

SKRIPSI

**IDENTIFIKASI ZONA *RUPTURE* DAN ANALISIS KELURUSAN
PULAU KALAOTOA KECAMATAN PASILEMBANA, KABUPATEN
KEPULAUAN SELAYAR, PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD FIKRI AKBAR

D061181022



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

IDENTIFIKASI ZONA *RUPTURE* DAN ANALISIS KELURUSAN PULAU KALAOTOA KECAMATAN PASILEMBANA, KABUPATEN KEPULAUAN SELAYAR, PROVINSI SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD FIKRI AKBAR

D061181022

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 Juli 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama



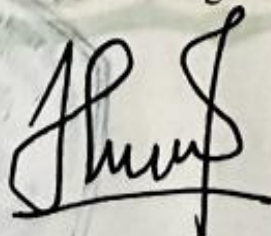
Prof. Dr. Eng. Asri Jaya HS., ST., MT.
NIP. 196909241998021001

Pembimbing Pendamping



Baso Rezki Maulana, S.T., M.T.
NIP. 199003192020015001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng Hendra Pachri, S.T., M.Eng.
NIP. 19771214 200501 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Fikri Akbar
NIM : D061181022
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Identifikasi zona rupture dan analisis kelurusan pulau kalaotoa kecamatan pasilembana, kabupaten kepulauan selayar, provinsi sulawesi selatan

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 19 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Muhammad Fikri Akbar

SARI

Daerah penelitian terletak pada Pulau Kalaotoa Kecamatan Pasilambena Kabupaten Kepulauan Selayar, Provinsi Sulawesi Selatan. Daerah ini tersusun oleh litologi batugamping yang termasuk Anggota Selayar Formasi Walanae. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi zona *rupture*, menganalisis panjang, orientasi dan densitas kelurusan, serta menganalisis hubungan interpretasi densitas kelurusan dan hasil pengolahan data lapangan. Pengambilan data lapangan dilakukan menggunakan metode *scan line*, sedangkan pengambilan data *lineament* bersumber dari data *Digital Elevation Model – Shuttle Radar Topography Mission* (DEM – SRTM) melalui website USGS yang diolah menggunakan perangkat lunak QGIS 10.8. Berdasarkan hasil pengolahan data *rupture*, orientasi struktur pada lokasi penelitian menunjukkan arah dominan NE-SW. Pengolahan data *lineament* menunjukkan hasil yang tinggi pada area selatan Pulau Kalaotoa dan area utara dan barat dominan rendah. Hasil interpretasi korelasi data *lineament* dan data yang dijumpai di lapangan, menunjukkan adanya keterkaitan dari area yang memiliki nilai densitas tinggi banyak memiliki unsur unsur struktur geologi yaitu pada area selatan, sedangkan pada area utara dan barat yang memiliki nilai densitas *lineament* rendah, unsur – unsur struktur geologi yang tampak juga tidak dominan.

Kata Kunci : zona *rupture*, struktur, kelurusan, densitas, DEM

ABSTRACT

The research area is located on Kalaotoa Island, Pasilambena District, Selayar Islands Regency, South Sulawesi Province. The area is composed by limestone lithology which includes the Selayar Member of the Walanae Formation. The purpose of this study is to identify rupture zones, analyze length, orientation and lineament density, and analyze the relationship between lineament density interpretation and field data processing results. Field data collection was carried out using the scan line method, while lineament data collection was sourced from Digital Elevation Model – Shuttle Radar Topography Mission (DEM – SRTM) data through the USGS website which was processed using QGIS 10.8 software. Based on the results of rupture data processing, the orientation of the structure at the research site shows the dominant direction of NE-SW. Lineament data processing shows high yields in the southern area of Kalaotoa Island and the dominant northern and western areas are low. The results of the interpretation of the correlation of lineament data and data found in the field, show the relationship of areas that have high density values have many elements of geological structure, namely in the southern area, while in the northern and western areas that have low lineament density values, the elements of geological structure that appear are also not dominant

Keywords : *Rupture zone, geological structure, lineament, density, DEM.*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “***IDENTIFIKASI ZONA RUPTURE DAN ANALISIS KELURUSAN PULAU KALAO TOA KECAMATAN PASILEMBANA, KABUPATEN KEPULAUAN SELAYAR, PROVINSI SULAWESI SELATAN***” dapat penulis selesaikan dengan baik.

