

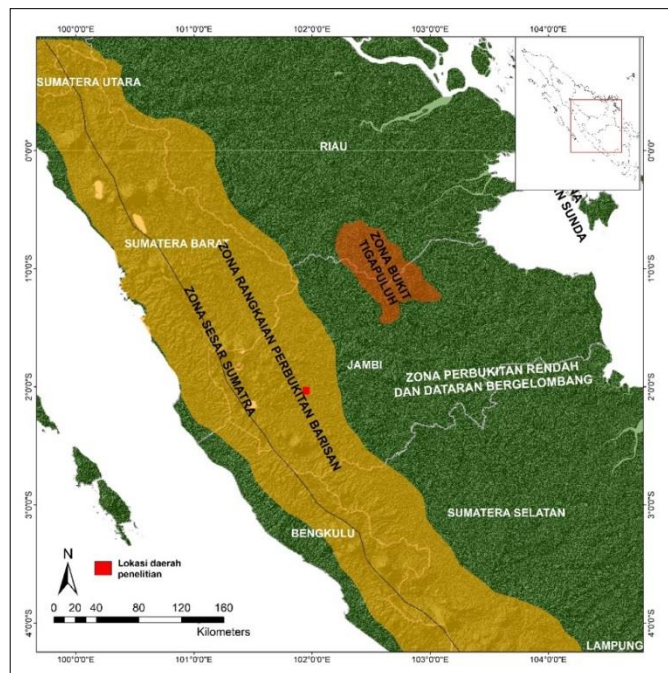
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Geologi Regional

##### 2.1.1 Fisiografi

Secara fisiografis Pulau Sumatra dalam klasifikasi Van Bummelen (1949) dibagi atas beberapa fisiografi (Gambar 2) di antaranya yaitu: 1) Pegunungan Barisan, 2) Zona Sesar Sumatra, 3) Pegunungan Tigapuluh, 4) Dataran bergelombang dan perbukitan bergelombang, 5) Zona Paparan Sunda Zona, dan 6) Kepulauan Busur Luar. Zona Bukit Tiga Puluh merupakan suatu zona yang terisolasi dengan bentuk morfologi yang telah mengalami rendahan kearah timur. Zona Perbukitan Barisan merupakan suatu zona perbukitan yang memanjang dengan arah orientasi Tenggara – Barat Laut, dan umumnya zona ini berasosiasi dengan Gunung Api aktif yang berada di jalur Bukit Barisan.



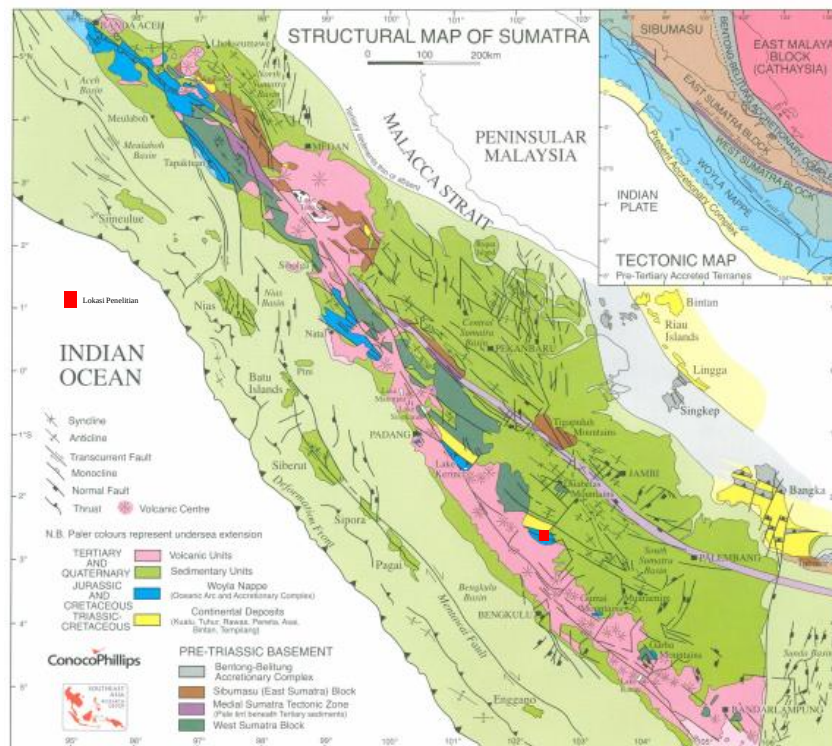
**Gambar 2.1** Pembagian Zona Fisiografis Pulau Sumatra mengacu dari Van Bemmelen (1949)

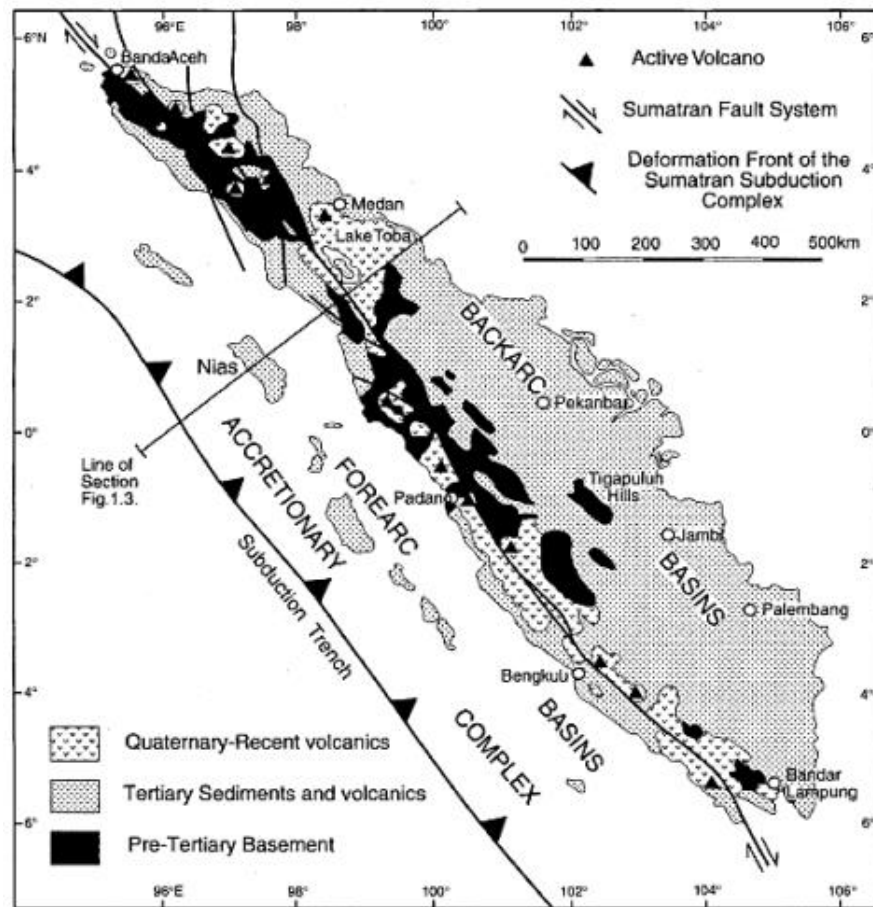
Menurut Kusnama dkk (1992) daerah penelitian dalam Peta Geologi termasuk dalam lembar Sungaipenuh dan Ketaun yang merupakan bagian dari Pegunungan

Barisan, secara morfologi dibedakan menjadi lima satuan: pegunungan kasar, kerucut gunung api, kuesta, dataran tinggi dan dataran rendah. Pegunungan kasar terdapat dibagian timur dan tengah Lembar, dengan ketinggian antara 431-1692 m diatas muka laut. Lembah-lembah sungai berbentuk V dan terbentuk diatas batuan metasedimen Formasi Asai (Ja), Formasi Peneta (KJp), dan Granit Tantan (TJgdt).

