, berwarna hijau tua sampai kehitaman, kebanyakan terbreksikan dan tergerus melalui sesar naik ke arah Baratdaya; pada bagian yang pejal terlihat struktur berlapis dan dibeberapa tempat mengandung lensa kromit; satuan ini tebalnya tidak kurang dari 2500 meter dan mempunyai sentuhan sesar dengan satuan batuan di sekitarnya.

m: komplek melange; batuan campur aduk secara tektonik terdiri dari grewake, breksi, kongomerat, batupasir; terkersikkan, serpih kelabu, serpih merah,

rijang radiolaria merah, batusabak, sekis, ultramafik, basal, diorit, dan lempung; himpunan batuan ini mendaun, kebanyakan miring ke arah Timurlaut dan tersesarkan naik ke arah Baratdaya; satuan ini tebalnya tidak kurang dari 1750 m dan mempunyai sentuhan sesar dengan satuan batuan di sekitarnya.

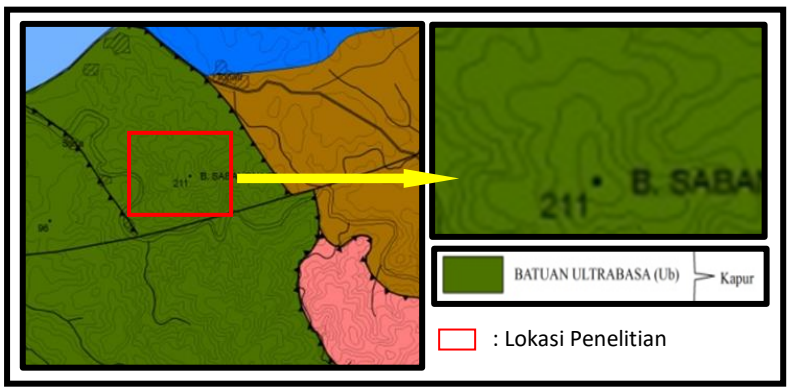


Gambar 2.1 Lokasi penelitian pada Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat (Sukamto, 1982).

Pada peta regional yaitu peta geologi daerah Lasitae Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan daerah penelitian berada di bagian utara peta yaitu tepatnya di Bulu Sabangnairi. Berdasakan pada peta regional maka daerah penelitian tersusun oleh satuan ultrabasa yang berumur Kapur, dimana satuan ultrabasa terdiri dari batuan peridotit yang terserpentinisasi.

Batuan peridotit tersingkap luas di daerah pegunungan Lasitae, Bulu Palakka dan Sabangnaeri. Kenampakan fisik memperlihatkan tekstur tektonit berupa kesan deformasi, kekar-kekar, pelicinan (pseudofoliasi), penggerusan/ breksiasi, struktur flaser, bodin, kloritisasi, serpentinisasi, silisifikasi dan

mineralisasi sulfida. Pada sekitar kontak intrusi dasit porfiri terjadi ubahan kuat dan pengisian urat-urat kuarsa pada retakan-retakan batuan. Batuan peridotit termasuk dalam kompleks batuan mélange ofiolitik dan provenance dari pada batuan olistostrome di daerah ini. Arah penjajaran fragmen struktur flaser dan boudin pada batuan peridotit di daerah Sabangnaeri sekitar utara – selatan (N12^{o}E), ± 35^{o} arah gaya pembentukannya (47^{o}E). Sedang di daerah Palakka sekitar 60^{o}E sekitar baratdaya – timurlaut. Pengamatan petrografi pada sayatan tipis menunjukkan tekstur asal sulit dikenali karena sebagian besar telah terserpentinisasi atau teralterasi oleh pengaruh tektonik dan intrusi batuan beku. Sayatan no A02/UMC dan ST 06/SPLK tersusun oleh mineral – mineral piroksin (10 – 15%), serpentin (50 – 70%), klorit (10 – 30%), kalsit (5 – 6%) dan spinel (4 – 7%). Nama batuan **Peridotite terserpentinisasi** (Travis, 1955) (Kaharuddin, 2014)



Gambar 2.2 Lokasi penelitian pada Peta Geologi daerah Lasitae Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan (Sumber: Kaharuddin, 2014)

2.2 Magma

Magma adalah cairan atau larutan silikat pijar yang terbentuk secara alamiah, bersifat mudah bergerak (mobile), bersuhu antara 900 – 1.000^0 C dan berasal atau terbentuk pada kerak bumi bagian bawah hingga selubung bagian atas (Alzwar, dkk., 1988).

Definisi magma tersebut menggambarkan adanya sifat fisik magma dan sifat kimia magma. Sifat fisik magma berhubungan dengan magma sebagai bahan cair kental pijar, mengandung gas, dan bersuhu tinggi, oleh sebab itu magma mudah bergerak dan arah pergerakannya mempunyai kecendrungan menuju arah permukaan bumi membentuk gunung api. Jika magma terbentuk jauh didalam permukaan bumi (*deep seated intrusion*) maka membentuk batuan beku dalam atau batuan plutonik, sedangkan magma yang terbentuk didekat permukaan (sub volcanic intrusion; shallow magma intrusions and hypabyssal intrusions) atau di dalam tubuh gunung api sampai membeku di permukaan bumi mebentuk batuan intrusi dangkal atau batuan gunung api.

Wilson (1989) menjelaskan bahwa lingkungan tatanan tektonik pembentuk magma meliputi tepi lempeng konstruktif, tepi lempeng destruktif, tatanan bagian tengah lempeng samudra dan tatanan bagian tengah lempeng benua (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Ciri-ciri seri magma yang berasosiasi dengan tatanan tektonik khusus (Wilson 1989).

Tatanan Tektonik	
Tepi Lempeng	Dalam Lempeng

Konvergen (Destruktif)	Divergen (Konstruktif)	Bagian tengah lempeng Samudera	Bagain tengah lempeng benua
Roman Muka Gunung Api			
Bususr kepulauan, tepi benua aktif	Pegunungan tengah samudera,pusat pemekaran belakang busur	Kepulauan samudera	Jalur regangan benua, provinsi banjir-basal benua
Ciri-ciri Seri Magma			
Tholeit	Tholeit	Tholeit	Tholeit
Kapur Alkali	-	-	-
Alkali	-	Alkali	Alkali
Kisaran SiO2			
Basal dan lebih Asam	Basal	Basal dan lebih Asam	Basal dan lebih asam

2.2.1 Evolusi Magma

Pembentukan magma sebenarnya adalah suatu proses yang sangat rumit. Proses proses ini berlangsung tahap demi tahap yang kemudian membentuk sebuah rangkaian khusus yang meliputi proses pemisahan atau *differentiation*, pencampuran atau *assimilation*, dan anateksis atau peleburan batuan pada kedalaman yang sangat besar. Sementara itu, faktor atau hal-hal yang selanjutnya akan menentukan komposisi suatu magma adalah bahan-bahan yang meleleh, derajat fraksinasi, dan jumlah material-material pengotor dalam magma oleh batuan samping (*parent rock)*

Magma pada perjalanannya dapat mengalami perubahan atau disebut dengan evolusi magma. Proses perubahan ini menyebabkan magma berubah menjadi magma yang bersifat lain oleh proses-proses sebagai berikut :

- Hibridasi yaitu proses pembentukan magma baru karena pencampuran 2 magma yang berlainan jenis.
- Sintetis yaitu pembentukan magma baru karena adanya proses asimmilasi dengan batuan samping.
- Anateksis yaitu proses pembentukan magma dari peleburan batu-batuan pada kedalaman yang sangat besar.
- Dan dari proses-proses diatas, magma akan berubah sifatnya, dari yang awalnya bersifat homogen pada akhirnya akan menjadi suatu tubuh batuan beku yang bervariasi melalui proses diferensiasi magma.