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

1. **Prof. Dr. Eng. Asri Jaya HS., ST., MT.** sebagai pembimbing pemetaan geologi yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga selama memberikan bimbingan dalam pengerjaan laporan pemetaan ini.
2. **Baso Rezki Maulana, S.T., M.T** sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk penulis dalam melakukan bimbingan untuk menyusun Tugas Akhir.
3. **Dr. Ir. M. Fauzi Arifin, MSi** dan **Dr. Ir. Safri Burhanuddin, DEA** sebagai Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam penyusunan laporan pemetaan dan tugas akhir ini.
4. **Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng.** sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu dalam memberikan ilmu kepada penulis selama ini
5. Seluruh Dosen Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu selama proses perkuliahan

6. Bapak dan Ibu pegawai dan Staf Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin, atas bantuannya dalam pengurusan administrasi selama masa perkuliahan.
7. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan baik secara materil maupun moril
8. Saudara Zainuddin Nukuhaly yang telah Ikhlas menemani selama masa pengambilan data
9. Saudari Sekar Christmauli yang banyak membantu dalam penyusunan laporan
10. Angkatan 2018 (Xenolith) yang saya kasihi dan banggakan atas saran dan bantuannya selama ini.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan pemetaan ini masih banyak terdapat kekurangan dalam penyusunannya, oleh karena itu penulis mengharapkan adanya masukan dari pembaca baik berupa saran maupun kritikan demi kesempurnaan tulisan selanjutnya. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya khususnya bagi penulis

Gowa, Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SARI	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
1.6 Peneliti Terdahulu	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Geologi Regional.....	4
2.1.1 Geomorfologi Regional	4
2.1.2 Stratigrafi Regional	4
2.1.3 Struktur Geologi Regional.....	5
2.2 Tekanan Regangan dan Deformasi.....	8
2.3 Unsur-Unsur Struktur Geologi	9
2.3.1 Struktur Sesar	9
2.3.2 Struktur Kekar	10
2.4 Proyeksi Stereografi	12
2.5 Amplifikasi Batuan.....	15
2.6 Kelurusan (<i>Lineament</i>)	16