## 2.1.2 Tektonik Sumatra

Terbentuknya pulau Sumatra tidak lepas dari proses tumbukan antara kerak benua Sundaland dengan kerak Samudra Hindia. Hasil dari tumbukan yang berlangsung mengakibatkan pulau Sumatra terbagi menjadi tiga fase tektonik. Fase pertama merupakan fase kolisi antara blok Sibumasu dan Indochina pada zaman Devon hingga Permian yang menghasilkan pergerakan sesar naik. Fase kedua merupakan *trancrrrent system* antara blok Sumatra Barat dan Sibumasu pada zaman Trias hingga Jura yang menghasilkan pergerakan sesar mendatar. Fase ketiga kembali mengalami proses pengangkatan antara Blok Sumatra Barat dengan Blok Woyla pada zaman Kapur akhir yang membentuk sesar naik, Barber dkk (2005).

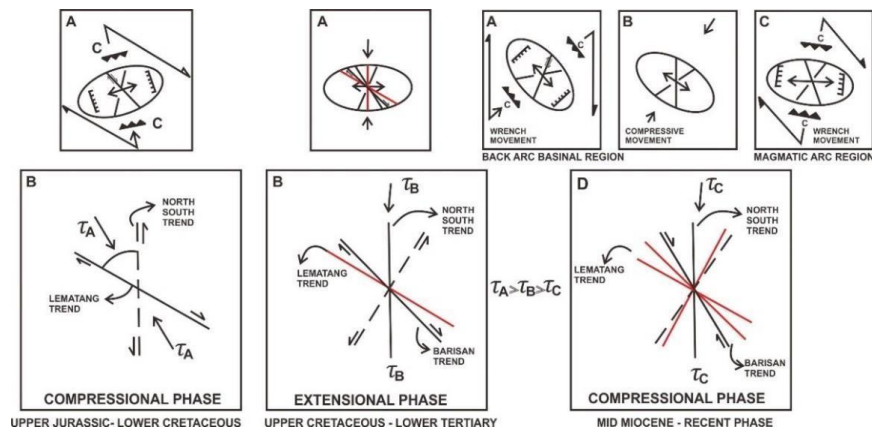




**Gambar 2.2.** Struktur Sumatra dan Pergerakan Lempeng Tektonik dalam Barber A J dan Crow. 2005

Kondisi tektonik Sumatra saat ini merupakan rangkaian dari evolusi Pulau Sumatra sebagai hasil subduksi dari batas lempeng Samudera Hindia yang menunjam di bawah lempeng Benua Eurasia pada Masa Kenozoikum yang diperkirakan telah menyebabkan terjadinya rotasi dari Pulau Sumatra dengan orientasi arah perputaran searah jarum jam (Metcalf, 2013).

Menurut Pulungono dkk. (1992) perkembangan tektonik di Cekungan Sumatera Selatan dibagi menjadi tiga kali perubahan arah subduksi yang menyebabkan terbentuknya tiga pola sesar utama yaitu sesar dengan arah Baratlaut-Tenggara pada Jura Akhir-Kapur Akhir, arah Utara-Selatan pada Kapur Akhir-Tersier Awal, dan Arah Timur Laut- Baratdaya pada Miosen Tengah-Resen (Gambar 2.3).



**Gambar 2.3.** Model ellipsoid pada Pulau Sumatera dari Jura Akhir – Resen (Pulunggono dkk. 1992)

Fase tektonik yang berkembang di Cekungan Sumatra Selatan menurut Pulunggono dkk (1992) terjadi melalui tiga fase :

1. Tahap kompresional (Jura Akhir – Kapur Awal)

Tahap kompresional pada masa Jura Akhir sampai Kapur Awal diakibatkan subduksi lempeng Samudra Hindia ke bawah lempeng Benua Eurasia yang mengakibatkan pola tegasan simple shear di Cekungan Sumatra Selatan ini. Sistem pola tegasan ini kemudian berkembang menjadi sesar geser. Pembentukan sesar geser ini menjadi zona lemah sehingga diintrusi batuan granitoid. Batuan granitoid yang mengisi zona lemah ini menjadi tinggian purba.

2. Tahap ekstensional (Kapur Akhir – Tersier Awal)

Tahap ekstensional yang terjadi di Cekungan Sumatra Selatan ini diakibatkan oleh penurunan kecepatan subduksi. Tahap ini merupakan awal terbentuknya tinggian (horst) dan rendahan (graben) akibat perubahan sistem tegasan utama yang berarah vertikal. Sesar mendatar berubah menjadi sesar normal karena tegasan utama vertikal dikontrol oleh gravitasi dan pembebanan.

3. Tahap kompresional (Miosen Tengah – Resen)

Kecepatan subduksi pada tahap ini meningkat kembali dan menyebabkan peremejaan sesar - sesar normal yang telah ada sebelumnya menjadi sesar naik. Selain itu terbentuk juga sesar geser dan perlipatan dengan arah sumbu yang masih mengikuti arah lama (pola Sumatra dan pola Sunda). Fase kompresi ini mencapai

puncaknya pada PlioPleistosen dengan pembentukan pola struktur sesar dan perlipatan baru dengan arah U3300 T yang dikenal dengan pola Barisan. Aktivitas tektonik pada fase ini mempunyai peran yang sangat besar dalam pembentukan zona rekahan baru atau meremajakan zona rekahan yang telah terjadi di daerah tinggian purba.