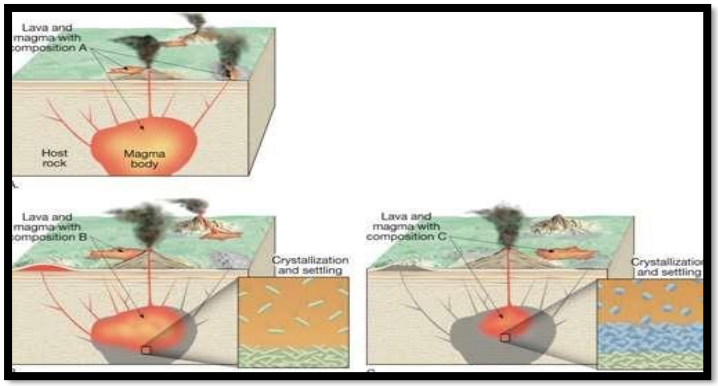
2.2.2 Diferensiasi magma

Diferensiasi magma adalah suatu tahapan pemisahan atau pengelompokan magma dimana material-material yang memiliki kesamaan sifat fisika maupun kimia akan mengelompok dan membentuk suatu kumpulan mineral tersendiri yang nantinya akan mengubah komposisi magma sesuai penggolongannya berdasarkan kandungan magma. Proses ini dipengaruhi banyak hal. Tekanan, suhu, kandungan gas serta komposisi kimia magma itu sendiri dan kehadiran pencampuran magma lain atau batuan lain juga mempengaruhi proses diferensiasi magma ini. Secara umum, proses diferensiasi magma terbagi menjad:

1. Fraksinasi *(Fractional Crystallization),* proses ini merupakan suatu proses

pemisahan kristal-kristal dari larutan magma karena proses kristalisasi berjalan tidak seimbang atau kristal-kristal tersebut pada saat pendinginan tidak dapat mengubah perkembangan. Komposisi larutan magma yang baru ini terjadi sebagai akibat dari adanya perubahan temperatur dan tekanan yang mencolok serta tiba-tiba.

2. *Crystal Settling / Gravitational Settling***,** proses ini meliputi pengendapan kristal oleh gravitasi dari kristal-kristal berat yang mengandung unsur Ca, Mg, Fe yang akan memperluas magma pada bagian dasar *magma chamber*. Disini, mineral-mineral silikat berat akan berada di bawah. Dan akibat dari pengendapan ini, akan terbentuk suatu lapisan magma yang nantinya akan menjadi tekstur kumulat atau tekstur berlapis pada batuan beku.



Gambar 2.3 Proses diferensiasi magma *Crystallization and settling* (Pearson Prentice Hall, Inc. 2005)

3. *Liquid Immisbility,* larutan magma yang memiliki suhu rendah akan pecah menjadi larutan yang masing- masing akan membentuk suatu bahan yang heterogen.
4. *Crystal Flotation,* pengembangan kristal ringan dari sodium dan potassium akan

naik ke bagian atas magma karena memiliki densitas yang lebih rendah dari larutan kemudian akan mengambang dan membentuk lapisan pada bagian atas magma.

5. *Vesiculation,* proses dimana magma yang pmengandung komponen seperti CO_2, SO_2, S_2, Cl_2, dan H_2O sewaktu-waktu naik ke permukaan sebagai gelembung-gelembung gas dan membawa komponen-komponen sodium (Na) dan potassium (K).
6. Asimilasi magma, proses ini dapat terjadi pada saat terdapat material asing dalam tubuh magma seperti adanya batuan disekitar magma yang kemudian bercampur, meleleh dan bereaksi dengan magma induk dan kemudian akan mengubah komposisi magma.

2.2.3 Komposisi Magma

Secara umum batuan beku disusun oleh enam kelompok mineral seperti olivin, piroksen, amfibol, mika, feldspar dan kuarsa. Kita ketahui bahwa batuan beku merupakan hasil pembekuan langsung magma baik didalam bumi maupun diatas permukaan bumi, jadi komposisi magma dapat diketahui dari studi batuan beku. Contoh magma dipermukaan bumi adalah lava. Unsur-unsur yang terkandung didalam mineral-mineral penyusun batuan beku adalah Si (silikon), Al (Aluminium), Ca (Kalsium), Na (Sodium), K (Potasium), Fe (Besi), Mg (Magnesium), H (Hidrogen), O (Oksigen), unsur-unsur ini sering dijumpai dalam ion oksida sebagai SiO_2, Al_2O_3, dan unsur-unsur yang ada dalam periode 3.Oleh sebab itu unsur-unsur ini merupakan unsur-unsur terpenting didalam magma

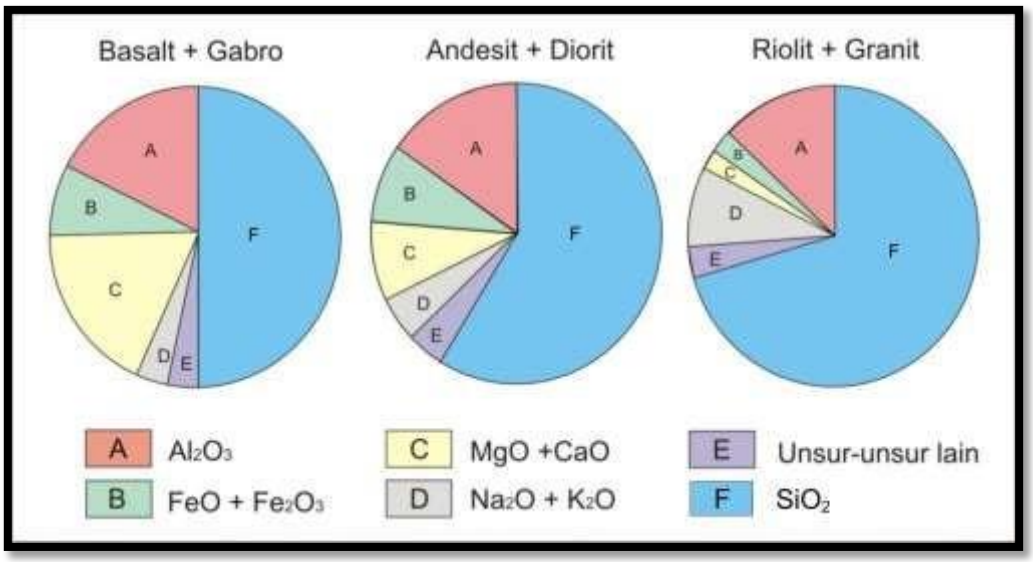
sehingga unsur ini sering dipakai para ahli sebagai komponen pembanding untuk klasifikasi batuan.