2.6.1	Kerapatan Kelurusan (<i>Lineament Density</i>)	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		18
3.1	Lokasi Penelitian dan Kesampaian Daerah	18
3.2	Metode Pengambilan dan Analisis Data.....	19
3.3	Tahapan Penelitian	19
3.3.1	Tahap Persiapan.....	19
3.3.2	Tahap Pengambilan Data.....	20
3.3.3	Tahap Pengolahan dan Analisis Data	21
3.3.4	Tahap Penyusunan Laporan	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		25
4.1	Analisis <i>Rupture</i>	25
4.1.1	Daerah Lato'do Lembang Mate'ne-Bonto – Bonto-Tadu (Area Selatan).....	25
4.1.2	Daerah Garaupa Raya (Area Barat).....	27
4.1.3	Daerah Karumpa-Kawawu (Area Utara).....	28
4.2	Analisis Petrografi Batuan.....	29
4.3	Analisis Kemiringan Lereng.....	33
4.4	Analisis <i>Lineament</i>	34
4.4.1	Analisis Orientasi <i>Lineament</i>	36
4.4.2	Analisis Panjang <i>Lineament</i>	38
4.4.3	Analisis Densitas <i>Lineament</i>	40
4.5	Analisis Korelasi Data <i>Lineament</i> dan Data Lapangan.....	42
BAB V PENUTUP.....		44
5.1	Kesimpulan.....	44
5.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA		46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Lokasi penelitian pada Peta Geologi Lembar Bonerate (modifikasi dari Koswara, dkk, 1994).....	5
Gambar 2. Mandala – mandala Geologi Sulawesi (Zakaria, 2015).....	6
Gambar 3. Rekayasa struktur Laut Flores (Rahardiawan, 2014)	7
Gambar 4. Klasifikasi sesar menurut Anderson (1951) dalam Zoback (2007) .	10
Gambar 5. Jenis Jenis Kekar (Fossen,2010).....	11
Gambar 6. Tipe Kekar (McClay, 1987).....	12
Gambar 7. Proyeksi stereografis, (a) Unsur-unsur proyeksi stereografis, (b) <i>Wulff Net</i> atau <i>Equal Angle Net</i> (Ragan, 1973).....	13
Gambar 8. Skema Ilustrasi memperlihatkan sudut untuk menunjukkan orientasi fault plane dan arah slip pada patahan dalam (Yamaiji, 2011).....	14
Gambar 9. a) Contoh tabulasi data b) Penggambaran data Fault Slip pada aplikasi MIM (Cronin, 2010).....	15
Gambar 10. Ilustrasi sel raster dan lingkaran untuk menentukan tingkat densitas kelurusan (Silverman, 1986).....	17
Gambar 11. Peta tunjuk lokasi penelitian	18
Gambar 12. Metode <i>scan line</i> pada pengambilan data lapangan.....	21
Gambar 13. Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 14. <i>Down slip</i> yang dijumpai di desa Lato'do difoto relatif ke arah N5°E.....	25
Gambar 15. <i>Rupture zone</i> yang diamati pada daerah Bonto-Bonto difoto relatif ke arah N335°E.....	26
Gambar 16. <i>Rupture zone</i> berupa vertical displacement yang dijumpai di daerah tadu difoto relatif ke arah N283°E	26
Gambar 17. <i>Land Subsidence</i> yang terjadi pada pesisir selatan pulau Kalaotoa di dusun Lato'do pengambilan foto ke arah N166°E.....	27
Gambar 18. Rekahan rekahan tanah di daerah Garaupa Raya difoto ke arah N5°E.....	28

Gambar 19. Zona <i>rupture</i> yang menunjukkan pergeseran secara a)horizontal difoto ke arah N10°E dan b)vertikal difoto ke arah N335°E.....	29
Gambar 20. Photomicrograph sayatan tipis sampel batuan packstone tersusun oleh <i>skeletal grains</i> (fosil foraminifera), <i>non-skeletal grains</i> (oid), opaque minerals, calcite serta <i>mud</i> berupa mineral lempung a)KL01 b)KL04	30
Gambar 21. Photomicrograph sayatan tipis sampel batuan boundstone tersusun oleh <i>skeletal grains</i> (fosil foraminifera dan coral), opaque minerals, calcite serta mud berupa clay minerals.	31
Gambar 22. Photomicrograph sayatan tipis sampel batuan packstone tersusun oleh <i>skeletal grains</i> (fosil foraminifera dan alga), <i>non-skeletal grains</i> (oid), opaque minerals, calcite serta mud berupa clay minerals.....	32
Gambar 23. Photomicrograph sayatan tipis sampel batuan <i>grainstone</i> tersusun oleh <i>skeletal grains</i> (fosil foraminifera), <i>non-skeletal grains</i> (plagioklas dan oid), opaque minerals, calcite serta mud berupa clay minerals	33
Gambar 24. Peta kemiringan lereng hasil pengolahan data DEM-SRTM (Sumber data USGS, 2023)	34
Gambar 25. Data <i>hillshade</i> masing masing <i>sun azimuth</i> a) 0, b)45, c)90, d)135	35
Gambar 26. Hasil ekstraksi <i>lineament</i> dengan <i>sun azimuth</i> a)0, b)45, c)90, d)135	35
Gambar 27. Hasil kombinasi ekstraksi <i>lineament</i> tiap <i>sun azimuth</i>	36
Gambar 28. Diagram kipas hasil analisis orientasi <i>lineament</i> dengan <i>sun azimuth</i> a)0 b)45 c)90 d)135	37
Gambar 29. Diagram kipas hasil analisis ekstraksi kombinasi <i>lineament</i> tiap <i>sun azimuth</i>	38
Gambar 30. Histogram distribusi panjang <i>Lineament</i> dengan <i>sun azimuth</i> a)0, b)45, c)90, d)135	39
Gambar 31. Histogram panjang <i>lineament</i> hasil kombinasi empat <i>sun azimuth</i> . 40	

