

SKRIPSI

**STUDI PETROLOGI DAN GEOKIMIA BATUAN METAMORF DAERAH
TAHI ITE KECAMATAN RAROWATU KABUPATEN BOMBANA
PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD RESKY

D611 16 305



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
STUDI PETROLOGI DAN GEOKIMIA BATUAN METAMORF DAERAH
TAHI ITE KECAMATAN RAROWATU KABUPATEN BOMBANA
PROVINSI SULAWESI TENGGARA

Disusun dan diajukan oleh :

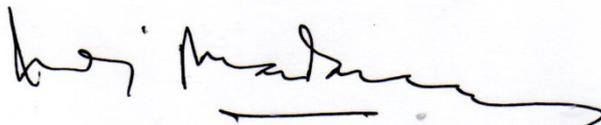
MUHAMMAD RESKY
D611 16 305

Telah dipertahankan di hadapan 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,



Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, S.T., M.Phil
NIP. 198004282005011001



Dr. Ir. M. Fanzil Arifin, M.Si
NIP. 195812031946011001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Asri Jaya, HS, S.T., M.T
NIP. 19690924 199802 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Resky

NIM : D611 16 305

Program studi : Teknik Geologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul :

**“STUDI PETROLOGI DAN GEOKIMIA BATUAN METAMORF
DAERAH TAHI ITE KECAMATAN RAROWATU KABUPATEN
BOMBANA PROVINSI SULAWESI TENGGARA”**

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain bahwa skripsi/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, 18 Agustus 2021

Yang Menyatakan



Muhammad Resky

SARI

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam wilayah Daerah Tahi Ite Kecamatan Rarowatu Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis terletak pada koordinat $121^{\circ} 48' 45''$ - $121^{\circ} 50' 15''$ bujur timur dan $4^{\circ} 39' 45''$ - $4^{\circ} 41' 15''$ lintang selatan. Tujuan dari penelitian ini yaitu variasi batuan, *protolith*, serta lingkungan tektonik yang membentuk batuan metamorf di daerah penelitian. Metode analisis yang dilakukan terdiri dari analisa petrografi dan analisa geokimia yang menggunakan metode XRF (*X-ray fluorescence spectrometry*) dan ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) untuk menganalisa unsur utama, unsur jejak dan unsur tanah jarang. Berdasarkan hasil analisa petrografi batuan metamorf pada daerah penelitian adalah sekis muskovit, sekis muskovit garnet dan sekis klorit. Berdasarkan analisa geokimia afinitas magma pada daerah penelitian adalah *calc-alkaline*, dengan *protolith* dari batuan metamorf tersebut adalah dasit dan riolit. Lingkungan tektonik pembentuk batuan tersebut adalah tepi benua aktif (*Active Continental Margin*).

Kata kunci : *Geokimia, Protolith, Lingkungan Tektonik, Metamotrf, Bombana*

ABSTRACT

Administratively, the research area located in Tahi Ite Region, Rarowatu District, Bombana Regency, South Sulawesi Province. Astronomically located at coordinates 121° 48' 45" - 121° 50' 15" east longitude and 4° 39' 45" - 4° 41' 15" south latitude. The purpose of this study are variation of rocks, protoliths, and the tectonic environment that forms metamorphic rocks in the study area. The analytical methods carried out consist of petrographic analysis and geochemical analysis using XRF (X-ray fluorescence spectrometry) and ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) methods to analyze the main elements, trace elements and rare earth elements. Based on the results of petrographic analysis of metamorphic rocks in the study area are muscovite schist, garnet muscovite schist and chlorite schist. Based on geochemical analysis, the magma affinity in the study area is calc-alkaline, with the protoliths of these metamorphic rocks are dacite and rhyolite. The rock-forming tectonic environment is the active continental margin.

Keywords : Geochemistry, Protolith, Tectonic Environment, Metamotrf, Bombana

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang amat mulia dan sempurna, maha agung untuk disembah, menguasai jagat raya beserta isinya serta hidup manusia. Kepada-Nyalah kami memohon berkah dan rahmat serta izin-Nya jualah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Studi Petrologi Dan Geokimia Batuan Metamorf Daerah Tahi Ite Kecamatan Rarowatu Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara”**. Shalawat dan salam atas Nabi Muhammad SAW yang merupakan rasul Allah yang membawa dan membimbing umat manusia dari dunia yang penuh kegelapan ke dalam dunia yang terang benderang dengan cahaya islam.

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

1. Bapak Dr. Eng. Asri Jaya S.T, M.T. sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, S.T., M.Phil sebagai dosen pembimbing I atas segala bimbingan, saran, dan arahnya mulai dari penentuan judul hingga selama proses pembuatan tugas akhir dan sebagai pembimbing akademik yang banyak mengarahkan dan menuntun penulis.
3. Bapak Dr.Ir. M. Fauzi Arifin, M.Si sebagai sebagai dosen pembimbing II atas segala bimbingan, saran, dan arahnya mulai dari penentuan judul hingga selama proses pembuatan tugas akhir.

4. Bapak Dr. Ir. Musri Mawa'leda, dan Ibu Dr. Ulva Ria Irfan,S.T., M.T. selaku dosen penguji.
5. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang banyak membantu selama perkuliahan di Teknik geologi.
6. Kedua orangtua, serta keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materil.
7. Himpunan Mahasiswa Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (HMG FT-UH) atas dukungan yang diberikan untuk penulis selama perkuliahan.
8. Ronaldo, Syahrul Ramadhan, Muh. Fajrul Islami dan Kakanda Takdir yang telah membantu penulis dalam pengambilan data lapangan sampai selesainya skripsi ini.
9. Teman – teman *JURASSIC'16* yang selalu membantu dan menjadi penyemangat penulis selama mengerjakan skripsi.

Penulis mengharapkan adanya masukan dan kritikan yang lebih banyak dan bersifat membangun demi kesempurnaan dari penulisan laporan ini. Segala kesalahan serta kekeliruan yang ada, tidak luput dari keterbatasan penulis sebagai manusia yang memiliki banyak kekurangan dan kesalahan. Semoga laporan ini dapat bermanfaat baik secara individu maupun secara umum. Aamiin.

Makassar, Juli 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
SARI.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	1
DAFTAR ISI.....	3
DAFTAR GAMBAR	5
DAFTAR TABEL.....	9
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Letak 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 Fisiografi Lembar Kolaka	7
2.1.2 Stratigrafi Regional Lembar Kolaka	10
2.1.3 Struktur Geologi Regional dan Tektonik Lembar Kolaka	14
2.2 Metamorfisme.....	16
2.2.1 Proses Metamorfisme.....	17
2.2.2 Kondisi Metamorfisme.....	18
2.2.3 Derajat Metamorfisme	21
2.2.4 Faktor yang Memengaruhi Proses Metamorfisme	23
2.2.5 Fasies Metamorfisme	28
2.3 Batuan Metamorf.....	32
2.3.1 Tekstur Batuan Metamorf	33
BAB III METODE PENELITIAN.....	37

3.1	Metode Penelitian.....	37
3.2	Tahapan Penelitian	37
3.2.1	Penelitian Lapangan.....	37
3.2.2	Analisa Laboratorium.....	38
3.2.3	Pengolahan Data.....	39
3.3	Tahap Penyusunan Laporan	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Geologi Daerah Penelitian.....	43
4.1.1	Geomorfologi Daerah Penelitian.....	43
4.1.2	Stratigrafi Daerah Penelitian	46
4.1.3	Struktur Geologi Daerah Penelitian	51
4.2	Petrologi	52
4.2.1	Sekis Muskovit.....	52
4.2.2	Sekis Muskovit Garnet.....	54
4.2.3	Sekis Klorit.....	56
4.3	Analisa Geokimia	64
4.3.2	Unsur Jejak (Trace Element).....	70
4.3.3	Unsur Tanah Jarang (<i>Rare Earth Element</i>).....	73
4.3.4	Hubungan Analisis Petrografi dan CIPW Normatif.....	75
4.3.5	Petrogenesis dan Geotektonik.....	78
BAB V PENUTUP.....		81
5.1	Kesimpulan.....	81
5.2	Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA		82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta tunjuk daerah penelitian.....	4
Gambar 2.1	Korelasi satuan peta geologi regional lembar kolaka, Sulawesi Tenggara (Simandjutak, T.O., Surono dan Sukido, 1993).....	14
Gambar 2.2	Struktur utama dan batimetri sesar aktif Pulau Sulawesi dan sekitarnya (dimodifikasi dari Hall dan Wilson, 2000 dalam Watkinson 2011).....	16
Gambar 2.3	Kisaran suhu dan tekanan dalam proses metamorfisme (Best, 2003)	18
Gambar 2.4	Hubungan antara derajat metamorfisme dengan batuan yang dihasilkan	23
Gambar 2.5	Grafik pengaruh suhu dan tekanan dalam proses metamorfisme. ...	25
Gambar 2.6	Tekanan diferensial (<i>differential pressure</i>) pada proses metamorfisme yang menghasilkan orientasi mineral-mineral penyusun batuan metamorf (Winter, 2001).....	26
Gambar 2.7	Pengaruh suhu, tekanan, dan fluida pada proses metamorfisme (Winter, 2001).	27
Gambar 2.8	Diagram suhu dan tekanan (<i>P&T Path diagram</i>) yang memperlihatkan konsep <i>facies</i> dihubungkan dengan kondisi suhu, tekanan, serta kedalaman. (Philpotts dan Ague, 2009)	28
Gambar 3.1	Diagram Alir Metode dan Tahapan Penelitian	42
Gambar 4.1	Kenampakan satuan morfologi perbukitan bergelombang/miring pada daerah penelitian difoto dengan arah foto N 112°E.....	45
Gambar 4.2	Kenampakan satuan morfologi bergelombang/miring landai pada daerah penelitian difoto pada stasiun 34 dengan arah foto N 170°E..	46
Gambar 4.3	Kenampakan litologi sekis pada daerah penelitian difoto pada stasiun MR 9 dengan arah foto N 125°E.....	47
Gambar 4.4	Kenampakan petrografis Sekis Muskovit pada conto batuan MR 9 yang memperlihatkan kandungan mineral muskovit (Ms), kuarsa (Qzt) dan garnet (Gr).....	48