Secara mendasar komposisi kimia dan mineralogi daerah sumber memperlihatkan proses-proses penting yang mengedalikan komposisi batuan beku. Komposisi unsur-unsur utama dan jejak ditentukan oleh proses peleburan dan derajat *partial melting*, walaupun komposisi peleburan dapat berubah dalam jumlah besar selama menuju permukaan bumi (Rollinson, 1993).

Flint (1977) menjelaskan bahwa komposisi magma hasil analisis kimia memnjukkan kisaran 45% berat dan sampai 75% berat SiO2. Hanya sedikit lava yang komposisi SiO_2 mencapai serendah 30% berat dan setinggi 80% berat, tetapi variasu ini terbentuk apabila magma terasimilasi oleh fragmen batuan sedimen dan batuan malihan atau ketika diferensiasi magma sehingga menyebabkan komposisi magma berubah. Berdasarkan analisis kimia tersebut diperoleh tiga jenis magma (Gambar 2.2) yaitu:

- Magma mengandung sekitar 50% SiO_2 membentuk batuan beku basal, diabas dan gabro.
- Magma mengandung sekitar 60% SiO_2 membentuk batuan beku andesit dan diorit
- Magma mengandung sekitar 70% SiO_2 membentuk batuan beku riolit dan granit.

Selain komposisi senyawa SiO_2, pada gambar juga memperlihatkan bahwa batuan beku basal/gabro didominasi oleh mineral yang berkomposisi Al_2O_3, FeO, MgO, dan CaO, sedangkan batuan riolit/granit didominasi oleh mineral yang mempunyai komposisi Al_2O_3, Na_2O_3, dan K_2O.



Gambar 2.4 Kisaran komposisi (persen berat) jenis batuan beku dan dibedakan menjadi tiga kelompok utama jenis magma yang ada dibumi (Flint, 1977).

2.3 Batuan Granitoid

Granitik merupakan sebuah kata sifat yang berarti mempunyai "ciri-ciri atau "sifat" seperti granit tetapi belum tentu menunjukkan batuan granit. Sedangkan granitoid akan digunakan jika keduanya merupakan kata sifat dan benda yang umumnya menunjukkan semua jenis atau kelompok dari batuan beku plutonik berkomposisi asam yakni yang berasal dari alkali feldspar granit hingga Tonalit (Clarke,1992).

Batuan granitoid berdasarkan komposisi mineralnya dikelompokkan menjadi lima kelompok utama yaitu tonalit, granodiorit, granit dan alkali granit.

Tonalit merupakan batuan granitoid yang tersusun oleh mineral Naplagioklas, kuarsa dan sedikit hidrous mineral. Granodiorit merupakan batuan granitoid yang kaya akan kuarsa, Na- plagioklas, dan K-Feldspar. Granit merupakan batuan granitoid yang mengandung mineral utama kuarsa dan K-Felsdspar. Alkali granit merupakan batuan granitoid yang tersusun oleh mineral utama kuarsa, dan K-Feldspar namun mengandung alkali piroksin atau alkali amfibol (Gill, 2010 dalam Kurniawan, 2014).

Batuan granitoid merupakan batuan yang sangat istimewa karena keberadaannya berasosiasi dengan keterdapatan mineral bijih yang bernilai ekonomis. Batuan granitoid di Indonesia tersebar secara luas dari Sumatra hingga Papua namun studi untuk inventarisasi batuan granitoid di Indonesia belum banyak dilakukan. Studi tentang batuan granitoid di Indonesia sebelumnya pernah dilakukan oleh Bemmelen (1949), Hutchison (1989, 2012), Cobbing (2005), danSetijadji (2011). (Kurniawan, 2014)

2.3.1 Mineralogi dan Tekstur Batuan Granitoid

Kriteria tekstur dapat menentukan urutan kristalisasi batuan beku meliputi ukuran butir, bentuk butir, hubungan inklusi, *intergrowth* (saling tumbuh). (Flood dan Vernon,1988 dalam Clarke,1992) dalam kriteria tersebut menunjukkan bahwa tidak ada kebenaran pasti untuk interpretasi genetik. Bahkan beberapa kriteria yang lebih umum digunakan, terutama yang melibatkan ukuran dan bentuk mineral, dan hubungan inklusi, memiliki interpretasi tersendiri, antara lain:

- Ukuran mineral yang halus menunjukkan laju kristalisasi yang cepat,

ukuran mineral kasar menunjukkan tingkat kristalisasi lambat, tetapi ukuran mineral relatif dalam suatu batuan dan tidak tentu dalam urutan kristalisasi (misalnya mineral yang besar belum tentu lebih awal terbentuk);

- Kristalisasi tahap awal, dengan konsentrasi Si yang rendah mungkin lebih euhedral daripada konsentrasi Si yang tinggi, tetapi bentuk mineral akhir sangat tergantung pada tahap akhir pembentukan dengan mineral lainnya;
- Saling tumbuh (*intergrowth*) adalah dua atau lebih mineral menunjukkan pertumbuhan yang sama, *granophyre* misalnya reaksi antara padat dan cair (misalnya *corona* epidot pada hornblende), atau *unmixing solid* (misalnya *perthite*);

Mineral adalah dasar dari suatu batuan kristalin dan mempunyai ciri-ciri tersendiri dan pembawa informasi *petrogenetic*. Dalam batuan granitoid, mineral dapat memberikan informasi, tidak hanya tentang proses magmatik dan setelah magmatik, tetapi juga berpotensi memberikan informasi sumbernya secara umum (Clarke,1992).

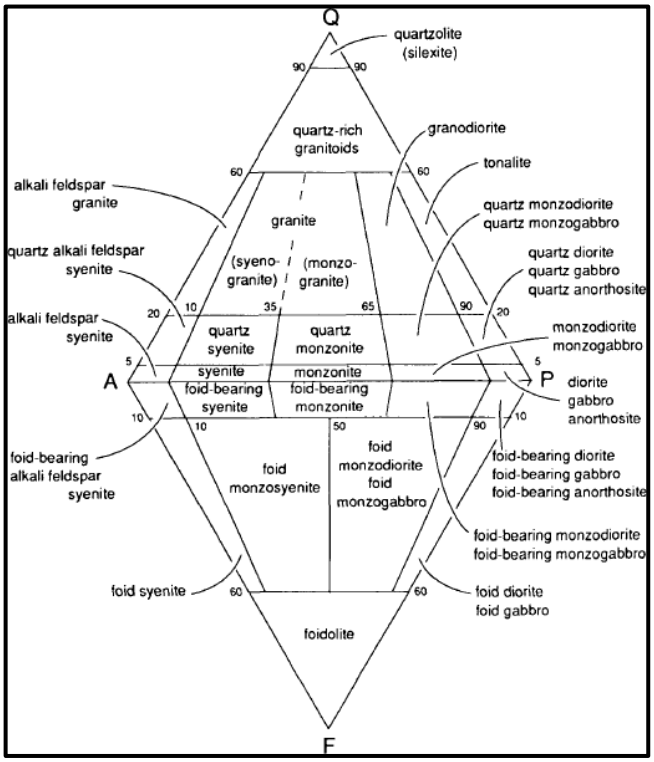
Dalam hal ini, mineral tumbuh dari suatu hasil pendinginan magma yang berupaya untuk mencapai keseimbangan suhu, tekanan dan komposisinya. Karena kinetika reaksi dari hal tersebut, beberapa mineral akan melakukan keseimbangan fisik dan kimia yang lebih mudah daripada yang lain, tetapi keseimbangan yang sempurna hanya mungkin sulit tercapai. Dari suatu penelitian dari komposisi mineral, tekstur, dan komposisi kimia. Kita dapat menilai sejauh mana kesetimbangan tercapai (Clarke,1992).