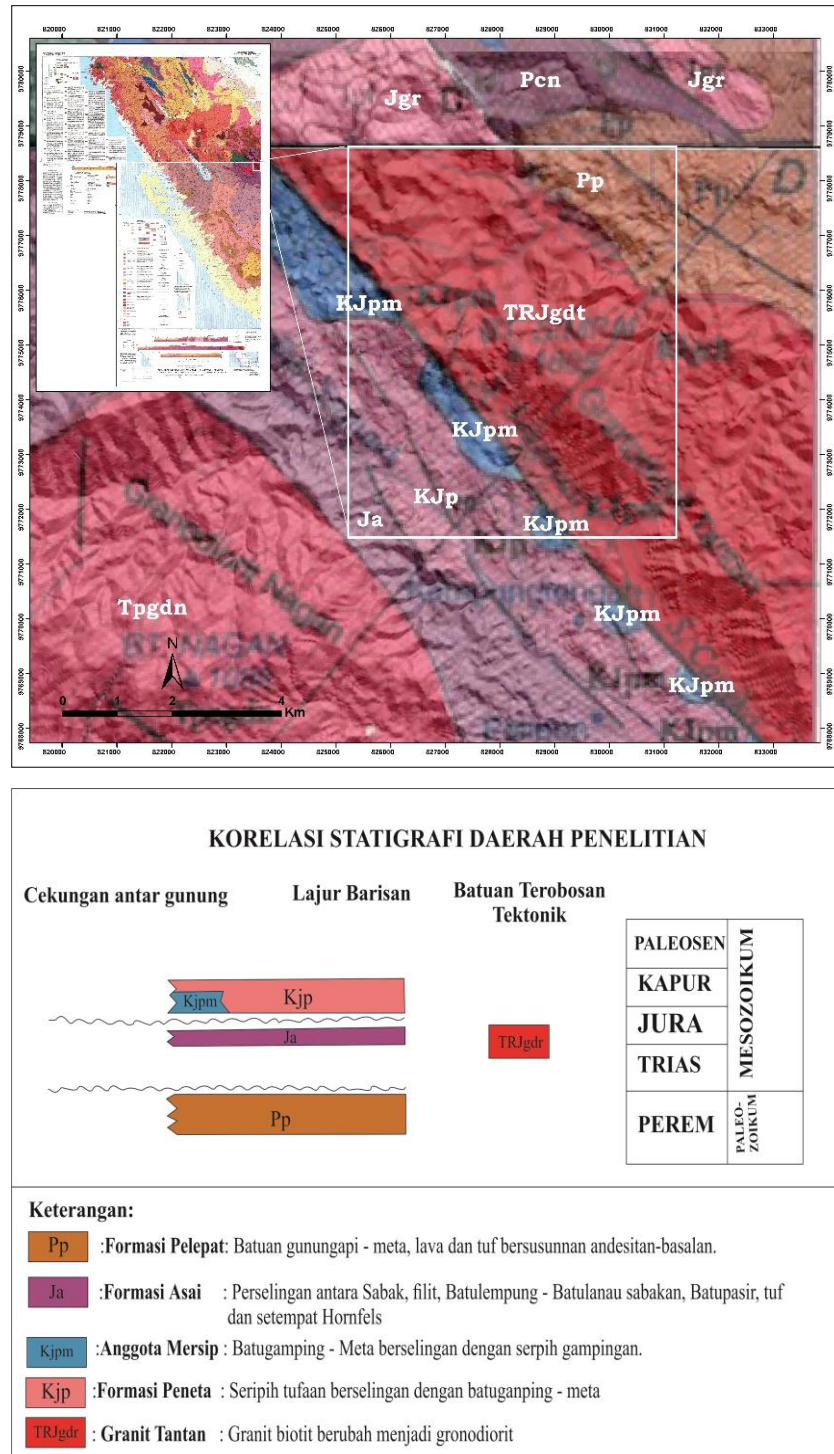
Pulau Sumatra dan Jawa merupakan bagian tepi Sunda arc dari lempeng Eurasia bagian selatan yang dimulai dari laut Andaman utara Aceh-Sumatra-Jawa sampai ke pulau Sumbawa di selatan. Rangkaian tersebut termasuk kedalam island arc systems dengan mekanisme subduksi antara lempeng Indo-Australian terhadap lempeng Eurasia dibagian utaranya. Perubahan arah dan kecepatan subduksi lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia dimulai dengan normal di bagian selatan pulau Jawa –Trench Jawa- menjadi oblique subduction pada Trench Sumatra. Perubahan pola tersebut berakibat terbentuknya Sistem Sesar Sumatra ( Sesar Semangko dan Sesar mentawai) pada sumbu pulau Sumatra, garis volkanik didaerah selat Sunda mulai dari yang tertua Sukadana, Komplek Krakatau sampai ke pulau Panaitan yang termuda (Mulyana, 2006).

Menurut Pulunggono dan Cameron (1984), kerangka tektonik pra-Tersier dari Sumatra berupa mosaik dari mikroplate kontinen dan samudera yang terakrasi pada Trias Akhir ketika mikroplate Mergui, Malaka dan Malaya Timur bersatu membentuk Sundaland. Akrasi selanjutnya melibatkan pantai barat Terrain Woyla pada Mesozoikum Akhir. Magmatisme dan pensesaran banyak terjadi di Sundaland ini.

Plutonik di bagian barat Sumatra juga mengindikasikan periode aktivitas plutonik pada Perm (287–256 juta tahun yang lalu). Selain itu terdapat indikasi bahwa aktivitas Mesozoikum Awal telah dimulai sejak Trias Akhir, atau dikenal adanya dua siklus magmatik, yaitu : 1) Trias Akhir sampai Jura Awal (220–190 juta tahun yang lalu), 2) Jura Pertengahan sampai Kapur Awal (170–130 juta tahun yang lalu), (Yuningsih, 2006).



### 2.1.3 Stratigrafi



**Gambar 2.4.** Peta Geologi dan Stratigrafi Daerah Penelitian dipotong dari Peta Lembar Sungaipenuh dan Ketaun dalam Skala 1:250.000 modifikasi, dari Kusnama dkk (1992)

Berdasarkan peta geologi regional lembar Sungai Penuh dan Ketaun, urutan stratigraf dapat dibagi menjadi tiga urutan berdasarkan umur yaitu Pratersier, Tersier dan Kuartar. Geologi lembar ini terutama meliputi satuan batuan Zona Busur Depan dan Zona Busur Magmatik Sumatra; serempat mencerminkan sebagai Cekungan Bengkulu dan Zona Barisan. Satuan – satuan Cekungan Bengkulu terdapat dibagian barat dan barat daya Lembar, dan Zona Barisan terdapat dibagian tengah dan timur laut Lembar. Satuan ketiga yang disebut Cekungan Antara gunung hanya terdapat setempat disekitar Danau Kerinci dibagian Utara Lembar. (Kusnama dkk,1992)

Lokasi penelitian terdiri dari satuan formasi batuan berumur Pratersier, yakni Formasi Palepat, Formasi Asai, Anggota Mersip Formasi Peneta, Formasi Peneta dan Intrusi Granitoid Tantan.

Urutan Pra- Tersier di lembar Sungai penuh dan Ketaun Meliputi batuan malihan derajat rendah berumur Perem dan Jura–Kapur yang telah mengalami deformasi sedang. Batuan malihan derajat rendah terdiri dari batuan Gunungapi–Meta Formasi Palepat yang berumur Perem, batuan meta sedimen Formasi Asai yang berumur Jura Tengah, dan batuan termalihan lemah Formasi Peneta yang berumur Jura Akhir – Kapur Awal. Hubungan stratigrafi antara kedua satuan batuan meta sedimenter tersebut tidak jelas, setempat sentuhannya berupa tektonik tetapi singkapannya tidak bagus. Keduanya dicirikan oleh adanya batuan malihan berderajat lebih tinggi dari Formasi Asai yang lebih tua.

### **Formasi Palepat**

Batuan tertua yang tersingkap Formasi Palepat dalam Lembar Sungai Penuh dan Ketaun yang berumur Paleozoikum, Formasi Palepat terdiri dari batuan Gunungapi – Meta bersusunan Andesit sampai Basal dengan sisipan batuan Sedimen. Satuan ini pertama kali dipelajari oleh Zwierzycki (1935) dan diberi nama Lapisan Airkuning, yang bersama dengan lapisan – lapisan Karing dan Salamuku membentuk “Seri Jambi Karbon” . nama yang dipakai sekarang diajukan oleh Rosidi drr (1976). Berdasarkan melimpahnya flora dan fauna yang dikandungnya, seri ini diusulkan berumur Karbon sampai Perem (Zwierzycki, 1935, Jongmans, 1937; Marks, 1956). Penelitian ulang bukti – bukti planologi yang ada oleh Asma drr. (1975), Beauvais

dr. (1984) dan Fontaine & Gafoer (1989) menyimpulkan bahwa satuan tersebut berumur Perem Awal. Namun Suwarna & Suharsono (1984) mengusulkan bahwa Formasi Palepat berlanjut sampai Perem Tengah, seperti yang diamati oleh Simanjuntak dr. (1991) di daerah Muarabungo. Oleh karena itu umur Formasi Palepat adalah awal Perem Tengah.