Gambar 4.5	Kenampakan singkapan marmer pada daerah penelitian difoto pada stasiun 1TR 4 dengan arah foto N 135°E.	49
Gambar 4.6	Kenampakan petrografis marmer pada contoh sayatan 1 TR.4 yang memperlihatkan mineral karbonat berupa kalsit, muskovit dan kuarsa dengan Perbesaran 5x pada nikol silang.	50
Gambar 4.7	Kenampakan singkapan Batupasir pada daerah penelitian difoto pada stasiun MR 3 dengan arah foto N 55°E.	51
Gambar 4.8	Kenampakan cermin sesar pada batuan sekis difoto pada stasiun 3TR14 dengan arah foto N 35°E.	52
Gambar 4.9	Kenampakan <i>hand specimen</i> sekis muskovit pada Stasiun AM 2B.	53
Gambar 4.10	Kenampakan petrografis sekis muskovit pada sayatan AM 2B, yang memperlihatkan kandungan mineral terdiri atas kuarsa (Qz), muskovit (Ms).	53
Gambar 4.11	Kenampakan <i>hand specimen</i> sekis muskovit garnet pada Stasiun MR 8.	54
Gambar 4.12	Kenampakan petrografis sekis muskovit garnet pada sayatan MR 8, yang memperlihatkan kandungan mineral terdiri atas kuarsa (Qz), muskovit (Ms), Garnet (Gr).	55
Gambar 4.13	Kenampakan <i>hand specimen</i> sekis muskovit garnet pada Stasiun MR 8.	56
Gambar 4.14	Kenampakan petrografis sekis muskovit garnet pada sayatan MR 9, yang memperlihatkan kandungan mineral terdiri atas kuarsa (Qz), muskovit (Ms), Garnet (Gr).	56
Gambar 4.15	Kenampakan <i>hand specimen</i> sekis klorit pada Stasiun 2 TR 9. ...	57
Gambar 4.16	Kenampakan petrografis sekis klorit pada sayatan 2 TR 9, yang memperlihatkan kandungan mineral terdiri atas kuarsa (Qz), klorit (Chl), muskovit (Ms) dan mineral opak (Op)	57
Gambar 4.17	Kenampakan <i>hand specimen</i> sekis klorit pada Stasiun 3 TR 12C.	58

Gambar 4.18	Kenampakan petrografis sekis klorit pada sayatan 3 TR 12C, yang memperlihatkan kandungan mineral terdiri atas kuarsa (Qz), klorit (Chl), muskovit (Ms), serisit (Ser), dan mineral opak (Op).....	59
Gambar 4.19	Kenampakan <i>hand specimen</i> sekis klorit pada Stasiun MR 13...	60
Gambar 4.20	Kenampakan petrografis sekis klorit pada sayatan MR 13, yang memperlihatkan kandungan mineral terdiri atas kuarsa (Qz), klorit (Chl) muskovit (Ms), serisit (Ser), dan mineral opak (Op).....	60
Gambar 4.21	Kenampakan <i>hand specimen</i> sekis klorit pada Stasiun 3 TR 15.	61
Gambar 4.22	Kenampakan petrografis sekis klorit pada sayatan 3 TR 15, yang memperlihatkan kandungan mineral terdiri atas kuarsa (Qz), klorit (Chl) muskovit (Ms), serisit (Ser), dan mineral opak (Op).....	61
Gambar 4.23	Diagram fasies metamorfisme yang memperlihatkan hubungan antara temperatur dan tekanan menurut Yardley (1989) yang perbaharui oleh Liou, dkk (2001).....	63
Gambar 4.24	Ilustrasi skema penampang fasies metamorfisme pada busur kepulauan Ernst (1976)	63
Gambar 4.25	Hasil <i>plotting</i> pada klasifikasi afinitas magma berdasarkan perbandingan K_2O dan SiO_2 (Pecerillo dan Taylor, 1976 dalam Rollinson, 1993).....	67
Gambar 4.26	Hasil <i>plotting</i> unsur utama ($SiO_2 - Na_2O + K_2O$) pada klasifikasi batuan beku vulkanik menurut Middlemost, 1994 dalam Rollinson, 1993).....	68
Gambar 4.27	Hasil <i>plotting</i> kandungan unsur utama terhadap SiO_2 pada diagram variasi (Harker, 1909 dalam Rollinson, 1993).....	70
Gambar 4.28	Hasil <i>plotting</i> kandungan unsur jejak yang dinormalisasikan terhadap <i>Primitive Mantle</i> (Pearce, 1996).....	72
Gambar 4.29	Hasil <i>plotting</i> kandungan unsur jejak yang dinormalisasikan terhadap MORB (Pearce, 1983).....	72
Gambar 4.30	Hasil <i>plotting</i> kandungan unsur tanah jarang yang dinormalisasikan terhadap <i>Chondrite</i> (Boynton, 1984)	74
Gambar 4.31	Hasil <i>plotting</i> antara Nb/Yb dan Th/ Yb (Pearce, 2008).....	79

Gambar 4.32 Hasil plotting unsur Th, Ta dan Yb (Schandl dan Gorton, 2002).. 79

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Persentase kandungan unsur utama dari batuan host rock cebakan emas pada daerah penelitian.....	65
Tabel 4.2 Klasifikasi magma berdasarkan kandungan SiO ₂ (%) atau derajat keasamaan (Le Maitre et al., 1989 dalam Rollinson, 1993).....	66
Tabel 4.3 Komposisi kandungan senyawa SiO ₂ versus Na ₂ O + K ₂ O.	68
Tabel 4.4 Hasil analisa geokimia berupa unsur jejak (<i>trace element</i>).....	71
Tabel 4.5 Hasil analisa geokimia berupa unsur tanah jarang (<i>REE</i>).....	73
Tabel 4.6 Persentase mineral batuan penyusun di daerah penelitian pada analisis petrografi.	75
Tabel 4.7 Tabel kalkulasi hasil <i>plotting</i> unsur utama pada perhitungan CIPW normatif.....	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan sumber daya alam, khususnya sumberdaya mineral merupakan salah satu aspek yang paling menjanjikan untuk dikelola sebagai sumber pembiayaan dan pembangunan bagi daerah, akan tetapi pemanfaatan sumberdaya mineral ini memerlukan penyajian informasi geologi yang lengkap, akurat dan informatif sehingga dapat dijadikan bahan acuan studi kelayakan dalam pengelolaannya.

Salah satu sumberdaya mineral yang sangat berpotensi di Indonesia yaitu potensi endapan emas sebagai hasil dari alterasi hidrotermal. Endapan emas adalah endapan mineral hidrotermal dimana di dalamnya terdapat hubungan yang sangat erat antara larutan hidrotermal dengan alterasi dan mineralisasi yang kemudian menyebabkan perubahan mineralogi pada batuan karena berubahnya unsur-unsur kimia pada batuan tersebut. Adanya kumpulan mineral ubahan dapat menjadi petunjuk dalam menentukan zona alterasi dan mineralisasi pada endapan emas tersebut.

Salah satu endapan emas yang ada di Indonesia yang sangat anomali dan unik yang kemudian ditemukan oleh beberapa ahli geologi yaitu endapan emas orogenik dimana pada daerah tersebut sangat dipengaruhi oleh aktifitas struktur yang sangat kuat pada batuan metamorf yang merupakan batuan samping. Daerah yang sangat menarik untuk dilakukan penelitian tentang endapan emas yaitu pada daerah Bombana, Sulawesi Tenggara. Sejauh ini diyakini bahwa sumber

mineralisasi berasal dari magma, sehingga fenomena kehadiran endapan emas pada batuan-batuan malihan atau metamorf di Bombana sangat menarik, karena tidak pernah dilaporkan sebelumnya terdapat batuan beku di daerah ini yang menjadi kunci genesa mineralisasi emas primer.

Hal inilah yang mendorong penulis untuk melakukan penelitian yang lebih detail mengenai “*Studi Petrologi Dan Geokimia Batuan Metamorf Daerah Tahiti Kecamatan Rarowatu Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara*” agar diperoleh data-data yang cukup sebagai penunjang informasi geologi untuk mengetahui potensi yang terdapat pada daerah tersebut demi pengembangan daerah kearah yang lebih maju di masa yang akan datang.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan studi mengenai petrologi dan geokimia pada batuan metamorf sebagai *host rock* dari endapan emas pada daerah penelitian.

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui variasi batuan metamorf yang ada pada daerah penelitian.
2. Mengetahui variasi batuan asal (*protolith*) berdasarkan kandungan unsur utama (*major element*) pada daerah penelitian.
3. Mengetahui fasies metamorfisme dari batuan metamorf di daerah penelitian.
4. Mengetahui lingkungan tektonik terbentuknya batuan metamorf pada daerah penelitian berdasarkan kandungan unsur jejak (*trace element*) dan unsur tanah jarang (*REE*).

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan membatasi masalah tentang petrologi dan geokimia dari batuan metamorf di daerah penelitian dengan tujuan untuk mengetahui jenis litologi dan genesa terbentuknya batuan metamorf sebagai *host rock* dari endapan emas. Data yang digunakan ialah data hasil analisa *XRF* (*X-ray fluorescence spectrometry*), *ICP-MS* (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) dan sayatan tipis dengan menggunakan analisis petrografi.

1.4 Letak dan Kesampaian Daerah

Secara administratif daerah penelitian terletak di Desa Tahi Ite, Kecamatan Rarowatu Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara tepatnya pada konsesi PT. Tiran Indonesia pada daerah eksplorasi endapan emas. (Gambar 1.1).

Secara geografis, daerah penelitian terletak antara 121°48'45" BT – 121°50'15" BT dan 4°39'50" LS – 4°41'15". Daerah penelitian dapat dicapai dengan menggunakan transportasi udara dan darat dari Makassar menuju Kota Kendari menggunakan pesawat selama 50 menit, dari pusat Kota Kendari menuju Kabupaten Bombana yang merupakan lokasi penelitian dapat dicapai dengan kendaraan roda dua dan roda empat dengan waktu tempuh sekitar 6 jam yang berjarak ± 220 km, mengarah baratdaya dari pusat Kota Kendari.



Gambar 1.1 Peta tunjuk daerah penelitian

1.5 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan selama penelitian berlangsung adalah sebagai berikut :

1. Peta Topografi berskala 1 : 25.000 yang merupakan hasil pembesaran dari peta rupa bumi skala 1 : 50.000 terbitan Bakosurtanal
2. Kompas Geologi
3. *Global Positioning Sistem* (GPS)
4. Komparator
5. Buku catatan lapangan
6. Kantong sampel

7. Kamera digital
8. Alat tulis menulis
9. Clipboard
10. Ransel lapangan
11. Penggaris
12. Perlengkapan pribadi

1.6 Peneliti Terdahulu

Beberapa ahli geologi telah melakukan penelitian di daerah ini baik secara lokal maupun regional. Hasil penelitian geologi yang dijadikan acuan dalam penelitian ini antara lain:

1. Fadlin, dkk (2012) *“melakukan penelitian tentang karakteristik endapan emas orogenik sebagai sumber emas placer di daerah Wumbubangka, Bombana, Sulawesi Tenggara.”*
2. Idrus dan Prihatmoko (2011) menyebutkan adanya potensi mineralisasi emas pada batuan metamorf di pegunungan Rumbia dan Mendoke Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara.
3. Idrus dkk (2011) *“melakukan penelitian tentang Tipe cebakan emas orogen pada batuan metamorf sebagai sumber emas letakan Langkowala, Bombana, Sulawesi Tenggara.”*
4. Musri (2015) meneliti tentang *“evolusi batuan metamorf kompleks rumbia, lengan tenggara Sulawesi serta kaitannya dengan mineralisasi emas”*.