Gambar 32. Peta densitas *lineament* dengan aspek panjang per kilometer 41

Gambar 33. Peta densitas *lineament* dengan aspek jumlah per kilometer..... 41

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
%	Persen
°	Derajat
>	Lebih dari
±	Kurang Lebih
// - Nikol	Nikol Sejajar
X - Nikol	Nikol Silang
ITC	<i>International Terrain Classification</i>
BT	Bujur Timur
Cal	Kalsit
Cl	Clay Minerals
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
E	<i>East</i>
Foram	Foraminifera
IFSAR	<i>Airborne Interferometric Synthetic Aperture Radar</i>
KF	<i>Kalaotoa Fault</i>
km ²	Kilometer persegi
L	Fragmen Litik
LS	Lintang Selatan
mm	milimeter
Mtx	Matriks
N	<i>North</i>
Opq	Opaq
Pl	Plagioklas
Q	Kuarsa
Ql	Q
Rf-Ls	Rock Fragmen Limestone
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
S _H Max	Sumbu Horizontal Maksimum
S _H Min	Sumbu Horizontal Minimum
S _v	Sumbu Vertikal
Tmk	Tersier Miosen Kalao
Tms	Tersier Miosen Selayar

DAFTAR LAMPIRAN

A. Lampiran

1. Lampiran Deskripsi Petrografi.....50
2. Lampiran Tabel Pengambilan data Lapangan.....57

B. Lampiran Lepas

1. Lampiran Peta Sebaran Zona Rupture
2. Lampiran Peta densitas Jumlah Kelurusan
3. Lampiran Peta densitas Panjang Kelurusan
4. Lampiran Peta Kemiringan Lereng

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Darman dan Sidi (2000), Kepulauan Indonesia terbentuk dari interaksi tiga lempeng utama, yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Interaksi tiga lempeng tektonik utama ini menciptakan kompleks tektonik terutama di batas lempeng yang terletak di Indonesia Timur.

Sulawesi merupakan perpaduan antara dua rangkaian orogen (Busur kepulauan Asia Timur dan system pegunungan Sunda) Sulawesi terletak pada pertemuan 3 lempeng besar yaitu Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia serta sejumlah lempeng kecil (Lempeng Filipina) yang menyebabkan kondisi tektoniknya sangat Kompleks.

Hall dan Wilson (2000) Pembentukan *suture* Sulawesi diperkirakan terjadi pada kala Oligosen Akhir dan berlanjut hingga Miosen awal. Hingga saat ini diperkirakan deformasi tersebut masih berlangsung. Kondisi geologi daerah selatan Sulawesi khususnya di daerah Kepulauan Selayar dominan tersusun oleh fragmen mikro-kontinen dan merupakan jalur pertemuan Lempeng IndoAustralia dan Eurasia, sehingga aktivitas tektonik di sekitar daerah tersebut sangat intensif dan rawan menimbulkan gempa bumi dan tsunami.

Berdasarkan hal tersebut maka penulis melakukan penelitian lebih lanjut terhadap gejala struktur yang terjadi di lokasi penelitian. Dengan judul “Analisis Struktur pada Daerah Kepulauan Kalaotoa, Kecamatan Pasilembana, Kabupaten Selayar, Provinsi Sulawesi Selatan”. Studi ini difokuskan pada analisis struktur geologi melalui ciri-ciri struktur geologi di lapangan dan pola kelurusan (*Lineament*) yang diekstraksi dari data *Digital Elevation Model* (DEM) menggunakan *software* QGIS.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil identifikasi zona *rupture* pada lokasi penelitian?

2. Bagaimana densitas, panjang, dan orientasi *lineament* pada lokasi penelitian?
3. Bagaimana hubungan interpretasi *lineament* dengan data lapangan?