Formasi Palepat tersusun dari batuan gunungapi dasit sampai andesit dengan sisipan batugamping dan sedimen klastik. Keduanya di terobos oleh Granitoid Tantan berumur Trias Akhir-Jura. (Suwarna dkk, 1994)

### **Formasi Asai**

Formasi Asai terdiri dari sedimen – meta marin yang menyerupai flysch, dan berdasarkan bukti fosil yang ditemukan Fontaine & Beauvais (1984) disimpulkan berumur Jura Tengah. Formasi ini rupanya bersentuhan secara tektonik dengan Formasi Peneta dan diterobos oleh Granitoid Nagan. Umur pemalihan formasi ini ditafsirkan sebagai pertengahan Jura Akhir. (Suwarna dkk, 1994)

### **Formasi Peneta**

Formasi Peneta berdasarkan bukti paleontology menunjukkan umur Jura Akhir - Kapur Awal (Tobler 1922, Baumbarger 1925, dan Beauvais 1984). Formasi Peneta terdiri dari batuan sedimen laut paparan termasuk batugamping terumbu. Fosil-fosil yang ditemukan dalam serpih, batusabak, dan batupasir malihan menunjukkan umur Kapur Awal, fosil-fosil termasuk terumbu dari batugamping diduga berumur Jura Akhir, sementara fosil Amonit diperkirakan berumur Jura Akhir - Kapur Awal. Dengan demikian, satuan tersebut semeru dengan “batuan samudra” Pegunungan Gumai dan Garba. Jadi satuan tersebut diperkirakan terletak pada posisi tepi benua Jura Akhir yang merupakan tempat akresi Terrane Woyla pada akhir dari Kapur Awal (Suwarna dkk, 1994).

### **Batuan Terobosan**

Batuan terobosan umurnya berkisar antara akhir Trias Jura Awal - Tersier Akhir. Hanya tersingkap di Pegunungan Barisan pada suatu daerah yang luas,



cenderung berarah Baratlaut-Tenggara. Kebanyakan jenis batuan terobosan ini merupakan batuan Plutonik kecil atau jenis korok (Suwarna dkk, 1994).

### **Granitoid Tantan**

Formasi ini berumur Trias Akhir-Jura Awal, formasi ini tersusun atas litologi berupa granit biotit berubah menjadi Granodiorit, putih-kelabu, setempat porfiritan dengan fenokris felspar -Na dan Felspar-K . Ciri khasnya sangat lapuk, biasanya terkloritkan dan terkaolinisasi secara menyeluruh. Formasi ini menerobos Formasi Palepat yang berumur Perem dan menyentuh sesar dengan Formasi Peneta yang berumur Jura Akhir-Kapur Awal (Kusnama dkk,1992). Dimana ada suatu peristiwa besar vulkanisme dan magmatisme pada zaman Trias, Jatuhnya meteor pada zaman Jura, dan pembentukan batuan-batuan metamorf pada akhir zaman kapur yang disebabkan aktifitas tektonik berupa kompresi dari kurun Mesozoikum sampai Kenozoikum. Lalu pada awal Kenozoikum kala Paleosen tidak terjadi pengendapan sehingga terjadi ketidakselaraasan terhadap batuan sedimen yang ada diatasnya Formasi Bandan. ( Said, dkk. 2019).

#### **2.1.4 Struktur Geologi**

Struktur Lembar Sungaipenuh & Ketaun dikuasai oleh peristiwa tektonika Jura sampai Resen. Unsur – unsur struktur utama dalam batuan dilembar ini ialah persesaran.

Persesaran di Lembar Sungaipenuh & Ketaun terdapat di semua batuan yang berumur Pra – Holosen, dan umumnya arah sesar yang sama dapat dilihat di dalam kedua batuan berumur Pra – Tersier dan batuan yang lebih muda. Persesaran ini dapat dibagi menjadi dua arah utama , Barat Laut – Tenggara dan Utara – Selatan, dan tiga jalur geografi, Jalur Sesar Bukit Barisan, Jalur Sesar Bukit Barisan Timur dan Jalur Sesar Bukit Barisan Barat. Jalur Sesar Bukit Barisan meliputi tiga bagian yang berarah Barat Laut – Tenggara : Sesar sesar Seblat, Dikit dan Siulak (Tjia,1977). Sesar Seblat tersusun oleh enam buah sesar sejajar yang terletak di hulu S. Seblat. Sesar Dikit terdiri dari paling kurang dua sesar yang hampir sejajar yang membentang dari G. Pandan disepanjang S. Langkup sampai G.Kunyit. Umur kedua Sesar tersebut diduga Plio – Plistosen, tetapi keduanya masih giat, bukti – bukti

neotektonika di S. Nyabu dan S. Langkup memastikan adanya gerakan mengangan di daerah ini.

Jalur Sesar Bukit Barisan Timur terdapat dibagian Timur Laut lembar dan terdiri dari tujuh buah sesar kecil yang berarah Barat Laut-Tenggara dengan jejak-jejak sesar melengkung lemah. Sesar- sesar tersebut terutama terddapat dalam Formasi Asai dan dipotong oleh Granodiorit Nagan. Umur pensesaran tersebut diperkirakan Eosen dan unguin Plio-Plistosen. Namun ada yang berpendapat bahwa umur sesar tersebut sangat tua, yang aktif kembali selama Plio-Plistosen sebagai akibat gerakan mengangan Sistem Sesar Sumatra. Sesar Sungkup setempat disepanjang Timur Formasi Peneta juga diperkirakan sebagai sesar Tersier yang berarah Barat Laut- Tenggara yang lebih awal (Kusnama dkk, 1993).

Jalur Sesar Bukit Barisan Barat terletak sejajar dengan jalur Bukit Barisan utama dan memperlihatkan sejarah yang sama, yaitu sesar mengangan yang berumur Plio-Plistosen. Secara regional struktur geologi pada daerah penelitian mununjukkan beberapa struktur yaitu sesar-sesar kecil yang berarah BaratLaut- Tenggara dengan jejak-jejak melengkung lemah dan sesar-sesar yang relative berarah Barat-Timur. Sesar ini terbentuk pada Formasi Asai yang dipotong oleh Granodiorit Nagan. Umur pensesaran tersebut Plio-Plistosen sebagai akibat gerakan mengangan Sistem Sesar Sumatra (Kusnama dkk, 1993).

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Granitoid**

Granitoid merupakan istilah untuk kelompok batuan beku plutonik dengan tekstur faneritik dan komposisi asam sehingga intermediate, memiliki ukuran butir kasar yang secara mineralogis sebagian besar terdiri dari feldspar, kuarsa dan mika. Granitoid umumnya hanya tersusun oleh kristal mineral dikarenakan proses pendinginan magma yang cukup lama sehingga menghasilkan tekstur feneritik dengan derajat kristalnya holokristalin.

Batuan granitoid merupakan batuan yang keberadaannya melimpah di kerak benua. Bantuan ini dapat ditemukan di berbagai tatanan tektonik, mulai dari zona

orogenik dan zona tumbukan antar lempeng benua, hingga tatanan anorogenik. Umumnya granitoid terbentuk akibat proses anatexis dari kerak, tetapi kontribusi dari mantel juga dapat berpengaruh dalam terbentuknya granitoid. Selain itu bantuan ini juga dapat ditemukan di bagian punggung tengah samudra (*Mid Oceanic Ridge*) dan kompleks ofiolit dalam volum kecil. Contoh dari kelompok batuan granitoid adalah granit, granodiorit, monzonit, tonalit, alkali granit, syenit, dan diorite, Winter (2001).