5. Pemetaan geologi oleh Simanjuntak, dkk (1993) menghasilkan lembar Kolaka skala 1 : 250.000, yang menyatakan bahwa Peta Geologi lembar Kolaka dibagi menjadi endapan permukaan dan batuan sedimen.
6. Setiawan dkk (2012) *“melakukan penelitian tentang karakter dan tipe mineralisasi hidrotermal di wilayah Bombana berdasarkan studi mineralogi dan geokimia.”*
7. Van Leeuwen, dkk (2011), melakukan penelitian mengenai, *“Endapan mineral di Sulawesi”*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Berikut penjelasan peta geologi lembar kolaka, Sulawesi yang meliputi fisiografi, stratigrafi, struktur dan tektonik regional.

2.1.1 Fisiografi Lembar Kolaka

Menurut Simandjuntak, Surono dan Sukido (1993) Ada lima satuan morfologi pada bagian tengah dan ujung selatan lengan tenggara Sulawesi, yaitu morfologi pegunungan, morfologi perbukitan tinggi, morfologi perbukitan rendah, morfologi pedataran dan morfologi karst.

1. Morfologi pegunungan

Satuan morfologi pegunungan menempati bagian terluas di kawasan ini, terdiri atas pegunungan Mekongga, Pegunungan Tangkeleboke, Pegunungan Mendoke dan Pegunungan Rumbia yang terpisah di ujung selatan Lengan Tenggara. Puncak tertinggi pada rangkaian pegunungan Mekongga adalah Gunung Mekongga yang mempunyai ketinggian 2790 mdpl. Pegunungan Tangkelamboke mempunyai puncak Gunung Tangkelamboke dengan ketinggian 1500 mdpl. Satuan morfologi ini mempunyai topografi yang kasar dengan kemiringan lereng tinggi. Rangkaian pegunungan dalam satuan ini mempunyai pola yang hampir sejajar berarah baratlaut - tenggara. Arah ini mengindikasikan bahwa pembentukan morfologi pegunungan itu erat hubungannya dengan sesar regional.

Satuan pegunungan terutama dibentuk oleh batuan malihan dan setempat oleh batuan ofiolit. Ada perbedaan yang khas di antara kedua penyusun batuan itu. Pegunungan yang disusun oleh batuan ofiolit mempunyai punggung gunung yang panjang dan lurus dengan lereng relatif lebih rata, serta kemiringan yang tajam. Sementara itu, pegunungan yang dibentuk oleh batuan malihan, punggung gunungnya terputus pendek-pendek dengan lereng yang tidak rata walaupun bersudut tajam.

2. Morfologi perbukitan tinggi

Morfologi perbukitan tinggi menempati bagian selatan lengan tenggara, terutama di selatan Kendari. Satuan ini terdiri atas bukit-bukit yang mencapai ketinggian 500 mdpl dengan morfologi kasar. Batuan penyusun morfologi ini berupa batuan sedimen klastika mesozoikum dan tersier.

3. Morfologi Perbukitan Rendah

Morfologi perbukitan rendah melampar luas di Utara Kendari dan Ujung selatan Lengan Tenggara Sulawesi. Satuan ini terdiri atas bukit kecil dan rendah dengan morfologi yang bergelombang. Batuan penyusun satuan ini terutama batuan sedimen klastika mesozoikum dan tersier.

4. Morfologi Pedataran

Morfologi dataran rendah dijumpai di bagian tengah ujung selatan Lengan Tenggara Sulawesi. Tepi selatan Dataran Wawatobi dan Dataran Sampara berbatasan langsung dengan morfologi pegunungan. Penyebaran morfologi ini tampak sangat dipengaruhi oleh sesar geser mengiri (sesar Kolaka dan Sistem Sesar Kanaweha). Kedua sistem ini diduga masih aktif, yang ditunjukkan oleh

adanya torehan pada endapan alluvial dalam kedua dataran tersebut (Surono dkk, 1997). Sehingga sangat mungkin kedua dataran itu terus mengalami penurunan. Akibat dari penurunan ini tentu berdampak buruk pada dataran tersebut, diantaranya pemukiman dan pertanian di kedua dataran itu akan mengalami banjir yang semakin parah setiap tahunnya.

Dataran Langkowala yang melampar luas diujung selatan Lengan Tenggara, merupakan dataran rendah. Batuan penyusunnya terdiri atas batupasir kuarsa dan konglomerat kuarsa Formasi Langkowala. Dalam dataran ini mengalir sungai-sungai yang pada musim hujan berair melimpah sedang pada musim kemarau kering. Hal ini mungkin disebabkan batupasir dan konglomerat sebagai dasar sungai masih lepas, sehingga air dengan mudah merembes masuk ke dalam tanah. Sungai tersebut di antara Sungai Langkowala dan Sungai Tinanggea. Batas selatan antara Dataran Langkowala dan pegunungan Rumbia merupakan tebing terjal yang dibentuk oleh sesar berarah hampir barat-timur.

5. Morfologi karst

Morfologi karst melampar di beberapa tempat secara terpisah. Satuan ini dicirikan perbukitan kecil dengan sungai di bawah permukaan tanah. Sebagian besar batuan penyusun satuan morfologi ini didominasi oleh batugamping berumur Paleogen dan selebihnya batugamping Mesozoikum. Batugamping ini merupakan bagian Formasi Eemoiko, Formasi Laonti, Formasi Buara dan bagian atas dari formasi ini sudah berubah menjadi marmer. Perubahan ini erat hubungannya dengan pensesarnaiikkan ofiolit ke atas kepingan benua.

2.1.2 Stratigrafi Regional Lembar Kolaka

Menurut Simandjuntak, Surono dan Sukido (1993) formasi batuan penyusun peta geologi regional lembar Kolaka diuraikan dari termuda sebagai berikut:

1. Aluvium (Qa)

Aluvium (Qa) terdiri atas lumpur, lempung, pasir kerikil dan kerakal. Satuan ini merupakan endapan sungai, rawa dan endapan pantai. Umur satuan ini adalah Holosen.

2. Formasi Alangga (Qpa)

Formasi Alangga (Qpa) terdiri atas konglomerat dan batupasir. Umur dari formasi ini adalah Plistosen dan lingkungan pengendapannya pada daerah darat-payau. Formasi ini menindih tak selaras formasi yang lebih tua yang masuk ke dalam kelompok molasa Sulawesi.

3. Formasi Buara (Ql)

Formasi Buara (Ql) terdiri atas terumbu koral, konglomerat dan batupasir. Umur dari formasi ini adalah Plistosen-Holosen dan terendapkan pada lingkungan laut dangkal.

4. Formasi Boepinang (Tmpb)

Formasi Boepinang (Tmpb) terdiri atas lempung pasir, napal pasir dan batupasir. Batuan ini berlapis dengan kemiringan perlapisan relatif kecil $<15^\circ$ yang dijumpai membentuk antiklin dengan sumbu antiklin berarah baratdaya – timurlaut. Umur formasi ini diperkirakan Pliosen dan terendapkan pada lingkungan laut dangkal (*neritic*).

5. Formasi Eemoiko (Tmpe)

Formasi Eemoiko (Tmpe) terdiri atas kalkarenit, batugamping koral, batupasir dan napal. Formasi ini berumur pliosen dengan lingkungan pengendapan laut dangkal, hubungan menjemari dengan Formasi Boepinang.

6. Formasi Langkowala (Tml)

Formasi Langkowala (Tml) terdiri atas konglomerat, batupasir, serpih dan setempat kalkarenit. Konglomerat mempunyai fragmen beragam yang umumnya berasal dari kuarsa dan kuarsit, dan selebihnya berupa batu pasir malih, sekis dan ultrabasa. Ukuran fragmen berkisar 2 cm sampai 15 cm, setempat terutama dibagian bawah 25 cm. bentuk fragmen membulat – membulat baik, dengan sortasi menengah. Formasi ini banyak dibatasi oleh kontak struktur dengan batuan lainnya dan bagian atas menjemari dengan bagian bawah batuan sedimen formasi Boepinang (Tmpb). Hasil penanggalan umur menunjukkan bahwa batuan ini terbentuk pada Miosen Tengah.

7. Kompleks Pompangeo (MTpm)

Kompleks Pompangeo (MTpm) terdiri atas sekis mika, sekis glaukofan, sekis amphibolit, sekis klorit, rijang, pualam dan batugamping meta. Sekis berwarna putih, kuning kecoklatan, kehijauan kelabu; kurang padat sampai sangat padat serta memperlihatkan perdaunan. Setempat menunjukkan struktur *chevron*, lajur tekuk (*kink banding*) dan *augen* serta di beberapa tempat perdaunan terlipat. Rijang berwarna kelabu sampai coklat; agak padat sampai sangat padat setempat tampak struktur perlapisan halus (perarian). Pualam berwarna kehijauan, kelabu sampai kelabu gelap, coklat sampai merah coklat, dan hitam bergaris putih; sangat padat

dengan persekisan, tekstur umumnya *nematoblase* yang memperlihatkan pengarahannya. Persekisan dalam batuan ini didukung oleh adanya pengarahannya adanya kalsit hablur yang bergabung dengan mineral kedap (opak). Batuan terutama tersusun oleh kalsit, dolomit dan piroksen; mineral lempung dan mineral bijih dalam bentuk garis. Wolastonit dan apatit terdapat dalam jumlah sangat kecil. Plagioklas jenis albit mengalami penghabluran ulang dengan piroksen. Satuan ini mempunyai kontak struktur geser dengan satuan yang lebih tua di bagian utara yaitu Kompleks Mekongga (Pzm). Berdasarkan penarikan umur oleh Kompleks Mekongga mempunyai umur Kapur Akhir – Paleosen Bawah.

8. Formasi Matano (Km)

Formasi Matano (Km) terdiri atas batugamping hablur rijang dan batusabak. Batugamping berwarna putih kotor sampai kelabu; berupa endapan kalsilutit yang telah menghablur ulang dan berbutir halus (lutit); perlapisan sangat baik dengan ketebalan lapisan antara 10-15 cm; di beberapa tempat dolomitan; ditempat lain mengandung lensa rijang setempat perdaunan. Rijang berwarna kelabu sampai kebiruan dan coklat kemerahan; pejal dan padat. Berupa lensa atau sisipan dalam batugamping dan napal; ketebalan sampai 10 cm. batusabak berwarna coklat kemerahan; padat dan setempat gampingan; berupa sisipan dalam serpih dan napal, ketebalan sampai 10 cm. berdasarkan kandungan fosil batugamping, yaitu *Globotruncana* sp dan *Heterohelix* sp, serta *Radiolaria* dalam rijang, Formasi Matano diduga berumur Kapur Atas dengan lingkungan pengendapan pada laut dalam.