1.3 Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk melakukan identifikasi zona *rupture* dan *lineament* pada Pulau Kalaotoa, Kecamatan Pasilembana, Kabupaten Selayar, Provinsi Sulawesi Selatan dengan

1. Mengidentifikasi zona *rupture* pada lokasi penelitian
2. Menganalisis densitas, panjang, dan orientasi *lineament* pada lokasi penelitian
3. Menganalisis hubungan interpretasi *lineament* dan data lapangan

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk memberikan informasi tentang kondisi geologi pada Pulau Kalaotoa, Kabupaten Kepulauan Selayar, Provinsi Sulawesi Selatan dan juga informasi mengenai zona *rupture* maupun *lineament* yang dapat dimanfaatkan sebagai informasi awal bagi penelitian selanjutnya mengingat daerah penelitian merupakan daerah yang memiliki tingkat kerentanan bencana alam yang tinggi.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada lokasi daerah Pulau Kalaotoa, Kecamatan Pasilembana, Kabupaten Kepulauan Selayar, Provinsi Sulawesi Selatan yang dalam penelitian ini dipetakan pada peta skala 1:50.000. Penelitian ini memanfaatkan data DEM-SRTM sebagai data sekunder dan melakukan observasi lapangan berupa pengukuran unsur - unsur struktur geologi yang dijumpai pada lokasi penelitian sehingga nantinya dilakukan interpretasi terhadap hubungan analisis *lineament* dan data lapangan.

1.6 Peneliti Terdahulu

Peneliti terdahulu yang pernah mengadakan penelitian yang sifatnya regional diantaranya sebagai berikut :

- a. Supendi *et al.* (2022) melakukan penelitian dengan judul *The Kalaotoa Fault: A Newly Identified Fault that Generated the M w 7.3 Flores Sea Earthquake*
- b. Koswara, A., Panggabean, H., & Baharuddin, D. S. (1994). Melakukan pemetaan Geologi Lembar Bonerate, Sulawesi Selatan. Skala 1:25.000
- c. Rahardiawan, R., & Purwanto, C. (2014). Meneliti tentang Struktur Geologi Laut Flores, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Geologi Kelautan*,
- d. Zakaria, Z., & Sidarto, S. (2015). Melakukan penelitian dengan judul *Aktifitas Tektonik di Sulawesi dan Sekitarnya Sejak Mesozoikum Hingga Kini Sebagai Akibat Interaksi Aktifitas Tektonik Lempeng Tektonik Utama di Sekitarnya*. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

2.1.1 Geomorfologi Regional

Menurut Koswara, dkk (1975) tinjauan geomorfologi regional yang mencakup daerah penelitian dan sekitarnya didasarkan pada wilayah Lembar Bonerate, meliputi kordinat: 120° 15' - 121° 55' BT dan 6° 25'– 7° 35' LS.

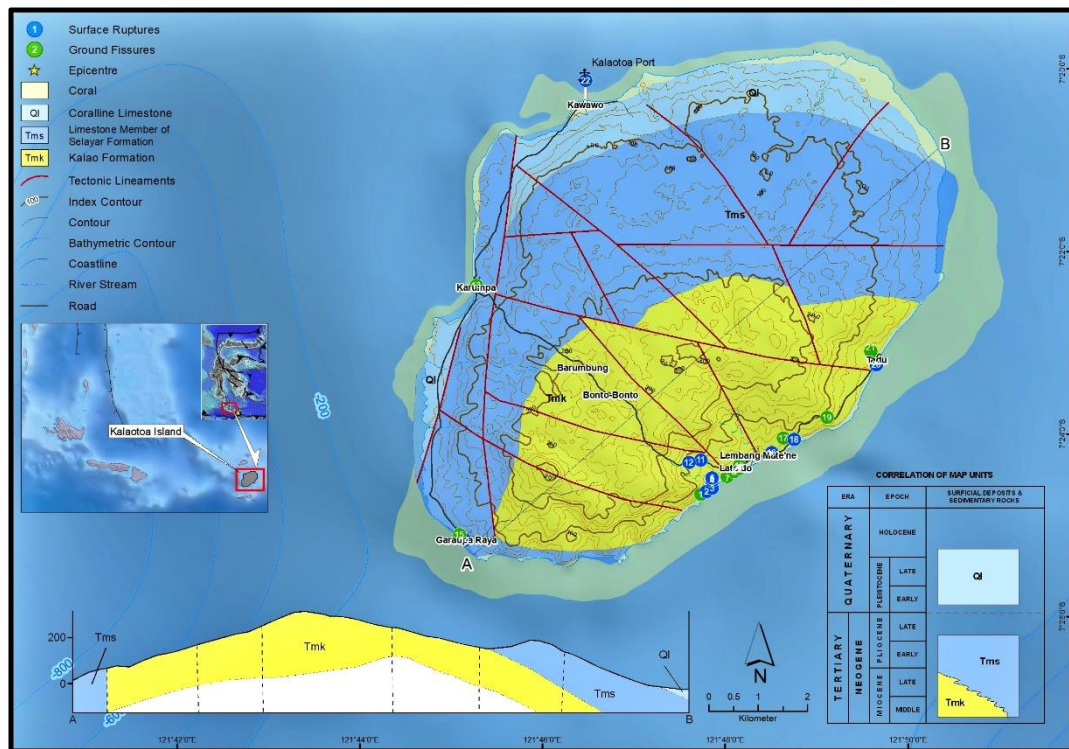
Bentuk morfologi yang menonjol di daerah lembar ini adalah Perbukitan tumpul dengan ketinggian hingga 351 mdpl yang menjulang dari timur laut ke barat daya pulau dengan beberapa wilayah berupa tebing batugamping dengan kemiringan >70° sedangkan bagian utara pulau bermorfologi relatif bergelombang – datar dengan kemiringan 2 – 60°.