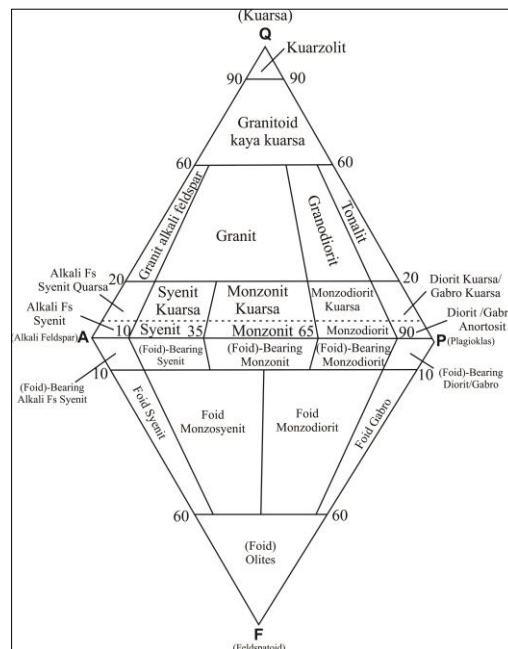
Winter (2014), mengklasifikasikan batuan granitoid dalam beberapa tipe yaitu S-I-A-M. Granitoid tipe S umumnya batuan kaya biotit, dan biasanya mengandung kordierit juga mengandung muskovit, andalusite, sillimanite atau garnet, oksida yang umum adalah dijumpai adalah ilmenit dan komposisi kimianya menunjukkan bahwa tipe ini diproduksi oleh peleburan parsial batuan sumber sedimen peraluminus dari zona subduksi. Granitoid tipe I batuan kaya hornblende, oksida yang umum adalah magnetit, komposisi kimianya menunjukkan bahwa tipe ini diproduksi dari hasil lelehan sebagian bahan sumber beku yang berasal dari mantel mafik zona subduksi. Granitoid tipe A beragam, baik secara kimia maupun dalam hal asal-usulnya, granitoid tipe ini dapat ditemukan umumnya pada zona anorogenik pada zona pemekaran. Granitoid tipe M merupakan granitoid yang terbentuk pada zona Anorogenik pada penjumlahan lempeng samudra atau punggung tengah samudra yang secara geokimia batuan bersifat tholeitik.

### 2.2.3 Klasifikasi Batuan

Dalam menentukan jenis batuan beku Winter (2014) membaginya dalam tiga kategori yaitu, **Feneritik** yang mayoritas Kristal mineral yang menyusun batuan dapat terlihat dengan mata telanjang ( $> 0,1 \text{ mm}$ ), jika sebuah batuan menunjukkan tekstur feneritik biasanya mengkristal secara perlahan di bawah permukaan bumi dan disebut sebagai batuan beku intrusi atau plutonik. **Aphanitik** sebagian besar memiliki kristal yang kecil dan sulit dilihat secara mata telanjang ( $< 0,1 \text{ mm}$ ) hal ini dikarenakan proses pengkristalan yang cepat di permukaan bumi dan disebut sebagai batuan ekstrusif atau vulkanik. **Fragmental** terdiri dari komposisi batuan beku yang

terpilah kemudian diendapkan kembali, dimana fragmen tersebut berasal dari batuan yang sudah ada sebelumnya (sebagian besar beku) dengan fragmen Kristal atau masa gelas, biasanya hasil dari ledakan atau runtuh vulkanik dan disebut sebagai piroklastik.

Klasifikasi batuan beku plutonik berdasarkan komposisi mineral menggunakan diagram QAPF batuan beku plutonik berdasarkan sistem IUGS (Gambar 2.5). Diagram ini menggambarkan segitiga di bagian atas berlaku untuk batuan beku yang didominasi kuarsa ( $\text{SiO}_2$  jenuh). Semua batuan beku dengan silika tak jenuh yang mengandung plot feldspathoids berada di segitiga bagian bawah ( $\text{SiO}_2$  tak jenuh), diagram QAPF ini tidak digunakan pada batuan dengan kandungan mineral mafik lebih dari 90% ( $M < 90\%$ ). Klasifikasi batuan beku faneritik ini diklasifikasikan dengan batuan harus mengandung paling sedikit 10% mineral Q (kuarsa), A (alkali-feldspar), P (plagioklas), dan F (feldspathoid), yang kemudian dinormalisasi menjadi 100%.



**Gambar 2.5.** Klasifikasi Batuan Beku Berdasarkan Sistem IUGS (*International Union of Geological Sciences*) Diagram QAPF untuk Batuan Plutonik, Streckeisen (1976) dalam Winter, 2014

#### 2.2.4 Evolusi Magma

Menurut Nelson (2015), Magma adalah campuran batuan cair, kristal, dan gas. Ditandai dengan berbagai macam komposisi kimia, dengan suhu tinggi, dan sifat cairan. Massa magma lebih ringan dari bebatuan di sekitarnya, karena itu magma akan terus bergerak ke atas. Jika magma sampai ke permukaan hasil dari letusan kemudian mengkristal akan menjadi batuan ekstrusif atau vulkanik. Apabila magma mengkristal sebelum mencapai kepermukaan maka akan menghasilkan batuan beku dalam atau plutonik atau intrusive.

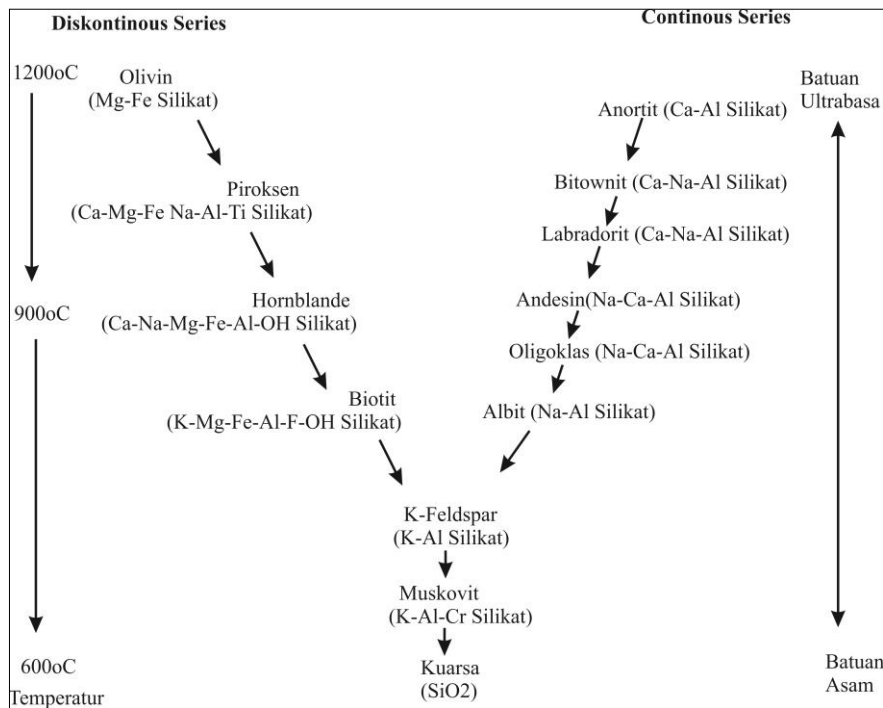
Dalam Winter (2014), membagi dua jenis tipe magma yakni magma basaltik dan magma granitik. **Magma basaltik** merupakan magma yang terbentuk oleh lelehan atau peleburan parsial (*partial melting*) selubung yang mendesak ke atas sepanjang pusat pemekaran, di mana lempeng-lempeng bergerak saling menjauh. Oleh sebab itu jenis magma ini mendominasi kerak samudra. **Magma granitik** merupakan magma yang terjadi di daerah penunjaman akibat lelehan parsial dari kerak samudra dan kerak benua bagian bawah di bagian lebih dalam daridasar jalur pegunungan aktif (pada daerah-daerah tumbukan lempeng dan di manasuhu dan tekanan sangat tinggi). Oleh sebab itu magma granitis mendominasi kerak benua.