9. Kompleks Ultramafik (Ku)

Kompleks Ultramafik (Ku) terdiri dari harzburgit, dunit, wherlit, serpentinite, gabro, basal, dolerit, diorit, mafik meta, amphibolit, magnesit dan setempat rodingit. Satuan ini diperkirakan berumur Kapur.

10. Formasi Meluhu (TRJm)

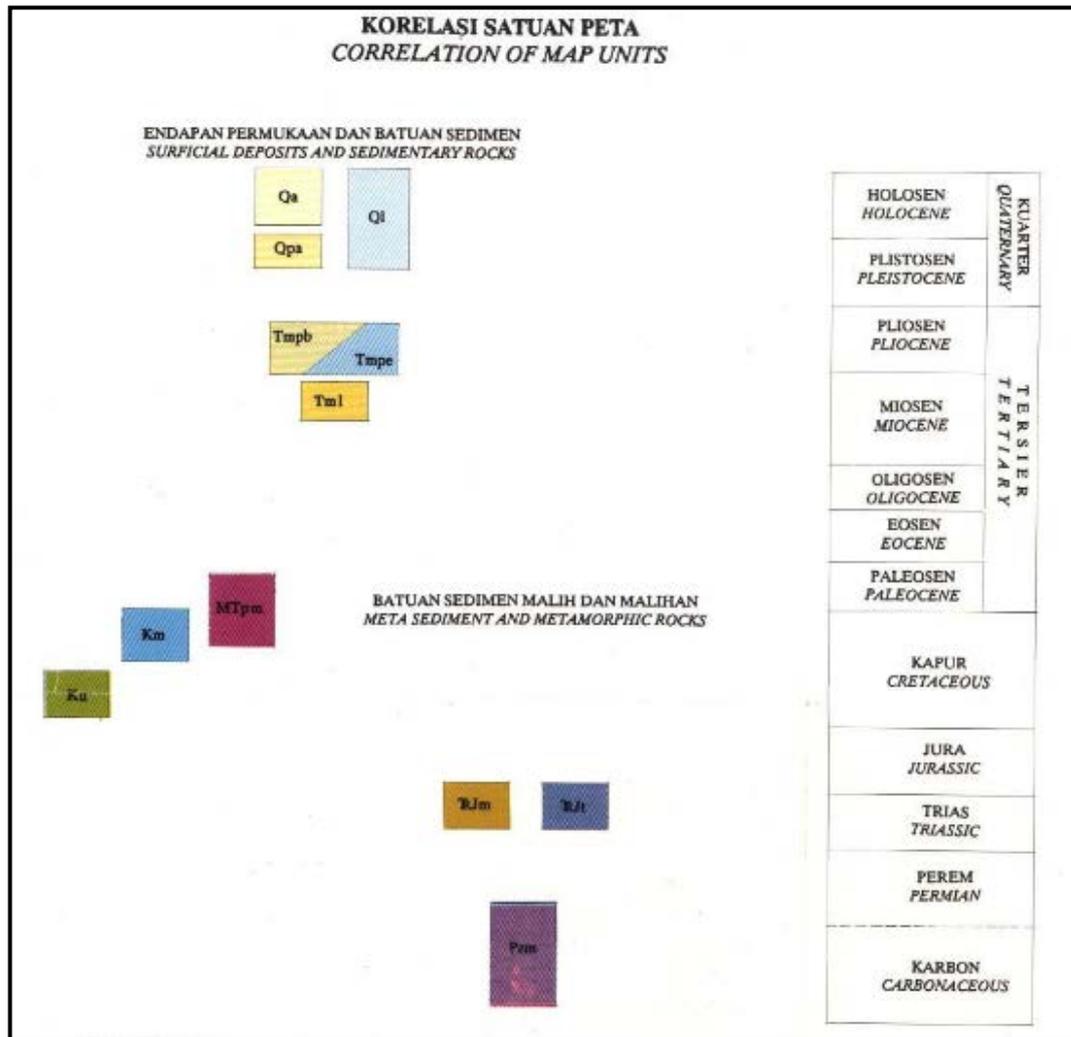
Formasi Meluhu (TRJm) terdiri atas batupasir kuarsa, serpih merah, batulanau, dan batulumpur di bagian bawah; perselingan serpih hitam, batupasir, dan batugamping di bagian atas. Formasi ini mengalami tektonik kuat yang ditandai oleh kemiringan perlapisan batuan hingga 80° dan adanya puncak antiklin yang memanjang utara baratdaya – tenggara. Umur dari formasi ini diperkirakan Trias.

11. Formasi Laonti (TRJt)

Formasi Laonti (TRJt) terdiri atas batugamping malih, pualam dan kuarsit. Kuarsit, putih sampai coklat muda; pejal dan keras; berbutir (granular), terdiri atas mineral granoblas, senoblas, dengan butiran dan halus sampai sedang. Batuan sebagian besar terdiri dari kuarsa, jumlahnya sekitar 97%. Oksida besi bercelah diantara kuarsa, jumlahnya sekitar 3%. Umur dari formasi ini adalah Trias.

12. Kompleks Mekongga (Pzm)

Kompleks Mekongga (Pzm) terdiri atas sekis, genes dan kuarsit. Genes berwarna kelabu sampai kelabu kehijauan; bertekstur heteroblas, *xenomorph* sama butiran, terdiri dari mineral granoblas berbutir halus sampai sedang. Jenis batuan ini terdiri atas genes kuarsa biotit dan genes muskovit. Bersifat kurang padat sampai padat.



Gambar 2.1 Korelasi satuan peta geologi regional lembar kolaka, Sulawesi Tenggara (Simandjutak, T.O., Surono dan Sukido, 1993)

2.1.3 Struktur Geologi Regional dan Tektonik Lembar Kolaka

Pada lengan tenggara Sulawesi, struktur utama yang terbentuk setelah tumbukan adalah sesar geser mengiri, termasuk sesar Matarombeo, sistem sesar Lawanopo, sistem sesar Konaweha, sesar Kolaka, dan banyak sesar lainnya serta liniasi. Sesar dan liniasi menunjukkan sepasang arah utama tenggara-baratlaut (332°) dan timurlaut baratdaya (42°). arah tenggara baratlaut merupakan arah

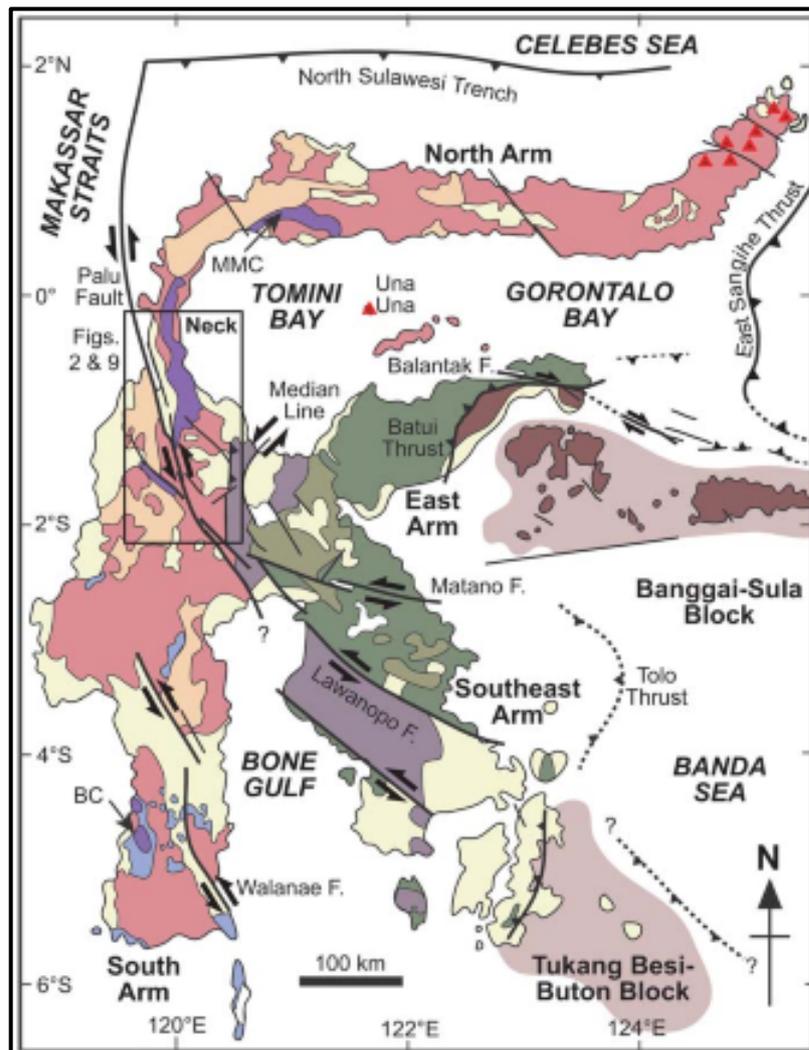
umum dari sesar geser mangiri dilengan tenggara Sulawesi (Simandjuntak dkk, 1993).

Sistem sesar Lawanopo termasuk sesar-sesar berarah utama baratlaut-tenggara yang memanjang sekitar 260 km dari utara Malili sampai tanjung Toronipa. Ujung baratlaut sesar ini menyambung dengan sesar Matano, sementara ujung tenggaranya bersambung dengan sesar Hamilton yang memotong sesar naik Tolo. Sistem sesar ini diberi nama sesar Lawanopo berdasarkan dataran Lawanopo yang ditorehnya. Analisis stereografi orientasi bodin, yang diukur pada tiga lokasi, menunjukkan keberagaman azimuth rata-rata/ plunge: $30^{\circ}/44^{\circ}$, $356,3^{\circ}/49^{\circ}$, dan $208,7^{\circ}/21^{\circ}$ (Simandjuntak dkk, 1993).

Adanya mata air panar di Desa Toreo, sebelah tenggara Tinobu serta pergeseran pada bangunan dinding rumah dan jalan sepanjang sesar ini menunjukkan bahwa sistem sesar Lawanopo masih aktif sampai sekarang. Lengan Sulawesi tenggara juga merupakan kawasan pertemuan lempeng, yakni lempeng benua yang berasal dari Australia dan lempeng samudra dari Pasifik. Kepingan benua di lengan tenggara Sulawesi dinamai Mintakat Benua Sulawesi Tenggara (*South East Sulawesi Continental Terrane*) dan Mintakat Matarambeo. Kedua lempeng dari jenis yang berbeda ini bertabrakan dan kemudian ditindih oleh endapan Molasa Sulawesi (Simandjuntak dkk, 1993).