Secara regional daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Bonerate, dipetakan oleh Koswara, 1975

2.1.2 Stratigrafi Regional

Pembahasan stratigrafi regional didasarkan pada hasil peneliti terdahulu, stratigrafi regional daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Bonerate (Koswara dkk. 1994), sebagai berikut:

Formasi Kalao (Tmk); terdiri atas batupasir tufaan gampingan bersisipan dengan napal dan konglomerat. Formasi ini mengandung fosil *Globigerina nephentes* TODD, *Globorotalia praemenardii* (D'ORBIGNY), *Globorotalia siakensis* LEROY, *Globoquadrina altispira* (CUSHMAN and JARVIS), *Globigerinoides trilobus* (REUSS), *Globigerinoides subquadratus* BRONIMANN dan *Cibicides* sp. Formasi ini berumur Miosen Tengah dan diendapkan dalam lingkungan laut dangkal dengan tebal sekitar 300 m



Gambar 1. Lokasi penelitian pada Peta Geologi Lembar Bonerate (modifikasi dari Koswara, dkk, 1994)

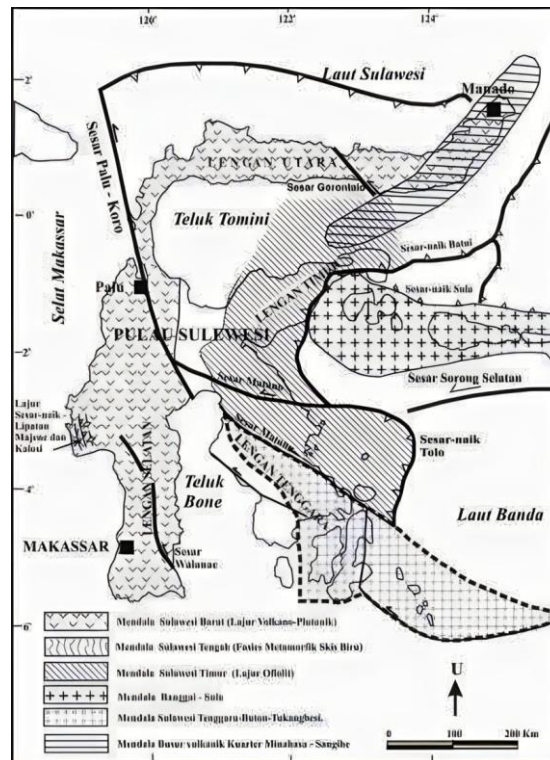
Anggota Batugamping Formasi Selayar (Tms); terdiri atas batugamping pejal setempat terbreksikan dan batugamping pasiran dengan tebal lapisan antara 10 – 25 cm. Mengandung fosil *Orbulina universa* (D'ORBIGNY), *Sphaerodinelopsis seminula* SCHWAGER, *Globigerinoides trilobus* (REUSS), *Globoquadrina altispira* (CUSHMAN and JARVIS) dan *Globorotalia menardii* (D'ORBIGNY). Satuan ini berumur Miosen Tengah sampai Pliosen, diendapkan dalam lingkungan laut dangkal dengan tebal sekitar 300 m