2.3.2 Klasifikasi Batuan Granitoid

2.3.2.1 Klasifikasi Batuan Granitoid Berdasarkan Komposisi Mineral

Batuan granitik berdasarkan komposisi mineralnya dikelompokkan menjadi lima kelompok utama yaitu tonalit, granodiorit, granit dan alkali granit. Tonalit merupakan batuan granitoid yang tersusun oleh mineral Naplagioklas, kuarsa dan sedikit hidrous mineral. Granodiorit merupakan batuan granitoid yang kaya akan kuarsa, Na- plagioklas, dan K-Feldspar. (Gill, 2010 dalam Kurniawan, 2014).

Gambar 2.5 Klasifikasi Batuan Beku (Streckeisen 1991).



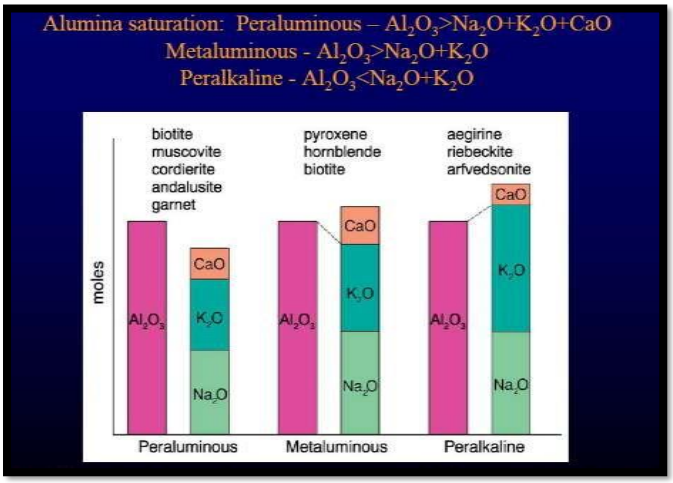
2.3.2.2 Klasifikasi Batuan Granitoid Berdasarkan Komposisi Kimia

Untuk klasifikasi batuan granitoid berdasarkan komposisi kimia kita dapat menggunakan unsur utama ataupun unsur minor dari suatu batuan, klasifikasi kimia menggunakan konsep alumina jenuh berdasarkan perbandingan rasio A/CNK

(Al2O3[molar/(CaO + Na2O + K2O)]) dapat disusun dari yang terbesar hingga yang paling rendah pada batuan beku.

Pada sistem ini, jenis batuan granit antara lain; peraluminous (A/CNK> 1), metaluminous (A/CNK <1), dan peralkaline (A<NK) menunjukkan nilai dari komposisi kimia rata-rata dari beberapa jenis batuan granitoid antara lain: peraluminous, metaluminous dan peralkaline (Chayes, 1985 dalam Clarke, 1992).

Untuk klasifikasi berdasarkan komposisi kimia harus berdasarkan atas unsur *mayor*/unsur utama dan unsur minor, klasifikasi kimia menggunakan konsep alumina-jenuh di mana perbandingan rasio A / CNK (Al_2O_3 [molar / ($CaO+ Na_2O + K_2O$)]). Pada sistem ini, jenis batuan granitoid antara lain; *peraluminous* (A / CNK> 1), *metaluminous* (A / CNK <1), dan *peralkaline* (A<NK).



Gambar 2.6 Jenis-jenis batuan granit berdasarkan kandungan Alumina saturation yaitu A = mol Al2O3; C = mol CaO; N = mol Na2O, K = mol K2O; CNK = C + N + K; NK = K + N,(Clarke,1992).

Klasifikasi batuan granitoid melihat komposisi kimia antara lain, A = mol Al_2O_3; C = mol CaO; N = mol Na_2O, K = mol K_2O; CNK = C + N + K; NK = K + N (Pitcher,1983 dan Anderson,1988 dalam Clarke,1992)

Pembagian jenis granitoid yang lazim digunakan yaitu berdasarkan karakteristik dan genesis granit (Chappell dan White 1974; Chappell dan Stephes, 1988 dalam Winter 2001) yang disebut alphabet yaitu (I-S-A-M) diantaranya :

1. Granitoid I-tipe memiliki A/CNK <1.1, 87Sr/86 Sri <0,705 dan 18O> 190/00, menyiratkan batuan berasal dari magma yang bersifat basa dengan komposisi antara derivasi infracrustal.
2. Granitoid S-jenis memiliki A/CNK> 1,187Sr/86 Sri> 0,707, dan 18O> 90/00, menyiratkan sumber batuan sedimen atau supracrustal protoliths.
3. Granitoid M-tipe memiliki A/CNK <1,0 87Sr/86Sri <0,705, dan 18O <90/00, menyiratkan batuan sumbersubduksi kerak samudera, diluar proses kristalisasi fraksional.
4. Granitoid tipe-A memiliki range A/CNK> 1,0 87Sr/86Sri dan 18O, sebanding dengan yang di I, S dan M-jenis, selain mereka memiliki CaO rendah, tinggi Fe / Mg, Ta tinggi, Nb, Zr, REE dan F, dan anorgenic (cratons stabil dan zona keretakan) dalam pengaturan tektonik (loiselle dan wones 1979; Collins dkk, 1982; Cleaser dkk, 1991 dalam winter 2001).