Sebagai akibat subduksi dan tumbukan lempeng pada Oligosen Akhir-Miosen Awal, Kompleks ofiolit tersesar-naikkan ke atas mintakat benua. Molasa Sulawesi yang terdiri atas batuan sedimen klastika dan karbonat terendapkan selama akhir dan sesudah tumbukan, sehingga molasa ini menindih tidak selaras

Mintakat Benua Sulawesi Tenggara dan Kompleks Ofiolit tersebut. Pada akhir Kenozoikum lengan ini di koyak oleh sesar Lawanopo dan beberapa pasangannya termasuk Sesar Kolaka (Simandjuntak dkk, 1993).



Gambar 2.2 Struktur utama dan batimetri sesar aktif Pulau Sulawesi dan sekitarnya (dimodifikasi dari Hall dan Wilson, 2000 dalam Watkinson 2011)

2.2 Metamorfisme

Metamorfisme merupakan proses geologi yang mengubah komposisi mineralogi dan kimiawi, serta struktur batuan. Metamorfisme biasanya dikaitkan dengan peningkatan suhu dan tekanan, sehingga memengaruhi batuan di dalam

kerak dan mantel bumi. Proses tersebut didorong oleh perubahan kondisi fisik dan kimiawi sebagai respons terhadap dinamika proses geologi dalam skala besar (Best, 2003).

2.2.1 Proses Metamorfisme

Proses metamorfisme merupakan suatu proses perubahan batuan akibat perubahan tekanan, temperatur dan adanya aktifitas kimia fluida/gas atau variasi dari ketiga faktor tersebut. Proses metamorfosa merupakan proses isokimia, dimana tidak terjadi penambahan unsur-unsur kimia pada batuan yang mengalami metamorfosa. Temperatur berkisar antara 200°C – 800° C, tanpa melalui fase cair. (Philpotts dan Ague, 2009)

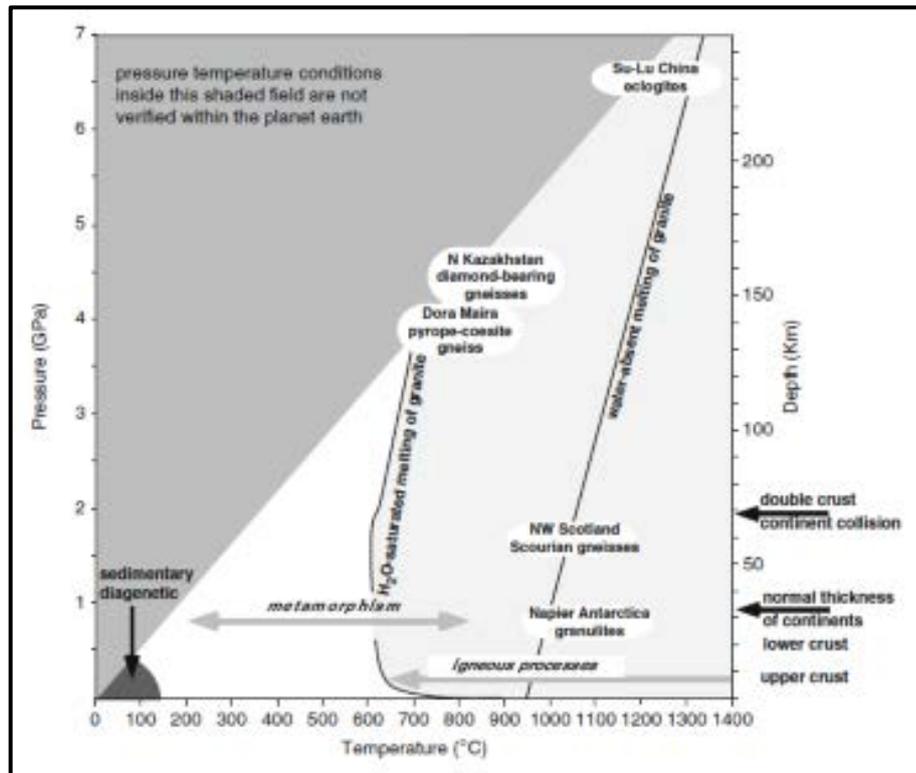
Proses metamorfisme kadang-kadang tidak berlangsung sempurna, sehingga perubahan pada batuan asal tidak terlalu besar, hanya kekompakan batuan saja yang bertambah. Proses metamorfisme yang sempurna menyebabkan karakteristik batuan asal tidak terlihat lagi. Pada kondisi perubahan yang sangat ekstrim, peningkatan temperatur mendekati titik lebur batuan, padahal perubahan batuan dalam kondisi metamorfisme harus tetap dalam keadaan padat. Apabila sampai mencapai titik lebur maka proses tersebut bukan lagi proses metamorfisme tapi termasuk aktivitas magmatisme (Philpotts dan Ague, 2009).

Agen atau media yang menyebabkan proses metamorfisme adalah panas, tekanan, dan cairan kimia aktif. Ketiga media tersebut dapat bekerja bersama-sama pada batuan yang mengalami proses metamorfisme, tetapi derajat metamorfisme dan kontribusi dari tiap agen berbeda. Pada proses metamorfisme tingkat tinggi, kondisi temperatur dan tekanan hanya sedikit diatas kondisi proses

litifikasi pada batuan sedimen, sedangkan pada proses metamorfisme tingkat tinggi, kondisinya sedikit dibawah kondisi peleburan batuan (Philpotts dan Ague, 2009).

2.2.2 Kondisi Metamorfisme

Semua proses geologi yang berskala besar seperti pergerakan lempeng tektonik, subduksi dari lempeng oseanik, tumbukan antara lempeng kontinen dengan kontinen, dan pemekaran tengah samudera menghasilkan pergerakan dari batuan yang akan menghasilkan tekanan dan energi panas. Perubahan tekanan dan suhu tersebut kemudian menjadi faktor yang penting dalam proses metamorfisme (Best, 2003) (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Kisaran suhu dan tekanan dalam proses metamorfisme (Best, 2003)

2.2.2.1 Batas Suhu Metamorfisme Minimal

Batuan pada umumnya akan mengalami perubahan sesaat setelah proses pengendapan dan terus berlangsung sejalan dengan waktu. Namun, perubahan tersebut belum bisa dikatakan sebagai proses metamorfisme karena suhu dan tekanannya masih sangat rendah. Demikian pula dengan proses pelapukan yang terjadi pada suhu permukaan yang belum bisa digolongkan sebagai proses metamorfisme (Bucher dan Grapes, 2011).

Pada prinsipnya kondisi kimia-fisika yang memulai metamorfisme sangat bergantung pada jenis batuan, tekstur dan komposisinya. Sebagai contoh, batuan yang banyak mengandung material organik akan mengalami metamorfisme pada suhu yang lebih rendah daripada batuan kaya akan silika dan karbonat. Secara umum batas suhu minimal metamorfisme dan proses diagenesis sangat tipis (*absurd*), tetapi dapat disimpulkan bahwa batas bawah dari proses metamorfisme disepakati berlangsung dari suhu $150\pm 50^{\circ}\text{C}$. Kehadiran mineral-mineral kunci seperti karpolit, stipnomelan, paragonit, dan zeolit dapat dijadikan petunjuk batas minimal terjadinya proses metamorfisme pada suatu batuan (Bucher dan Grapes, 2011).

2.2.2.2 Batas Suhu Metamorfisme Maksimal

Pada suhu yang sangat tinggi, batuan akan mengalami pelelehan (*melting*) atau peleburan. Titik lebur batuan ini merupakan batas tertinggi dari proses metamorfisme. Suhu peleburan sangat bergantung pada tekanan, komposisi batuan, dan ketersediaan air. Sebagai contoh, pada tekanan 500 MPa dengan ketersediaan air, batuan granitik akan melebur pada suhu 660°C sementara batuan

basalik membutuhkan suhu yang lebih tinggi, yaitu sekitar 800°C. Apabila air tidak ada, titik lebur akan semakin tinggi. Granit *genes* akan melebur pada suhu 1000°C sedangkan batuan basalik akan melebur pada suhu sekitar 1120°C. Batuan-batuan metamorf yang mempunyai titik lebur tinggi tersebut dinamakan batuan metamorf bersuhu sangat tinggi (*ultrahigh temperature metamorphic rock*. UHT) yang biasanya berupa *magnesian-* dan *aluminous-rich geneses*. Suhu pada bagian bawah lempeng kontinen di daerah yang secara geologi aktif diperkirakan sekitar 750-850°C dan batuan metamorf yang terbentuk di daerah ini disebut dengan istilah granulit (*granulite*). Kondisi ini kemudian dijadikan sebagai batas atas dari proses metamorfisme pada lingkungan normal (Bucher dan Frey, 2002).

2.2.2.3 Batas Tekanan Metamorfisme Minimal

Kenaikan larutan magma merupakan gejala yang luar biasa pada suatu daerah yang secara geologi sangat aktif. Panas yang dilepaskan oleh magma yang membeku menyebabkan terjadinya proses metamorfisme di sekitar magma tersebut yang akan menghasilkan kontak yang disebut dengan aureol (*aureole*) pada kedalaman yang rendah dan menghasilkan kenaikan tekanan beberapa megapascal (Bucher dan Frey, 2002).

2.2.2.4 Batas Tekanan Metamorfisme Maksimal

Pada awalnya batas tekanan maksimum dari proses metamorfisme ditafsirkan sebesar 1 GPa yang merupakan tekanan litostatik pada bagian bawah lempeng kontinen dengan tebal 30-40 km. Namun, seiring dengan tersedianya data stabilitas mineral (*mineral stability*), para ahli batuan metamorf menemukan bahwa himpunan mineral pada batuan basa yang mengalami proses metamorfisme

memberikan informasi tekanan sebesar 1.5–2 Gpa. Sebagai contoh ialah eklogit yang berasal dari batuan basaltik yang mengalami proses metamorfisme dengan tekanan yang tinggi (Bucher dan Grapes, 2011).

Selain itu, ditemukan bahwa batuan yang berasal dari kerak bagian bawah kontinen mengalami metamorfisme yang sangat tinggi di daerah Dora-Maira massif di Pegunungan Alpen (Chopin, 1984). Genes yang mengandung garnet yang berkomposisi pirop (*pyrope* (Mg-rich) dan mengandung inklusi *coesite* (*polimorf*) mengindikasikan kondisi tekanan sebesar 3.0 GPa. Batuan yang terbentuk pada kondisi tekanan yang tinggi juga dijumpai di beberapa tempat di antaranya eklogit dengan inklusi *coesite* pada garnet bahkan inklusi intan. Beberapa batuan ini mengindikasikan lingkungan pembentukan dengan tekanan mencapai sedikitnya 6 Gpa (Bucher dan Grapes, 2011).