Batugamping Koral (Ql); terdiri atas batugamping koral, batugamping berongga, breksi batugamping dan lensa batulempung gampingan. Berumur Pleistosen – Holosen, diendapkan dalam lingkungan laut dangkal. Tebal satuan ini sekitar 100 meter

2.1.3 Struktur Geologi Regional

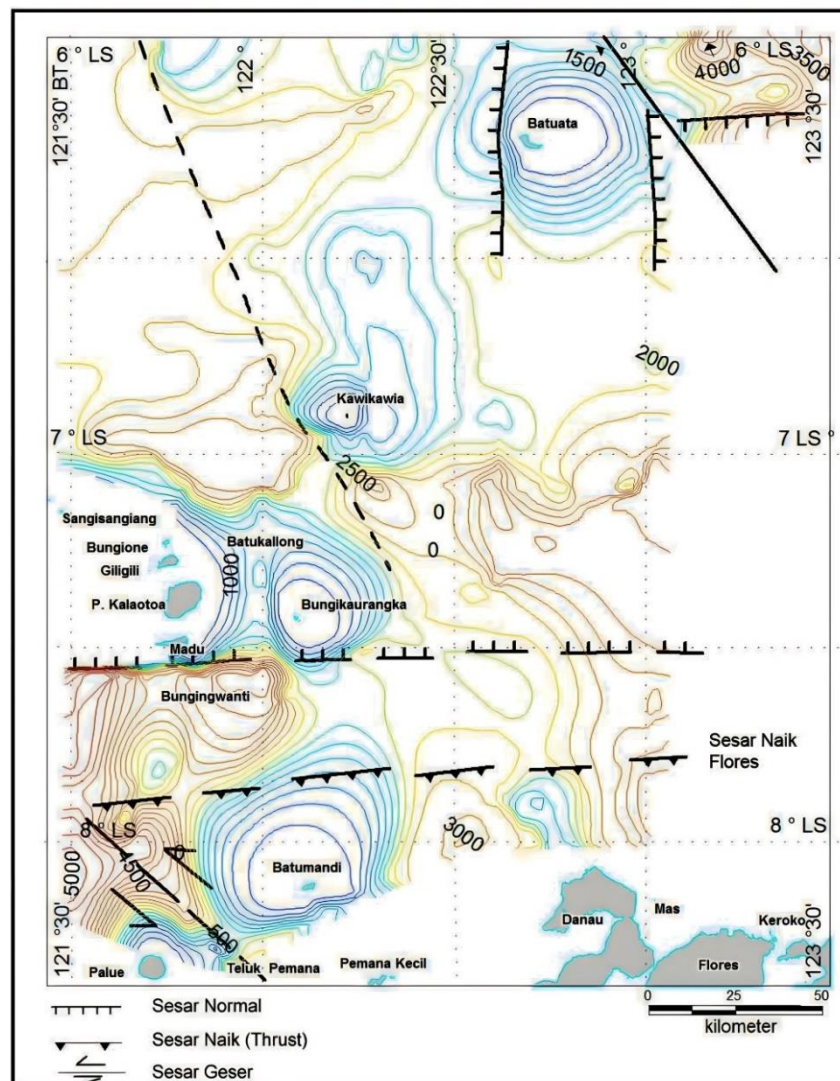
Sejarah tektonik Sulawesi berkaitan dengan peristiwa tektonik berikut : (1) **Tektonik ekstensi Mesozoikum** dimana di bagian tenggara pulau Sulawesi terjadi rifting sehingga terbentuk pecahan – pecahan benua Australia yang kemudian