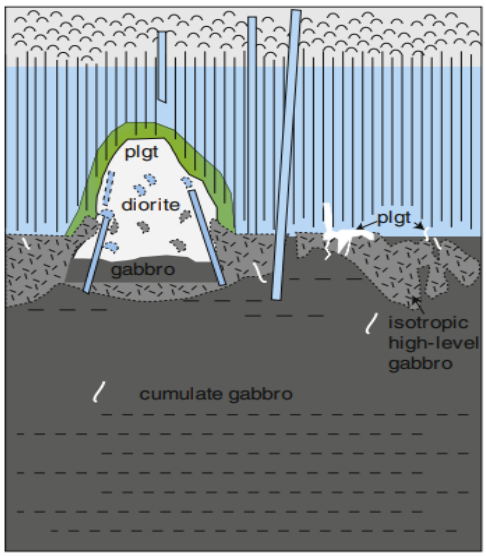
Tabel 2.2 Klasifikasi batuan granitoid secara petrografi dan geokimia (Christiansen dkk, 1996 dalam Ronaldo 2015)

Parameter Kimia dan Mineral	**Tipe-S**	**Tipe-I**	**Tipe-A Alkalin**	**Tipe-A Subalkalin**	**Tipe-M**
Mineralogi Utama	Garnet, Muskovit, Kordierit	Amfibol, Biotit, Piroksen	Amfibol alkali, Piroksen alkali	Fe-Piroksen, Amfibol, Biotit	K-feldspar jarang
Mineralogi Asesoris	Monazit, Topas, Senotim	Titanit, Epidot, Alamit		Alamit, Topas	
K_2O/Na_2O	Sangat-tinggi	Sedang	Sedang	Sedang	Sangat rendah
Al/(Ca+Na+K)	~1	~1	<1	<1,>1	~1
(Na+K)/Al	<1	<1	>1,>1	<1	<1
Rh/Nb	Sangat tinggi	Tinggi	Sedang	Sedang-tinggi	Sangat rendah
Y+Nb	Rendah-sedang	Rendah	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Y/Nb	Tinggi	Sedang	Rendah	Sedang-tinggi	Sangat tinggi
Ga/Al	Rendah	Rendah	Tinggi	Tinggi	Rendah
REE	Rendah	Rendah-tinggi	Tinggi	Sedang	Tinggi
HFSE	Rendah	Rendah	Tinggi	Sedang	Tinggi
fO_2	Rendah	Tinggi	Rendah	Bervariasi	Rendah
	<QFM	>QFM+2	<QFM	Bervariasi	<QFM
fH_2O	Tinggi	Tinggi	Rendah	Bervariasi	Rendah

*f*HF/HCl	Sedang-tinggi	Rendah	Rendah	Tinggi	Tinggi
$\delta^{18}O$	10-13	6-10	6	6-10	6
$^{87}Sr/^{86}Sr$	0,706-0,730	0,704-0,710	0,704-0,706	0,706-0,712	0,704
εNd	-5 s/d 20	3 s/d -10	0 s/d 6	-5 s/d 15	3 s/d 8
Tipe Posisi Tektonik *(Typical tectonic setting)*	Subduction-Collision	Subduction	Plumes, Rifting, Within Plate Granite	Anorogenic, Post-Orogenic, Rifting	Ocean Ridge
Endapan Bijih *(Ore deposit)*	SN, W, Ta, Be, Li	Cu, Pb, Zn, Mo, W, Ag, Au, Fe	Zr, Nb, REE, U, Hg	Be, Sn, Mo, F	-
Ishihara seri magnetit & ilmenit	Umumnya seri ilmenit	Umumnya seri magnetit	-	-	-

2.4 Plagiogranit

Sebagian besar ofiolit yang ada di dunia terdapat tubuh intrusi kecil di dalamnya yang berupa batuan felsic. Biasanya intrusi ini dijumpai dalam bentuk dike yang kemudian disebut dengan plagiogranit atau tonalit (Kim, 1996). Menurut Coleman and Peterman (1975) bahwa plagiogranit terbentuk dari proses kristalisasi fraksional dari basalt tholeiitik, yaitu proses diferensiasi magmatik yang menyertai kegagalan pembentukan awal kristal untuk bereaksi terhadap lelehan yang tersisa. Spulber dan Rutherford (1979) menyatakan bahwa plagiogranit terbentuk sebagai hasil dari proses *liquid immiscibility*. Sedangkan menurut Gerlack et al. (1981) bahwa plagiogranit terbentuk pada proses *partial melting* pada batuan mafik dibawah kondisi *water-rich*, dimana proses ini biasanya berlangsung di zona subduksi, mid-oceanic ridge, dan hotspot.



Gambar 2.7 Penampang melintang kerak samudera yang menunjukkan intrusi plagiogranit zona transisi dike-gabbro dari ofiolit (dimodifikasi dari Stakes and Taylor, 2003)

Sebagai contoh pada kompleks ofiolit Nidar, India, tersusun oleh batuan serpentin dan batuan ultrabasa bersama dengan gabro, aliran lava serta intrusi dalam bentuk dike (Rameshwar, 2004)

Gambar 2.8 Foto yang menunjukkan hubungan antara plagiogranit dengan gabro, yang terdapat pada Nidar ophiolitic, Ladakh timur, India.

2.4.1 Petrografi dan Geokimia Plagiogranit

Plagiogranit merupakan istilah yang biasa digunakan oleh ahli petrologi Rusia untuk batuan beku yang memiliki kandungan kalium rendah. Batuan beku tersebut termasuk batuan yang terdiri dari *quartz diorite* sampai *trondhjemite.* Plagiogranit Kruschov, dijelaskan pada tahun 1913, memiliki komposisi rata-rata 56% plagioklas, 27% kuarsa, 12% biotit, dan 5% amphibol (Robert and Julia, 1980).

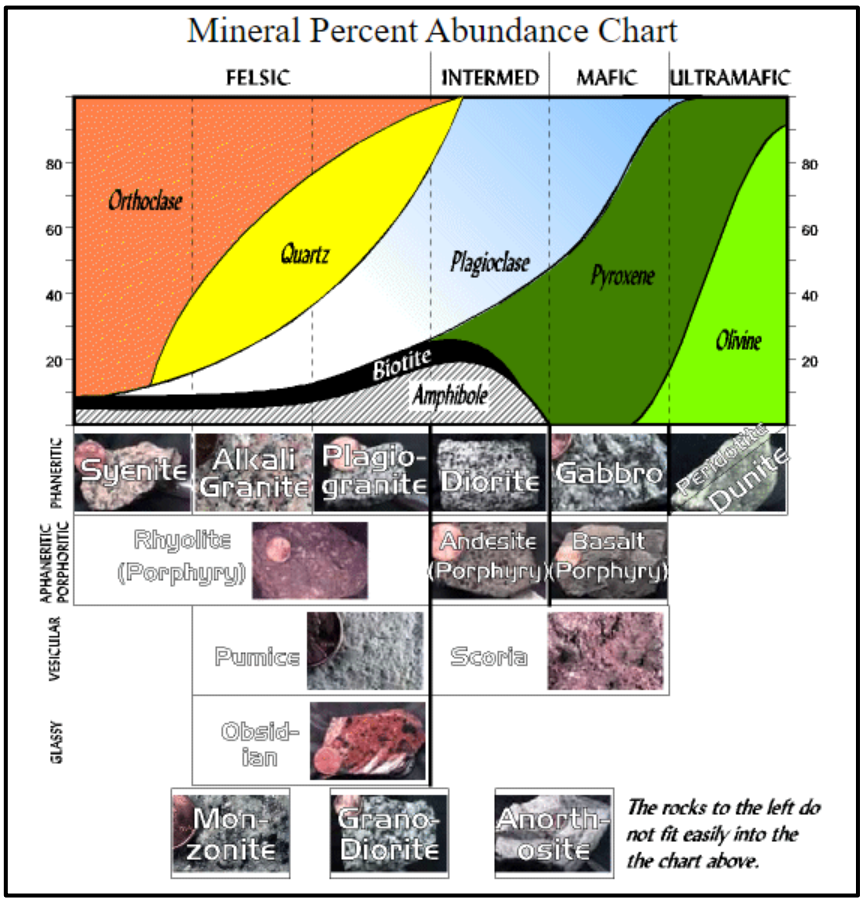
Plagiogranit terutama terdiri dari kuarsa dan plagioklas dengan hanya sejumlah kecil mineral ferromagnesian. Silika tinggi, alumina sedang, besi-magnesium rendah, dan kalium sangat rendah mencirikan oceanic plagiogranit dan membedakannya dari granodiorit kontinen yang dikembangkan dari batuan mafik yang berbeda (Coleman, 1979).