Batuan metamorf yang terbentuk pada proses metamorfisme tekanan yang sangat tinggi diistilahkan dengan *ultrahigh pressure metamorphic rock*. Proses ini menggambarkan kondisi batuan yang berasal dari kerak mengalami subduksi sampai dengan kedalaman lebih dari 100 km (Bucher dan Grapes, 2011).

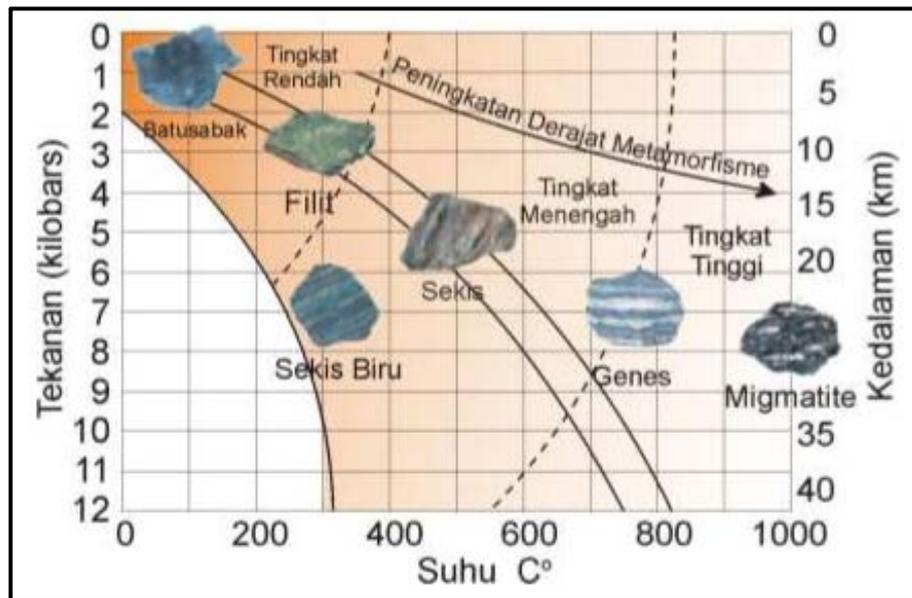
2.2.3 Derajat Metamorfisme

Pada saat suhu dan tekanan pada suatu batuan naik, maka batuan tersebut mengalami proses *prograde metamorphism* atau derajat dari metamorfisme meningkat (*prograde*). Derajat metamorfisme (*metamorphic grade*) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kondisi suhu dan tekanan relatif ketika batuan beku tersebut terbentuk (Winter, 2001).

Metamorfisme berderajat rendah (*low-grade metamorphism*) terjadi pada suhu 200-320°C dan tekanan yang cenderung rendah. Proses metamorfisme derajat rendah ini pada umumnya dicirikan oleh kehadiran mineral-mineral berhidrat (*hydrous*) atau mineral yang banyak mengandung molekul H₂O (contohnya amfibol, klorit, serpentin, dan muskovit) dalam struktur kristalnya. Dengan naiknya derajat metamorfisme, maka mineral berhidrat tersebut akan bereaksi dengan mineral lainnya atau secara perlahan-lahan terurai menjadi mineral yang sedikit berhidrat (Winter, 2001).

Metamorfisme derajat tinggi (*high-grade metamorphic*) terjadi pada suhu lebih dari 320°C pada kondisi tekanan yang tinggi. Jika derajat metamorfisme semakin naik maka jumlah mineral-mineral berhidrat semakin berkurang dan jumlah mineral-mineral anhidrat (*anhydrous*) akan semakin berlimpah (Winter, 2001).

Masing-masing tahapan derajat metamorfisme akan membentuk batuan metamorf dengan karakteristik tertentu tergantung dari *protolith* atau batuan asal dan jenis proses metamorfisme yang terjadi. Sebagai contoh apabila suatu batuan sedimen pelitik yang berkomposisi material sedimen berukuran lempung mengalami proses metamorfisme, maka pada tahap derajat rendah (*low-grade*) akan terbentuk slate, dan perlahan-lahan apabila derajat metamorfisme semakin meningkat akan terbentuk filit (*phyllite*). Apabila derajat metamorfisme terus mengalami kenaikan, maka akan terbentuk sekis (*schist*) dan akhirnya akan membentuk *genes*. Hubungan ini menunjukkan batuan-batuan yang terbentuk pada setiap tingkatan derajat metamorfisme (Winter, 2001) (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Hubungan antara derajat metamorfisme dengan batuan yang dihasilkan

2.2.4 Faktor yang Memengaruhi Proses Metamorfisme

Penyebab suatu batuan mengalami proses metamorfisme ialah mineral pada suatu batuan hanya akan stabil pada kisaran suhu tekanan dan kondisi kimia tertentu. Jika suhu tekanan dan kondisi kimia dari batuan tersebut mengalami perubahan yang drastis, mineral penyusun batuan tersebut akan berubah secara kimia yang akan menghasilkan mineral baru yang lebih stabil. Proses metamorfisme sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang sering disebut dengan agen metamorfisme (*metamorphic agent*) (Turner, 1968; Best, 2003) di antaranya ialah komposisi batuan asal (*protolith*) selain suhu dan tekanan, cairan, dan waktu.

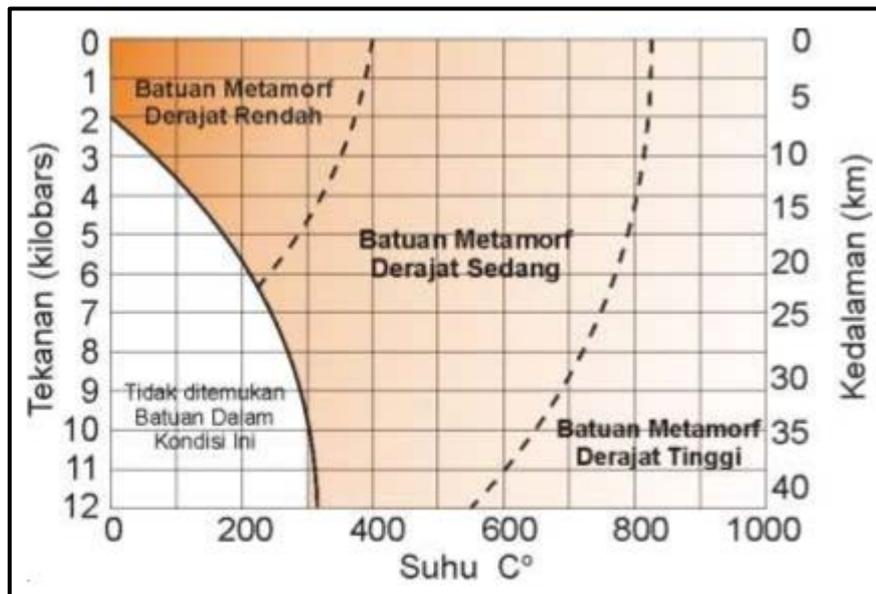
2.2.4.1 Komposisi Batuan Asal (*Protolith*)

Jenis dari batuan asal yang mengalami metamorfisme merupakan salah satu faktor penting yang akan menentukan hasil metamorfisme suatu batuan. Oleh

karena itu, batuan hasil metamorfisme sangat bergantung pada batuan asalnya. Proses metamorfisme akan menghasilkan atau melepaskan zat-zat kimia baru, tetapi pada hampir semua batuan metamorf, sebagian besar atom yang menyusun batuan asal akan tetap hadir pada batuan hasil metamorfisme. Atom-atom tersebut hanya akan mengalami penyusunan kembali menjadi mineral yang berbeda. Oleh karena itu, komposisi awal dari batuan asal sebelum termetamorfisme akan sangat menentukan jenis batuan metamorf yang dihasilkan. Selain itu, komposisi kimia dari batuan asal tidak akan berubah secara berarti akibat proses metamorfisme sehingga kita dapat dengan mudah menentukan jenis batuan asal dari komposisi kimia suatu batuan metamorf (Bucher dan Grapes, 2011).

2.2.4.2 Suhu dan Tekanan

Pada suhu di bawah 150°C, umumnya mineral masih dalam kondisi stabil. Namun, kenaikan suhu akan menyebabkan laju reaksi akan bertambah dan akan menghasilkan mineral-mineral baru. Pada kondisi di atas 600°C, mineral akan mulai melebur. Hal ini menandakan bahwa suhu merupakan fungsi bertambahnya kedalaman dan kehadiran larutan magma (Gambar 2.5). Bertambahnya kedalaman akan membuat batuan terpanaskan oleh material yang ada di atasnya (*burial*) sementara adanya terobosan magma dapat menimbulkan perubahan suhu dan tekanan. Peningkatan suhu dan tekanan juga akan memengaruhi derajat metamorfisme (*metamorphic grade*) (Bucher dan Grapes, 2011).

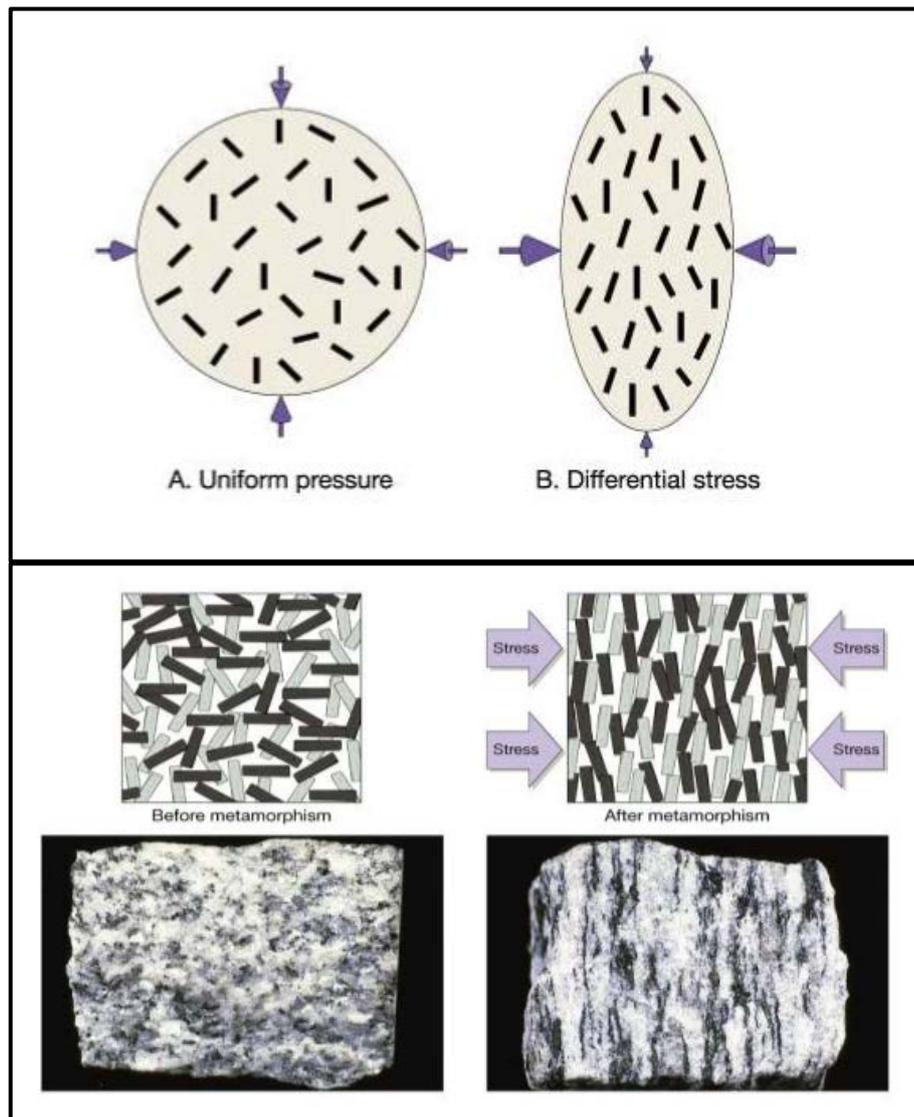


Gambar 2.5 Grafik pengaruh suhu dan tekanan dalam proses metamorfisme.