Menurut Nelson (2015), Magma dapat dibedakan berdasarkan kandungan SiO<sub>2</sub>. Dikenal ada tiga tipe magma, yaitu:

- a. Magma Basaltik : SiO<sub>2</sub> 45-55 %berat; kandungan Fe dan Mg tinggi; kandungan K dan Na rendah.
- b. Magma Andesiti: SiO<sub>2</sub> 55-65 %berat, kandungan Fe, Mg, Ca, Na dan K menengah (intermediate).
- c. Magma Riolitik : SiO<sub>2</sub> 65-75 %berat, kandungan Fe, Mg dan Ca rendah; kandungan K dan Na tinggi.

Hipotesis asal usul dan evolusi batuan beku dinyatakan pertama kali oleh Bowen dan disimpulkan dalam diagram Seri Reaksi Bowen. Magma induk yang berkomposisi ultrabasa berevolusi atau terfraksinasi menjadi batuan berkomposisi basal dan sisa leburannya menjadi lebih asam seperti andesit basal, andesit, dasit dan riolit. Batuan gunung api tergantung pada komposisi magma maupun lava. Hal ini

berhubungan dengan jenis batuan gunung api yang terbentuk sebagai intrusi (*sub volcanic intrusion*) dan terbentuk sebagai ekstrusi (*extrusive*) yang berupa batuan lelehan (*effusive*) dan berupa batuan letusan (*explosive*). Batuan intrusi dangkal akibat dari pembekuan magma di dalam tubuh gunung api, sedangkan batuan ekstrusi akibat pembekuan lava di permukaan bumi, atau bahkan pembekuan material piroklastika di atmosfera. Oleh sebab itu, magma maupun lava mengalami proses diferensiasi dan fraksinasi. Proses-proses inilah yang menjadikan perubahan komposisi magma maupun lava hingga terjadinya batuan gunung api dengan komposisi beragam (basa – intermediet – asam), atau dengan kata lain terjadi perubahan atau evolusi.



**Gambar 2.6.** Reaksi Seris Bowen (Bowen, 1928) dalam Winter (2014) dengan modifikasi

Proses perubahan ini menyebabkan magma berubah menjadi magma yang bersifat lain oleh proses-proses seperti. **Hibridasi**, proses pembentukan magma baru karena pencampuran 2 magma yang berlainan jenis. **Sintetis**, Pembentukan magma baru karena adanya proses asimilasi dengan batuan sampling. **Anateksis**, proses pembentukan magma dari peleburan batu-batuan pada kedalaman yang sangat besar.

Winter (2014) menyatakan bahwa Diferensiasi magma merupakan proses di mana magma mampu mendiversifikasi dan menghasilkan magma atau batuan dengan

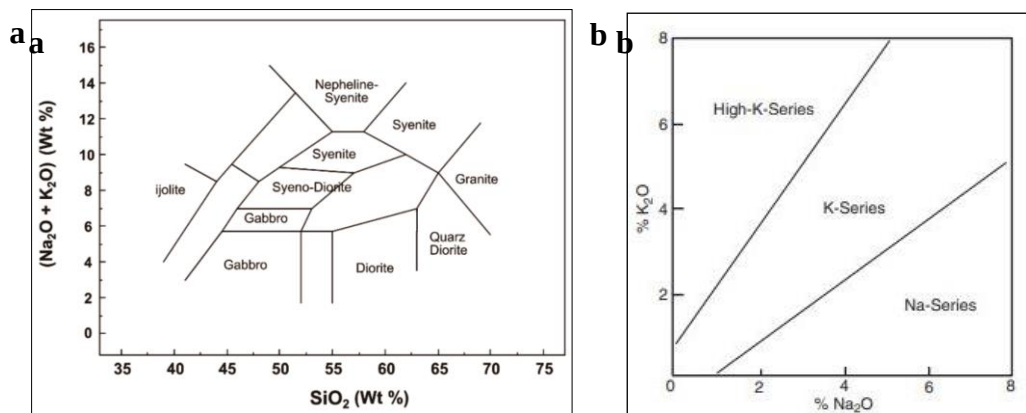
komposisi berbeda. Proses ini dipengaruhi banyak hal. Tekanan, suhu, kandungan gas serta komposisi kimia magma itu sendiri dan kehadiran pencampuran magma lain atau batuan lain juga mempengaruhi proses diferensiasi magma. Menurut Nelson (2015) diferensiasi magma meliputi asimilasi, pencampuran (*mixing*), dan kristalisasi fraksional. Asimilasi adalah suatu keadaan saat magma melewati batuan yang lebih dingin dalam perjalanan ke permukaannya dan melelehkan sebagian batuan di sekitarnya dan memasukkan lelehan ini ke dalam magma. Karena sejumlah kecil hasil leleh parsial dalam cairan mengandung silika komposisi, penambahan lelehan ini ke magma akan membuatnya lebih mengandung silika. Pencampuran (*mixing*) terjadi saat dua jenis magma yang berbeda bertemu dan kemudian bercampur menjadi satu menghasilkan satu jenis magma lain yang homogen yang disebut dengan magma turunan. Magma turunan ini biasanya bersifat pertengahan dari kedua jenis magma yang bercampur. Fraksinasi Kristal, sebuah kondisi dimana kristal-kristal yang telah terbentuk, mengalami proses pemisahan dari magma asalnya. Kondisi ini akan tercapai jika magma telah mencapai keseimbangan. Fraksinasi kristal terjadi ketika kristal yang telah terbentuk akibat gaya gravitasi mengalami pemisahan dengan cairan magma, proses ini disebut gravity settling. Proses ini mengakibatkan terjadinya perubahan komposisi pada magma asal.

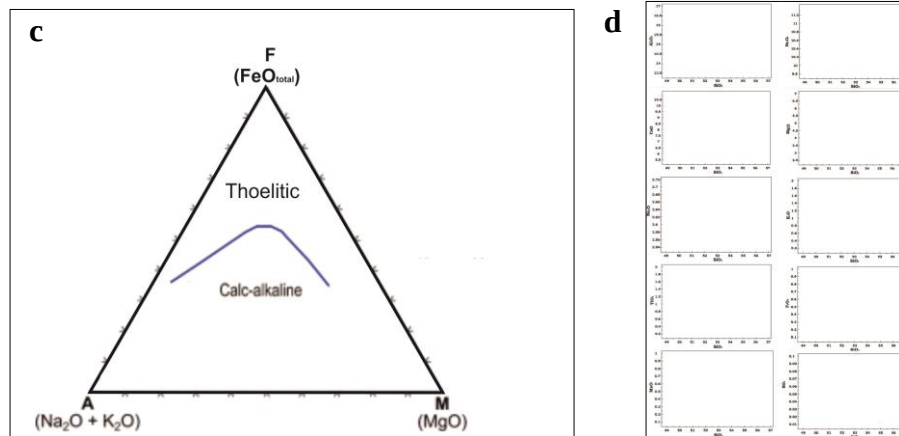
Batuan beku disusun oleh senyawa-senyawa kimia yang membentuk mineral penyusun batuan beku. Salah satu klasifikasi batuan beku dari kimia adalah dari senyawa oksidanya, seperti Senyawa-senyawa yang bersifat non volatil dan merupakan unsur-unsur oksida dalam magma. Jumlahnya yang mencapai 99 % isi, sehingga merupakan mayor element, terdiri dari oksida-oksida  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Unsur lain yang disebut unsur jejak (*trace element*) dan merupakan minor element, seperti Rubidium (Rb), Barium (Ba), Stronsium (Sr), Nikel (Ni), Cobalt (Co), Vanadium (V), Croom (Cr), Lithium (Li), Sulphur (S) dan Plumbum (Pb). Unsur-unsur jejak ini terdapat tidak sebagai oksida dan tidak dapat digunakan sebagai dasar penggolongan magma. Unsur-unsur ini sangat membantu dalam menentukan genesa magma.