Plagiogranit merupakan batuan beku felsik biasanya berwarna terang (sedikit mineral mafik) dengan Sodium Plagioklas mineral yang paling jelas, tetapi mineral kuarsa hadir dengan jumlah persentase > 20% sebagai mineral penting (mineral primer). Kehadiran mineral ortoklas bisa saja dijumpai pada batuan plagiogranit, namun persentasenya selalu kurang dari plagioklas. (Lynn, 2000).

Secara megaskopis batuan ini sekilas tampak mirip dengan monzonit. Namun jumlah persentase kehadiran mineral kuarsa menjadi penentunya, dimana apabila mineral kuarsa < 20% maka batuannya adalah "kuarsa monzonit". Namun perlu juga diperhatikan mineral mafiknya, jika melebihi 5-10% maka batu tersebut adalah diorit. Secara umum batuan plagiogranit mengandung mineral kuarsa > 20%, plagioklas hadir dalam jumlah yang melimpah sedangkan orthoklas sangat

jarang dijumpai. Nama umum lain untuk Plagiogranit adalah tonalite. Adapun mineral mafik hadir dalam jumlah persentase < 10% (Lynn, 2000).

Pada batuan plagiogranit, mineral plagioklas biasanya hadir dalam bentuk kembaran albit, bertekstur granopirik atau sebagai fenokris besar pada batuan (Kerim, dkk, Berikut adalah grafik persentase kelimpahan mineral pada jenis batuan beku:



Gambar 2.9 Diagram persentase mineral pada batuan beku

Sementara itu plagiogranit yang ada di bagian lereng utara Bulu Sabangnairi berupa dike pada tubuh ofiolit dengan tekstur kasar (1 – 4 cm) komposisi plagioklas 75%, kuarsa 20% dan hornblende 5%. Plagiogranit ini telah mengalami metamorfisme rendah dan teralterasi, tekstur kasar, kristal ± 3 cm, berwarna putih abu-abu kebiruan (Kaharuddin, 2017).

2.4.2 Lingkungan Tektonik Plagiogranit

Interpretasi awal dari plagiogranit dianggap sebagai hasil dari kristalisasi fraksinasi magma basaltik pada tekanan rendah, termasuk yang terdapat di ofiolit Oman dan Troodos (Grimes, 2013). Beberapa penelitian ulang pada intrusi plagiogranit yang sama menghasilkan kesimpulan bahwa peleburan sebagian (*partial melting)* dari kerak akibat proses hidrotermal merupakan proses penting bagaimana plagiogranit terbentuk, berdasarkan studi di lapangan, pemodelan geokimia REE, dan perbandingan kandungan SiO^2 (Grimes, 2013).

Flagler dan Spray (1991) pertama kali mengusulkan asal dari plagiogranit yaitu berasal dari peleburan sebagian dari gabro, berkaitan dengan tatanan tektonik suhu tinggi disertai dengan masuknya cairan hidrotermal jauh ke dalam kerak. Baru-baru ini penelitian menunjukkan bahwa syarat yang dibutuhkan dalam proses pembentukannya melibatkan proses pemanasan kembali kerak yang terhidrasi pada suhu lebih sari 850^o C (Grimes, 2013).

Plagiogranit dijumpai pada mid-oceanic ridge (MOR) dan pada tubuh ofiolit, meskipun intrusi skala besar saat ini hanya dijumpai pada ofiolit. Contohnya pada ofiolit Oman dijumpai tubuh intrusi plagiogranit dalam bentuk dike yang berukuran centimeter sampai kilometer (Lippard, 1986).

Lingkungan tektonik plagiogranit kemudian dikorelasikan dengan lingkungan tektonik menurut Wilson (1989), yaitu pada *Constructive Plate Margin* yang merupakan tatanan tektonik yang terletak pada zona divergen yaitu zona antara dua lempeng atau lebih yang saling menjauh sehingga magma dapat terbentuk pada dua daerah yakni pematang tengah samudera (*Mid Oceanic Ridge*) dan *Back Arc Basin.*

a. Pematang tengah samudera (*Mid Oceanic Ridge*) merupakan daerah dimana dua lempeng samudera yang saling menjauhi, magma pada tektonik ini berasal dari pelelehan sebagian mantel bagian atas karena adanya pelepasan tekanan oleh batuan induk karena proses divergen. Batuan yang terbentuk pada tatanan ini tektonik ini bersifat mafik-ultramafik seperti peridotit, basal, atau gabro, batuan beku bertekstur lava bantal dan kekar tiang.
b. *Back Arc Basin* merupakan tatanan tektonik yang terbentuk dibelakang busur kepulauan, hal ini dapat terjadi akibat adanya *rifting* dibelakang zona penunjaman selama proses subduksi berlangsung sehingga terbentuklah cekungan. Magma yang dihasilkan pada zona ini bersifat basa seperti batuan beku basal.

Selain pada *Constructive Plate* kemungkinan dijumpainya plagiogranit bisa berada pada *Within plate* yaitu lingkungan tektonik pada daerah pertengahan yaitu *intra–continental* dan *intra–oceanic*.