Tekanan dalam proses metamorfisme bersifat sebagai stress yang mempunyai besaran serta arah. Tekanan biasanya akan dimanifestasikan dalam tekstur batuan sedimen. Tekstur batuan metamorf memperlihatkan bahwa batuan ini terbentuk di bawah tekanan turunan (*differential stress*), atau tekanannya tidak sama besar dari segala arah. Kenaikan tekanan yang diterima pada suatu batuan akan menyebabkan rongga antar-butiran (pori-pori) pada batuan tersebut berkurang dan cairan yang ada pada rongga antar-butiran akan keluar sehingga densitasnya akan menjadi besar (Winter, 2001).

Berbeda dengan batuan beku yang terbentuk melalui lelehan dan dibawah pengaruh *uniform stress* atau mempunyai besaran yang sama dari semua arah, tekanan pada batuan metamorf merupakan tekanan turunan . Oleh karena itu, batuan beku akan memperlihatkan orientasi mineral yang tidak beraturan sedangkan batuan metamorf akan memperlihatkan orientasi mineral yang teratur. Letak mineral biotit dalam granit misalnya, tidak beraturan (A), sedangkan dalam

batuan metamorf memperlihatkan kesejajaran yang tegak lurus arah tekanan utama, terbesar (B). Pertumbuhan rekristalisasi mineral baru mengikuti arah tegangan yang terkecil, tegak lurus tegangan utama (Winter, 2001) (Gambar 2.6).

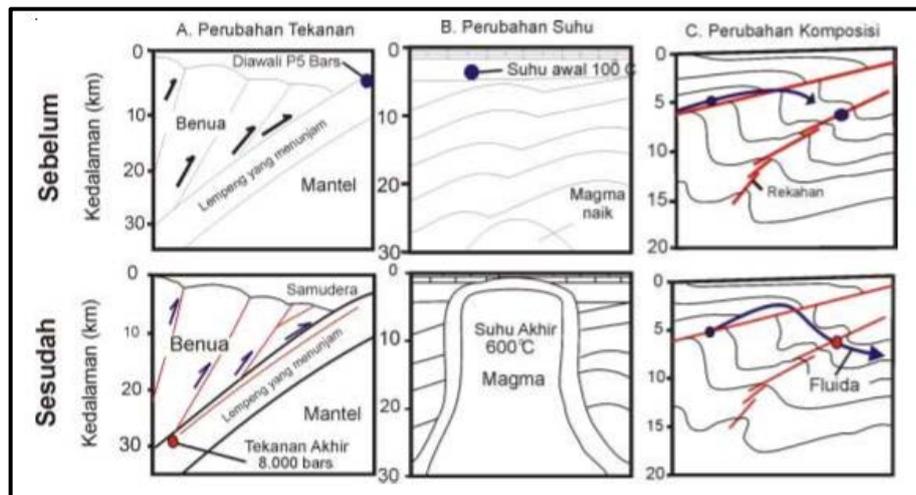


Gambar 2.6 Tekanan diferensial (*differential pressure*) pada proses metamorfisme yang menghasilkan orientasi mineral-mineral penyusun batuan metamorf (Winter, 2001)

2.2.4.3 Larutan (Fluida)

Larutan (fluida) mempunyai peranan yang sangat penting bagi proses metamorfisme. Pori-pori pada batuan sedimen atau batuan beku terisi oleh fluida,

yang terdiri atas gas-gas, garam dan mineral. Pada suhu tinggi larutan yang ada pada rongga antar butiran ini akan membentuk uap. Di bawah suhu dan tekanan yang tinggi terjadi pertukaran unsur dari larutan ke mineral-mineral dan sebaliknya. Fungsi larutan ini merupakan media transpor dari larutan ke mineral dan sebaliknya, sehingga mempercepat proses metamorfisme (Gambar 2.7). Jika larutan tidak tersedia atau sedikit sekali maka metamorfisme berlangsung dengan lambat karena perpindahannya melalui difusi antar-mineral yang padat (Winter, 2001).



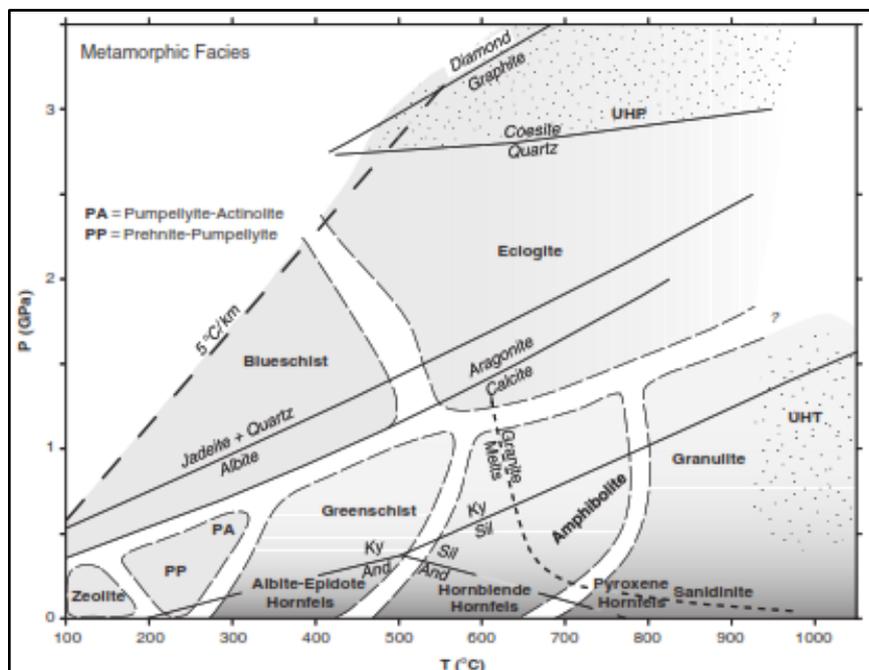
Gambar 2.7 Pengaruh suhu, tekanan, dan fluida pada proses metamorfisme (Winter, 2001).

2.2.4.4 Waktu

Dalam proses metamorfisme, waktu merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh. Proses rekristalisasi mineral dalam fase padat berlangsung sangat lambat dan dalam waktu yang lama. Secara umum, ukuran butir mineral akan semakin besar seiring dengan berjalannya waktu dan sebaliknya mineral yang berbutir halus menggambarkan proses metamorfisme yang singkat serta suhu dan tekanan rendah (Bucher dan Grapes, 2011).

2.3 Fasies Metamorfisme

Fasies metamorfisme merupakan suatu bentuk dari pengelompokan mineral-mineral metamorfik yang ada dan didasarkan pada tekanan dan suhu tertentu yang dicapai oleh mineral tersebut dalam pembentukannya pada batuan metamorf. Sehingga dapat digambarkan bahwa batuan yang mengalami metamorfisme pada suhu dan tekanan yang sama akan menghasilkan satu jenis batuan metamorf yang memiliki karakteristik yang sama (Frost, 2013).



Gambar 2.8 Diagram suhu dan tekanan (*P&T Path diagram*) yang memperlihatkan konsep *facies* dihubungkan dengan kondisi suhu, tekanan, serta kedalaman. (Philpotts dan Ague, 2009)

2.3.1.1 Fasies Subsekis Hijau (*Subgreenschist facies*)

Fasies subsekis hijau adalah fasies yang digunakan untuk menerangkan fasies zeolit dan fasies prehnite-pumpelite yang merupakan fasies yang terbentuk pada kondisi suhu dan tekanan yang sangat rendah (250–350°C dan 2–7 kbar) .

Fasies ini dicirikan dengan kehadiran mineral zeolit, prehnit, dan aktinolit. Proses metamorfisme tidak cukup tinggi untuk menghasilkan mineral seperti Na-amfibol. Fasies ini juga merupakan fasies awal menuju ke metamorfisme sekis hijau dan sekis biru (Maulana, 2019).

2.3.1.2 Fasies Sekis Hijau (*Greenschist facies*)

Pada kondisi suhu dan tekanan fasies sekis hijau, basalt yang berasal dari pematang tengah samudera (MORB) akan berubah menjadi sekis hijau dengan kumpulan mineral berupa aktinolit + klorit + epidot + albit ± kuarsa. Kecuali albit dan kuarsa, ketiga mineral lainnya memperlihatkan warna hijau yang kemudian menjadi ciri khas batuan metamorf yang terbentuk pada fasies ini. Apabila batuan asal yang mengalami metamorfisme dalam fasies ini adalah batuan pelitik, maka mineral yang hadir adalah muskovit + klorit + kloritoid + albit. Fasies ini mempunyai kisaran suhu sekitar 300°C sampai 500°C pada tekanan yang rendah sampai menengah (8–12 kbar). Batas dengan fasies amfibolit sangat gradual. Pada suhu sekitar 450°C batuan metabasik yang termetamorfisme akan menghasilkan hornbelenda untuk mengganti aktinolit sebagai hasil reaksi antara klorit dan epidot (Maulana, 2019).