Komposisi magma atau lava dapat berkembang dari waktu ke waktu, karena magma atau lava mulai mengkristal, mineral gelap akan mengendap ke dasar ruang magma atau lava (karena lebih padat daripada magma atau lava). Mineral ringan kadang-kadang bisa mengapung ke atas untuk alasan yang sama, sehingga komposisi magma yang meletus dapat bergantung pada dari mana ia berasal dari ruang magma dan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mendingin, dan apakah telah melelehkan batuan dan bercampur atau tidak. Hal ini menunjukkan adanya banyak gunung api yang meletus menghasilkan berbagai batuan yang berbeda komposisinya. (Hartono, 2017).

Winter (2014) dan Hutabarat(2007), Untuk mempelajari gambaran evolusi magma dan diskriminasi geokimia dan batuanannya dapat ditelusuri dengan bantuan diagram variasi dengan memakai  $\text{SiO}_2$  sebagai parameter diferensiasinya seperti diagram Harker, TAS (Total Alkali dan Silika)  $\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{SiO}_2$ , diagram alkali-silika, dan *triangular plots* seperti diagram AFM. Menurut winter (2014) magma primer merupakan magma yang diturunkan secara langsung melalui peleburan sebagian dari beberapa sumber, dan tidak memiliki karakteristik yang mencerminkan efek dari diferensiasi selanjutnya. Magma yang telah mengalami beberapa bentuk diferensiasi kimia sepanjang tren disebut sebagai magma berevolusi. Harker (1909) dalam Winter (2014) menyatakan bahwa kandungan  $\text{SiO}_2$  terus meningkat dalam evolusi magma yang terjadi, dengan demikian dapat diketahui sejauh mana magma itu berevolusi.





**Gambar 2.7.** Klasifikasi batuan berdasarkan unsur kimia, (a) Diagram Total Alkali dan Silika (TAS),(b)Diagram Alkali-Subalkali (c)Diagram AFM, (d) Diagram Harker dalam Winter, (2014)

## 2.2.4 Hubungan Tektonik dan Magmatisme

Wilson (2007) dalam Maluku (2015), membagi lingkungan tektonik dan magmatisme yang terjadi pada batuan beku menjadi 3 (tiga) jenis, yaitu 1) Magmatisme pada Constructive Plate, 2) Magmatisme pada Destructive Plate, dan 3) Magmatisme pada Within Plate. Selain itu, tatanan tektonik pada proses pembentukan batuan beku juga berhubungan dengan jenis seri magma pembentukan batuan beku tersebut (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Tabel seri magma

| Seri Magma           | Plate Margin   |          | Within Plate (Diantara Lempeng) |       |
|----------------------|----------------|----------|---------------------------------|-------|
|                      | (Tepi Lempeng) |          |                                 |       |
|                      | Konvergen      | Divergen | Samudera                        | Benua |
| <i>Alkaline</i>      | Ya             | Ya       | Ya                              | Ya    |
| <i>Tholeiitic</i>    | Ya             | Ya       | Ya                              | Ya    |
| <i>Calc-Alkaline</i> | Ya             | Tidak    | Tidak                           | Tidak |

**Constructive Plate Margin.** Constructive plate margin merupakan tatanan tektonik yang terletak pada zona divergen yaitu zona antara dua lempeng atau lebih yang saling menjauh, sehingga magma dapat terbentuk yaitu pada pematang tengah samudera (*Mid Oceanic Ridge*) dan Cekungan Belakang Busur (*Back Arc Basin*).

- 1) Pematang Tengah samudera (*Mid Oceanic Ridge*) merupakan daerah dengan dua lempeng samudera yang saling menjauhi. Magma pada tektonik ini berasal dari pelelehan sebagian mantel bagian atas karena adanya pelepasan tekanan oleh batuan induk akibat proses divergen. Batuan yang terbentuk pada tatanan tektonik ini bersifat mafik-ultramafik seperti peridotit, basal, gabro, batuan beku bertekstur lava bantal, dan kekar tiang (*columnar joint*).
- 2) Cekungan Belakang Busur (*Back Arc Basin*) merupakan tatanan tektonik yang terbentuk di belakang busur kepulauan. Hal ini dapat terjadi akibat adanya pengangkatan (*rifting*) di belakang zona penunjaman selama proses subduksi berlangsung, sehingga terbentuklah cekungan. Magma yang dihasilkan pada zona ini bersifat basa, seperti batuan beku basal.

***Destructive Plate Margin.*** *Destructive plate margin* merupakan tatanan tektonik yang terletak pada zona konvergen dengan dua lempeng atau lebih saling bertumbukan satu sama lain. Magma yang dapat terbentuk yaitu pada busur kepulauan (*Island Arc*) dan tepi benua aktif (*Active Continental Margin*).

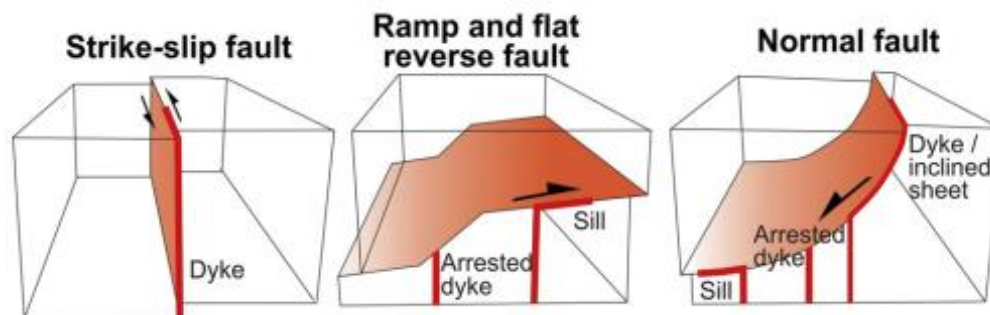
- 1) Busur Kepulauan (*Island Arc*) merupakan daerah dengan lempeng samudera dan lempeng samudera atau lempeng benua yang tipis bertumbukan. Zona ini disebut zona subduksi atau zona penunjaman. Magma akan terbentuk akibat dari pelelehan sebagian mantel atas atau tepi mantel atau kerak samudera yang menunjam. Daerah *Island Arc* ditandai dengan munculnya busur kepulauan dengan deretan gunung api yang masih aktif. Batuan beku yang terbentuk umumnya bersifat intermediet sampai basaltik, seperti andesit atau basal. Diferensiasi magma tidak terjadi secara dominan di daerah ini, sehingga batuan tersebut memiliki tekstur yang sedikit akan fenokris. Batuan vulkanik juga banyak terbentuk akibat aktivitas vulkanisme yang intensif.
- 2) Tepi Benua Aktif (*Active Continental Margin*) merupakan daerah terjadinya tumbukan antara lempeng benua yang tebal. Magma dapat berasal dari pelelehan sebagian mantel atas atau kerak benua bagian bawah. Pada daerah ini gunung api jarang ditemukan. Batuan beku yang terbentuk pada zona ini pada umumnya intermediet sampai felsik, seperti granit atau diorit. Diferensiasi

magma terjadi secara dominan dan lanjut, sehingga butiran kristal yang terbentuk berukuran besar.

**Within plate.** *Within plate* adalah lingkungan tektonik pada daerah pertengahan yaitu bagian tengah benua (*intra-continental*) dan bagian tengah samudera (*intra-oceanic*).