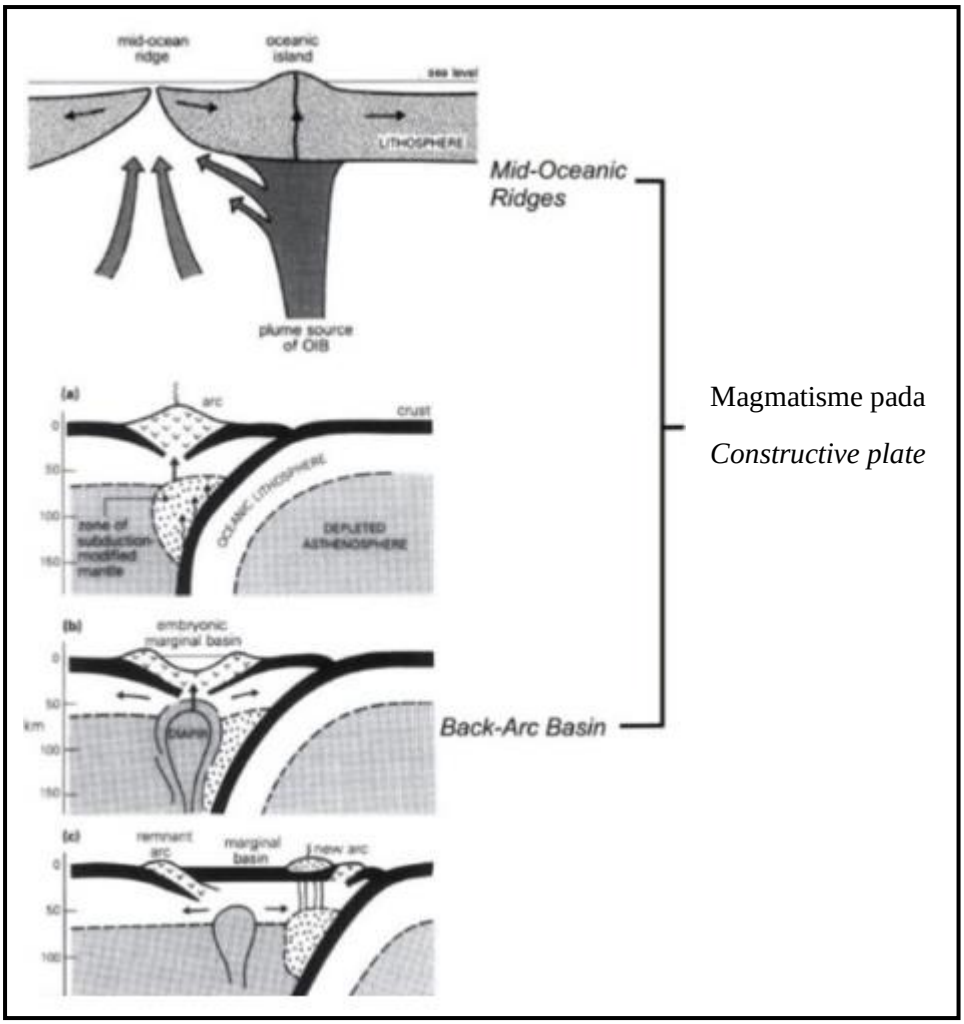
a. *Continental Intra-plate Margin* merupakan tatanan tektonik yang terbentuk di tengah lempeng benua. Magmatisme dapat terbentuk di dua tempat yaitu *Continental Flood Basalt Province* yakni hasil dari erupsi besar-besaran

gunungapi yang menyebabkan terjadinya pelamparan lava basal di lantai samudera atau daratan, sebagai contoh yaitu batuan beku yang terdapat di Siberia dan Antartika berupa batuan beku basal dan *Continental Rift Zone* merupakan zona dimana dua kerak saling menjauh, magma berasal dari pelelehan sebagian kerak benua bagian atas atau bagian tengah sehingga magma bersifat asam-intermedit.

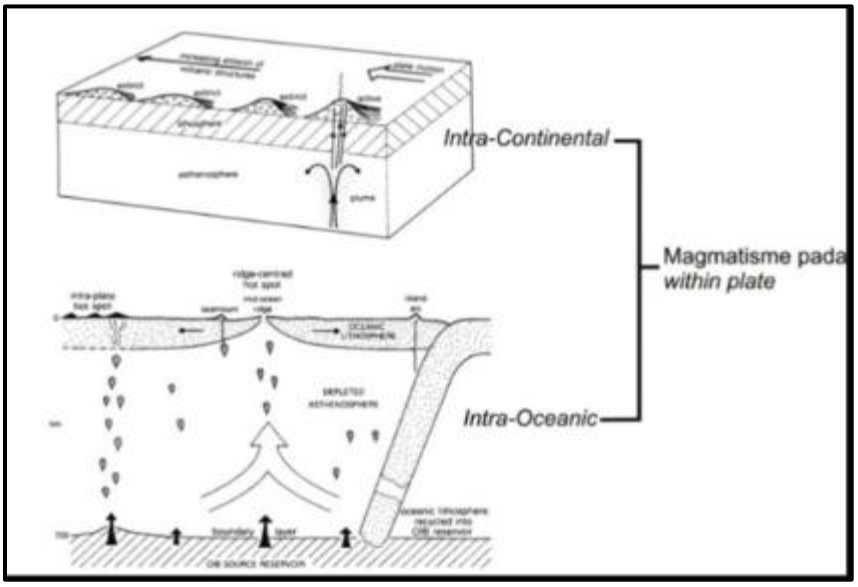
b. *Oceanic Intra-plate Margin* merupakan tatanan tektonik yang terbentuk di tengah-tengah lempeng samudera dan biasanya akan membentuk kepulauan gunungapi. Sumber magma berasal dari pelelehan sebagian mantel atas. Magma akan berkumpul di suatu tempat yang disebut *hostspot*. Magma tersebut dapat keluar kepermukaan bumi dan membentuk gunungapi, contohnya pada Kepulauan Hawaii dimana terdapat Gunungapai Mauna Kea hasil dari aktivitas *hotspot.* Pada zona ini terbentuk batuan beku volkanik yang bersifat mafik-ultramafik karena magma berasal dari diferensiasi lempeng samudera yang bersifat basa.

Indonesia, khususnya Pulau Sulawesi merupakan daerah kompleks tektonik dan vulkanisme masa lampau. Pulau ini tersusun oleh tiga mandala geologi yang didasari oleh litologi, struktur, dan sejarah pembentukannya yaitu Sulawesi bagian barat berupa batuan vulkanik, Sulawesi bagian timur berupa batuan metamorf dan ofiolit dan Banggai-Sula yang merupakan fragmen kontinen yang mempunyai karakter dan fenomena geologi yang berbeda (Sukamto, 1975) dan sekitar 70% daerahnya tertutupi oleh batuan vulkanik dari berbagai jenis dengan umur yang berbeda. Hal ini dapat memberikan pengetahuan bahwa Pulau Sulawesi

merupakan bentukan tiga lempeng mayor (Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia) yang saling berinteraksi menghasilkan berbagai fenomena geologi termasuk peristiwa letusan gunungapi (vulkanisme) dan batuan produknya.



Gambar 2.10 Tatanan tektonik batuan beku pada *constructive plate*. (Wilson, 1989)



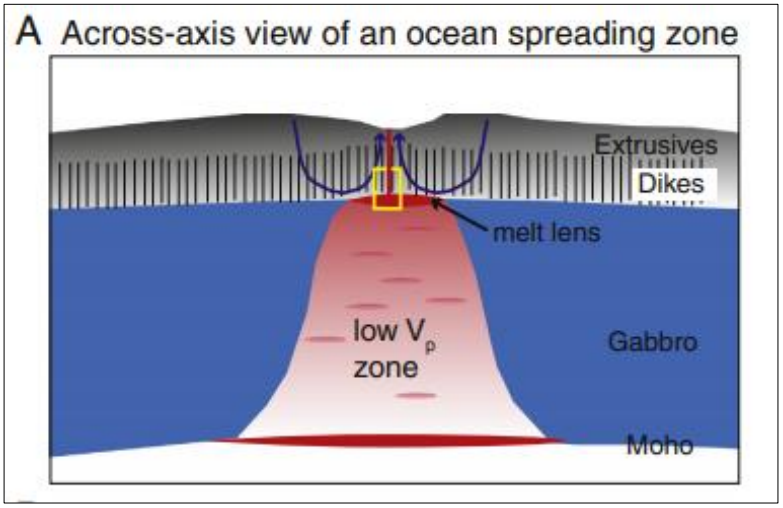
Gambar 2.11 Tatanan tektonik batuan beku pada within plate (Wilson, 1989)

Tabel 2.3 Klasifikasi lingkungan tektonik pada batuan granit. Pitcher 1983 & 1993 and Barbarrin (1990) dalam Winter 2001.