2.3.1.3 Fasies Amfibolit (*Amphibolite facies*)

Pada fasies amfibolit, batuan metabasalt akan berubah menjadi amfibolit yang mengandung plagioklas (andesin – oligoklas) + hornbelenda + kuarsa. Fasies ini dicirikan dengan melimpahnya hornbelenda (biasanya di atas 50%). Epidot terkadang masih bisa dijumpai pada suhu yang rendah dalam fasies ini. Garnet seringkali hadir sebagai penciri dan bersama dengan piroksin menandakan suhu

yang tinggi dalam fasies ini (500-700°C dan 2-12 kbar). Pada umumnya himpunan mineral yang bisa dijadikan indikator adalah hornbelenda + plagioklas (oligoklas). Batuan jenis lainnya yang termetamorfisme menunjukkan kumpulan mineral yang beragam, bergantung pada batuan asalnya. Staurolit, kianit, dan silimanit juga merupakan mineral khas dalam fasies ini. Apabila protolitnya adalah gamping, maka tremolit biasanya hadir sebagai penanda. Pada intinya semua batuan yang termetamorfisme dikatakan sebagai fasies amfibolit apabila dijumpai kumpulan mineral hornbelenda + plagioklas (oligoklas) + kuarsa. Berikut beberapa komposisi mineral yang sering dijumpai pada fasies amfibolit (Maulana, 2019).

2.3.1.4 Fasies Granulit (*Granulite facies*)

Fasies granulit biasanya diperlihatkan oleh batuan derajat tinggi yang terbentuk pada kondisi suhu yang tinggi pada metamorfisme orogenik (500-700°C dan 8–17 kbar). Pada fasies ini MORB yang termetamorfisme akan memperlihatkan kumpulan klinopiroksin + plagioklas + ortopiroksin + kuarsa. Klinopiroksin dan plagioklas merupakan mineral yang baru yang menggantikan hornbelenda pada fasies amfibolite. Mineral mika sudah tidak bisa dijumpai lagi pada fasies ini digantikan oleh kianit dan silimanit. Salah satu penciri utama adalah kehadiran dari dua jenis piroksin, yaitu klinopiroksin dan ortopiroksin dan juga mikroklin pada protolit pelitik (Maulana, 2019).

2.3.1.5 Fasies Sekis Biru (*Blueschist facies*)

Istilah fasies sekis biru diperoleh dari kehadiran mineral glaukofan dan mineral Na-amfibol lainnya yang berwarna biru pada batuan batuan yang

terbentuk dalam fasies ini. Umumnya mineral-mineral biru tersebut berasosiasi dengan kumpulan mineral berupa lawsonit + zoisit + epidot + grant + klorit + fengit (mika putih) + paragonit + kloritoid + talk + kianit + jadeitik piroksin + ankerit + aragonit. Pada fasies ini felspar sama sekali tidak dijumpai juga biotit. Fasies ini terbentuk pada kondisi suhu yang rendah dengan tekanan yang tinggi yang biasanya terbentuk pada sebuah sistem subduksi. Suhu dan tekanan 200–500°C dan tekanan pada 4–12 kbar. Dulunya fasies ini dikenal dengan nama *glaucophane facies*. Batuan yang terbentuk pada fasies ini pada umumnya dijumpai pada daerah ofiolit kompleks yang dihasilkan oleh proses subduksi dan kemudian teralihtempatkan di permukaan. Kumpulan mineral yang paling khas pada fasies ini ialah glaukofan + jadeit + epidot + fengit + paragonit + klorit ± Mg-kloritoid ± kuarsa ± garnet (Maulana, 2019).

2.3.1.6 Fasies Eklogit (*Eclogite facies*)

Fasies eklogit terbentuk pada lingkungan tektonik yang berasosiasi dengan daerah orogenesis dalam bentuk blok yang terekshumasi ke permukaan dan seringkali bersamaan dengan ofiolit dan menjadi penanda adanya daerah suture atau tumbukan pada daerah kontinen. Keberadaannya biasa dijumpai bersamaan dengan batuan dari fasies sekis biru. Batuan fasies ini juga ditemukan sebagai xenolit dalam magma yang berasal dari mantel seperti kimberlit. Fasies eklogit terbentuk pada tekanan tinggi dan kisaran suhu yang beragam (> 500°C dan > 12 kbar). Eklogit bersuhu rendah dapat terbentuk dari kerak oseanik yang mengalami subduksi dan biasanya menunjukkan kehadiran mineral-mineral berhidrat seperti

kloritoid, zoisite, dan talk sebagai tambahan dari garnet + omphacite (Maulana, 2019).

Batuan metabasaltik yang termetamorfisme dalam fasies eklogit dicirikan dengan kehadiran dua mineral utama, yaitu garnet (pirop) + omfasit (Na-piroksin). Plagioklas sudah tidak dijumpai lagi kecuali pada batuan yang mengalami retrogradasi. Eklogit yang bersuhu menengah dapat dihasilkan dari penebalan kerak yang disebabkan oleh kerak kontinen yang saling tumpang tindih, sementara pada eklogit bersuhu tinggi biasanya mineral berhidrat akan absen yang digantikan oleh mineral kianit. Eklogit biasanya hadir dalam bentuk blok-blok yang secara tektonik terangkut bersama batuan dari fasies metamorfisme lainnya atau daerah melange (kompleks batuan tektonik) yang biasanya dijumpai pada zona akresi dan zona subduksi serta kompleks sekis biru. Eklogit yang berasal dari batuan ultramafik dapat mengandung olivin dan garnet (Maulana, 2019).

Sedangkan yang berasal dari metagranit akan menghasilkan jadeit + kuarsa sebagai pengganti albit. Tidak ada batas tekanan maksimal dari fasies ini dan tekanan maksimal yang dilaporkan adalah 6.5 GPa. Batuan kerak yang termetamorfisme dalam fasies ini mengandung inklusi intan di dalam garnet yang menandakan tekanan sebesar 4.5 GPa. Istilah metamorfisme ultratinggi (*ultrahigh metamorphism*, UHP) digunakan untuk menjelaskan batuan dalam fasies ini yang mengandung inklusi *coesite* (polimorf dari kuarsa).

2.4 Batuan Metamorf

Batuan metamorf diartikan sebagai batuan yang terbentuk akibat perubahan suhu dan tekanan dari batuan yang telah ada sebelumnya (*protolith*), baik itu

batuan beku, sedimen, dan batuan metamorf itu sendiri (Winter, 2001; Best, 2003).

Batuan metamorf merupakan salah satu jenis batuan yang keterdapatannya terbatas pada suatu daerah dengan kondisi geologi tertentu, seperti sabuk pegunungan, batas kontinen, dan daerah-daerah tektonik aktif. Keterdapatannya yang sangat terbatas dan proses pembentukannya yang sangat kompleks menjadikan batuan ini dijadikan salah satu media oleh para ahli geologi, khususnya ahli petrologi untuk mempelajari dinamika bumi.

2.4.1 Tekstur Batuan Metamorf

Pada umumnya metamorfisme berlangsung di bawah tekanan turunan atau (*differential stress*) yang akan menghasilkan reaksi metamorfisme. Reaksi metamorfisme kemudian akan menghasilkan perubahan tekstur, yaitu berupa rekristalisasi, dengan batas-batas butiran yang semakin mendekat dan bersentuhan satu sama lainnya. Apabila tekanan diferensial ini terus berlangsung, mineral-mineral pipih seperti mika dan klorit mulai berkembang dan tumbuh berorientasi, yang lembaran-lembarannya berarah tegak lurus terhadap tekanan maksimum. Lembaran-lembaran mika baru yang sejajar ini membentuk sebuah tekstur planar yang disebut dengan foliasi (Best, 2003).

2.4.1.1 Tekstur Foliasi

Tekstur foliasi menampakkan orientasi atau penjajaran mineral penyusun dan struktur pada batuan metamorf. Foliasi dibentuk oleh beberapa kenampakan, antara lain:

1. Penjajaran mineral-mineral pipih atau memanjang (*elongated*)

2. Penjajaran mineral-mineral berbutir dan berbentuk kerikil
3. Perlapisan yang dibentuk oleh perbedaan komposisi (perselingan antara lapisan berwarna terang dan gelap)
4. *Slaty cleavage*: dengan serpihan-serpihan menyusun batuan.

Proses pembentukan foliasi disebabkan oleh 3 proses, yaitu

1. Rotasi mineral-mineral pipih atau memanjang (*elongated*)
2. Rekristalisasi mineral-mineral dengan arah tertentu
3. Perubahan bentuk butir dari equidimensional menjadi pipih atau memanjang yang terorientasi.

Berdasarkan kenampakan tekstur batuan asalnya, batuan metamorf dapat dibagi menjadi dua, yaitu kristoblastik dan *palimpsest*.

A. Kristaloblastik

Kristoblastik, yaitu jika tekstur batuan asalnya tidak terlihat lagi. Dalam penamaannya digunakan akhiran blastik kemudian lihat kemasannya, dan gunakan istilah

- a) Homoblastik : jika terdiri atas satu jenis tekstur.
- b) Heteroblastik : jika lebih dari satu jenis tekstur.

Tekstur yang dimaksud adalah

- a) Lepidoblastik: sebagian besar mineralnya berbentuk pipih. Contoh: mika.
- b) Nematoblastik: sebagian besar mineralnya berbentuk kristalin. Contoh: plagioklas.
- c) Granoblastik: sebagian besar mineralnya granular. Contoh: kuarsa.

Untuk bentuk kristalnya digunakan istilah:

- a) Idioblastik, sebagian besar mineralnya berbentuk euhedral.
- b) Hipidioblastik, sebagian besar mineralnya berbentuk subhedral.
- c) Xenoblastik, sebagian besar mineralnya berbentuk anhedral.

B. Palimpsest

Palimpsest, yaitu jika tekstur batuan asalnya masih terlihat atau tersisa. Gunakan awalan blasto untuk penamaannya:

- a) Blasto fitik: batuan asalnya memiliki tekstur ofitik.
- b) Blasto porfiritik: batuan asalnya mempunyai tekstur porfiritik.
- c) Blasto psefitik: batuan asalnya merupakan batuan sedimen klastik berukuran kerikil.
- d) Blasto psamatik: batuan asalnya merupakan batuan sedimen klastik berukuran pasir.
- e) Blasto pelitik: batuan asalnya merupakan batuan sedimen klastik berukuran lempung.

2.4.1.2 Tekstur Non Foliasi

Tekstur non-foliasi ditunjukkan dengan kenampakan tidak berlembar atau berlapis. Tekstur ini terjadi pada daerah di mana tekanan tidak terlalu dominan dan pada umumnya disusun oleh mineral-mineral dengan bentuk kristal yang ekuidimensional atau berbutir. Adapun struktur yang biasa terdapat pada batuan metamorf non-foliasi ini adalah

- a) Granulose: tersusun atas mineral yang berukuran relatif sama.
- b) Hornfelsic: sebagian besar terdiri atas mineral tanpa persejajaran mineral pipih.

c) Porphyroblast: yaitu tekstur yang memperlihatkan butiran mineral yang berukuran besar yang disebut dengan porfiroblas (porphyroblast), yang tertanam pada matriks yang berukuran halus. Beberapa jenis porfiroblas yang umum dijumpai yaitu garnet, staurolit, dan andalusit.