- 1) Bagian Tepi Tengah Benua (*Continental Intra-plate Margin*) merupakan tatanan tektonik yang terbentuk di tengah lempeng benua. Magmatisme dapat terbentuk di dua tempat, yaitu *Continental Flood Basalt Province* yaitu hasil dari erupsi besar-besaran gunung api yang menyebabkan terjadinya pelamparan lava basal di lantai samudera atau daratan, dan *Continental Rift Zone* yaitu zona dimana dua kerak saling menjauh, magma berasal dari pelelehan sebagian kerak benua bagian atas atau tengah sehingga magma bersifat asam-intermedit.
- 2) Bagian Tepi Tengah Samudera (*Oceanic Intra-plate Margin*) merupakan tatanan tektonik yang terbentuk di tengah-tengah lempeng samudera dan biasanya akan membentuk kepulauan gunung api. Sumber magma berasal dari pelelehan sebagian mantel atas. Magma akan berkumpul di suatu tempat (hotspot), magma dapat keluar ke permukaan bumi dan membentuk gunung api. Pada zona ini terbentuk batuan beku vulkanik bersifat mafik-ultramafik, karena magma berasal dari diferensiasi lempeng samudera yang bersifat basa.

Dalam Tibaldi (2015), menjelaskan bahwa aktivitas pergerakan lempeng tektonik mempengaruhi zona lemahnya magma yang naik kepermukaan, pada sesar geser merupakan zona lemah secara vertikal yang memungkinkan magma dapat naik hingga kepermukaan, sedangkan pada sesar normal dan sesar naik tergantung oleh sudut kemiringannya, pada sesar naik biasanya magma akan naik secara dike kemudian membentuk sill pada kemiringan yang relative datar sedangkan pada sesar normal dengan kemiringan yang relative terjal magma akan membentuk sill baru kemudian dike dengan kedalaman zona lemah tertentu, bisa jadi magma akan naik sampai ke permukaan atau hanya terakumulasi di bawah permukaan pada titik zona lemah tertentu seperti pada (gambar 2.8) di bawah ini.



**Gambar 2.8.** Hubungan tektonik dengan tipe intrusi yang dihasilkan

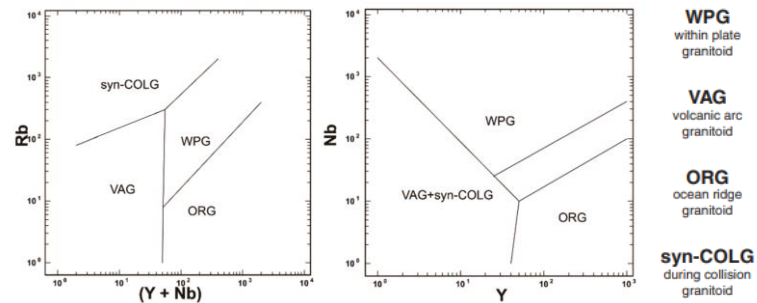
Berdasar pada aktivitas tektonik, Barbarin (1990) dalam Winter (2014) (gambar 2.10) Mengklasifikan terbentuknya batuan granitoid berdasarkan lempeng tektonik pembentukannya. Secara luas dapat dikelompokkan pada zona orogenik dan anorogenik. Orogenik dapat di definisikan sebagai zona yang berasosiasi dengan subduksi, sedangkan anorogenik mengacu pada aktifitas magmatisme di dalam lempeng.

|                                    | OROGENIC                                                                                                                  |                                                                 |                                                          | TRANSITIONAL                                                                                   | ANOROGENIC                                                                                 |                                                                                |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|                                    | Oceanic Island Arc                                                                                                        | Continental Arc                                                 | Continental Collision                                    | Post-Orogenic Uplift/Collapse                                                                  | Continental Rifting, Hot Spot                                                              | Mid-Ocean Ridge, Ocean Islands                                                 |
|                                    |                                                                                                                           |                                                                 |                                                          |                                                                                                |                                                                                            |                                                                                |
| <b>Examples</b>                    | Bougainville, Solomon Islands, Papua New Guinea                                                                           | Mesozoic Cordilleran batholiths of west Americas Gander Terrane | Manaslu and Lhotse of Nepal, American 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 |
| <b>Geo-chemistry</b>               | calc-alkaline > thol. M-type & I-M hybrid metaluminous                                                                    | calc-alkaline I-type > S-type metalum. to sl. peral.            | calc-alkaline S-type peraluminous                        | calc-alkaline I-type S-type (A-type) metalum. to peralum                                       | alkaline A-type peralkaline                                                                | tholeiitic M-type metaluminous                                                 |
| <b>Rock types</b>                  | qtz-diorite in mature arcs                                                                                                | tonalite & granodior. > granite or gabbro                       | migmatites & leucogranite                                | bimodal granodiorite + diorite-gabbro                                                          | granite, syenite + diorite-gabbro.                                                         | plagiogranite                                                                  |
| <b>Associated Minerals</b>         | Hbl > Bt                                                                                                                  | Hbl, Bt                                                         | Bt, Ms, Hbl, Grt, Als, Crd                               | Hbl > Bt                                                                                       | Hbl, Bt, aegirine fayalite, Rbk, arfved.                                                   | Hbl                                                                            |
| <b>Opaque Oxides</b>               | magnetite series (Ishihara, 1977)                                                                                         |                                                                 | ilmenite series (Ishihara, 1977)                         |                                                                                                |                                                                                            | magnetite series (Ishihara, 1977)                                              |
| <b>Associated Volcanism</b>        | 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                                                   |
| <b>Classification</b>              | $T_{IA}$ 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                                                 |
| <b>Barbarin (1990)</b>             | ATG arc tholeiitic granitoids                                                                                             | ACG Amp-bearing (low-K) calc-alk. granitoids                    | MPG CPG Ms and Crd per-aluminous granitoids              | KCG K-rich calc-alk granitoids                                                                 | PAG peralkaline and alkaline granitoids                                                    | RTG mid-ocean ridge tholeiitic granitoids                                      |
| <b>Barbarin (1999)</b>             |                                                                                                                           |                                                                 |                                                          |                                                                                                |                                                                                            |                                                                                |
| <b>Pearce et al. (1984)</b>        | VAG (volcanic arc granites)                                                                                               |                                                                 | COLG (collision granites)                                |                                                                                                | WPG and ORG (within plate and ocean ridge granites)                                        |                                                                                |
| <b>Maniar &amp; Piccoli (1989)</b> | IAG island arc granite                                                                                                    | CAG contin. arc granite                                         | CCG cont. collision gran.                                | POG post-orogenic gran.                                                                        | RRG CEUG rift & aborted/hotspot                                                            | OP ocean plagiogranite                                                         |
| <b>Origin</b>                      | 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 fractional crystallization                       |
| <b>Melting Mechanism</b>           | subduction energy: transfer of fluids and dissolved species from slab to wedge. Melting of wedge, transfer of heat upward |                                                                 | tectonic thickening plus radiogenic crustal heat         | crustal heat plus mantle heat (rising asthen. + magmas)                                        | hotspot and/or adiabatic mantle rise                                                       |                                                                                |

After Pitcher (1983, 1993), Barbarin (1990, 1999)

**Gambar 2.9.** Klasifikasi Batuan Granitoid Berdasarkan Aktivitas Tektonik Dimodifikasi dari Pitcher (1983, 1993) dan Barbarin (1990) dalam Winter (2014)

Dalam kelompok batuan granitoid klasifikasi berdasarkan aktivitas tektoniknya juga dapat dilihat dari parameter kimianya untuk menentukan asal tektonik terbentuknya kelompok granitoid tersebut (gambar 2.10).



**Gambar 2.10.** Diagram tatanan tektonik batuan granitoid (Pearce dkk., 1984 dalam Winter, (2014))