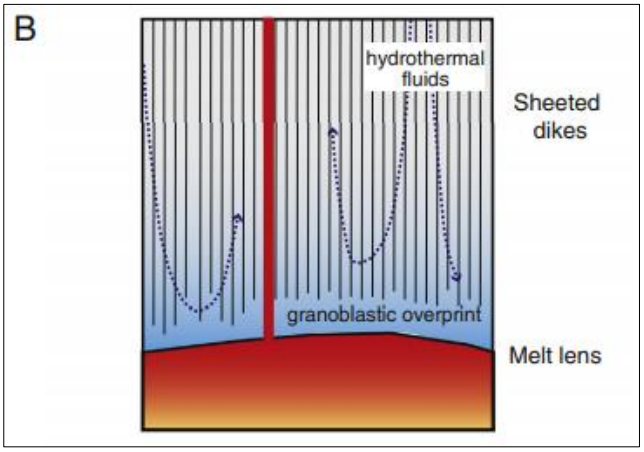
	OROGENIC			TRANSITIONAL	ANOROGENIC	
	Oceanic Island Arc	Continental Arc	Continental Collision	Post-Orogenic Uplift/Collapse	Contintntal Rifting, Hot Spot	Mid-Ocean Ridge, Ocean Islands
= granitoid magma; underplated mantle melts		mantle wedge melting	batch melting; local anatexis	decompression melting	hot spot plume; decompression melting	hot spot plume
Examples	Bougainville, Solomon Islands, Papua New Guinea	Mesozoic Cordilleran batholiths of west Americas Gander Terrane	Manaslu and Lhotse of Nepal, Amorican Massif of Brittany	Late Caledonian Plutons of Britain, Basin and Range, late Variscan, early Northern Proterozoic	Nigerian ring complexes, Oslo rift, British Tertiary Igneous Province, Yellowstone hotspot	Oman and Troodos ophiolites; Iceland, Ascension, and Reunion Island intrusives
Geo-chemistry	Calc-alkaline > thol. M-type & I-M hybrid Metaluminous	Calc-alkaline I-type > S-type Met-Al to sl. Per-Al	Calc-alkaline S-type Peraluminous	Calc-alkaline I-type S-type (A-type) Metalum. to Peralum	Alkaline A-type Peralkaline	Tholeiitic M-type Metaluminous
Rock types	qtz-diorite in mature arcs	tonalite & granodior. > granite or gabbro	migmatites & leucogranite	bimodal granodiorite + diroite-gabbro	Granite, syenite + diorite-gabbro.	Plagiogranite
Associated Minerals	Hbl > Bt	Hbl, Bt	Bt, Ms, Hbl, Grt, Als, Crd	Hbl > Bt	Hbl, Bt, aegirine fayalite, Rbk, arfved.	Hbl
Associated Volcanism	Island-arc basalt to andesite	Andesite and dacite in great volume	often lacking	basalt and rhyolite	alkali lavas, tuffs, and caldera infill	MORB and ocean island basalt
Classification Barbarin (1990)	T_{IA} tholeiite island arc	H_{CA} hybrid calc-alkaline	C_{ST} C_{CA} C_{CI} continental types	H_{LO} hybrid late orogenic	A alkaline	T_{OR} tholeiite ocean ridge
Pearce *et al. (1984)*	VAG (volcanic arc granites)		COLG (collision granites)		WPG and ORG (within plate and ocean ridge granites)	
Maniar & Piccoli (1989)	IAG island arc granite	CAG contin. arc granite	CCG cont. collision gran.	POG post-orogenic gran.	RRG CEUG rift & aborted/hotspot	OP ocean plagiogranite
Origin	Partial melting of mantle-derived mafic underplate	PM of mantle-derived mafic underplate + crustal contribution	Partial melting of recycled crustal material	Partial melting of lower crust+ mantle and mid-crust contrib	Partial melting of mantle and/or lower crust (anhydrous)	Partial melting of mantle and frac-tional crystallization
Melting Mechanism	Subduction energy: transfer of fluids and dissolved species from slab to wedge. Melting of wedge, transfer of heat upward		Tectonic thickening plus radiogenic crustal hea	Crustal heat plus mantle heat (rising asthen. + magmas)	Hot spot and/or adiabatic mantle rise	

After Pitcher (1983, 1993), Barbarin (1990)

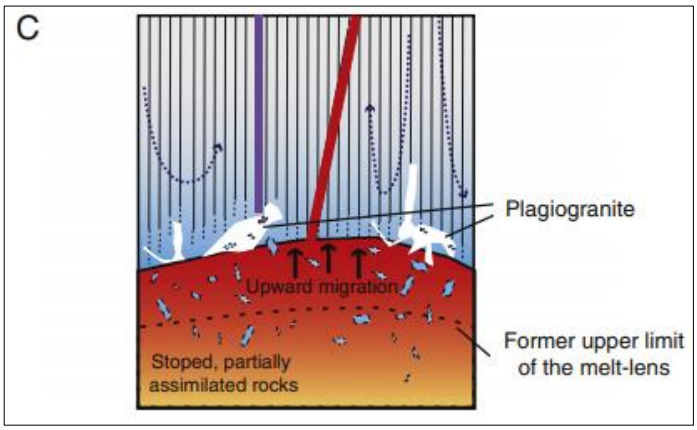
Plagiogranit terbentuk sebagai hasil peleburan fraksional (*fractional melting*) yang terjadi di atas zona divergen. Proses ini biasanya berlangsung di *Mid-Oceanic Ridge* (Lynn, 2000). Berikut gambaran pembentukan plagiogranit pada kerak samudera (dimodifikasi setelah Gillis dan Coogan, 2002; France et. al., 2009)



Gambar 2.12 Memperlihatkan struktur dari kerak samudera yang terbentuk selama proses extension.



Gambar 2.13 kenampakan dari dekat lapisan batas antara lelehan magma dengan lapisan intrusi.



Gambar 2.14 Memperlihatkan proses migrasi dari cairan magma ke atas membentuk plagiogranit

Dari gambar di atas dapat dijelaskan bahwa awal mula pembentukan plagiogranit dimulai pada kerak samudera kemudian mengalami spreading dimana cairan magma yang berada di bawah mengalami penambahan dan membentuk intrusi berupa dike pada kerak yang ada di atasnya. Selanjutnya cairan hidrotermal bermigrasi ke bawah dan berinteraksi dengan tubuh intrusi yang telah terbentuk sebelumnya kemudian terjadi proses rekristalisasi. Dari proses tersebut terbentuk batuan plagiogranit yang bertekstur granoblastik (Gillis and Coogan, 2002; France et. al. 2009).