bergerak ke arah barat laut, membentuk mikrokontinen di daerah barat laut Banda, termasuk Mandala Banggai-sula, Mandala Tukangbesi-Buton, dan Mandala Mekonga (2) **Tunjaman Kapur** dimana Mendala Sulawesi Timur bergerak ke barat mengikuti gerakan ke barat dari tunjaman landai di bagian timur Mendala Sulawesi Barat (3) **Tunjaman Paleogen** yaitu terjadinya penunjaman kedua yang disebabkan oleh gerakan mikrokontinen-mikrokontinen ke barat laut akhirnya bertumbukan dengan kompleks tunjaman di Sulawesi Timur, ditandai dengan pengaktifan kembali zona tunjaman kapur selama oligosen tengah. (4) **Tunjaman Neogen** yaitu pergerakan miring ke arah selatan zona tunjaman ketiga mengakibatkan terbentuknya batuan Magmatik kalsin di lengan utara yang berumur Miosen Awal. (5) **Tunjaman Ganda Kuartar** Pada zaman kuartar terbentuk busur gunung api minahasa – sangihe akibat terjadinya tunjaman di sebelah tenggara lengan utara Sulawesi. Hal tersebut mengakibatkan tunjaman ganda dengan arah berlawanan di sebelah barat laut sampai utara dan di sebelah selatan sampai tenggara lengan utara (Zakaria, 2015)



Gambar 2. Mandala – mandala Geologi Sulawesi (Zakaria, 2015)

Pulau Kalaotoa merupakan daerah yang aktif secara tektonik dan diekspresikan dalam bentuk prisma akresi, vulkanisme tidak aktif dan sesar-sesar aktif. Sesar naik sebagai bagian dari Zona Anjakan Busur Belakang Flores dijumpai di bagian selatan Pulau Kalaotoa terbentuk Pliosen Bawah dan aktivitas pembentukan gunungapi sebagai busur magma tunggal di utara Pulau Flores terjadi mulai Plistosen Bawah. Anjakan Busur Belakang Flores telah membentuk daerah prisma akresi dengan lebar di bagian barat mencapai $>37,5$ km dan menipis hingga <5 km sekitar Teluk Pemana. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan cangkang busur belakang sebagai hasil pembalikan busur dimulai dari bagian barat dan semakin muda (Plistosen-Resen) di bagian timur.



Gambar 3. Rekayasa struktur Laut Flores (Rahardiawan, 2014)

Struktur geologi yang terdapat di lembar Bonerate adalah sesar dan kekar. Perlipatan dijumpai bersifat lokal. Sesar terdiri dari sesar normal dan sesar geser mendatar yang berarah baratlaut – tenggara dan timurlaut – baratdaya. Kekar dan kelurusan terekam dari potret udara. Seluruh struktur terbentuk sejak awal Miosen Tengah dan mencapai klimaks pada Pliosen – Plistosen

2.2 Tekanan Regangan dan Deformasi

Tekanan (*stress*), regangan (*strain*) dan deformasi adalah istilah-istilah yang mendasar dalam geologi struktur. Tekanan seringkali berhubungan dengan dorongan dan tarikan Sedangkan regangan dan deformasi erat hubungannya dengan pembengkokan, patahan, ataupun peregangan (Pluijm & Marshak, 2004)

Strain dapat diamati pada batuan yang terdeformasi dengan mengukur perubahan panjang dan bentuk. Bentuk regangan (*strain*) ketika mendapat tekanan (*stress*) yang berlebihan menghasilkan deformasi batuan, oleh karena itu kedua hal tersebut erat kaitannya. Setiap struktur tektonik yang terlihat di batuan yang terdeformasi mengungkapkan beberapa jenis geometri yang memberi tahu kita sesuatu tentang regangan. Deformasi dapat melibatkan rotasi rigid, perpidahan dan regangan. Maka dari itu, regangan dapat diartikan sebagai perubahan penjang, bentuk, atau ukuran batu atau bidang.

Stress (σ) yang bekerja pada bidang adalah gaya per unit bidang tersebut. Tekanan tidak selalu bekerja pada regangan, dan jika tidak, deformasi mungkin bersifat elastis, *Stain* elastis berarti bahwa objek akan kembali ke keadaan awal jika tekanan dihilangkan. *Strain* yang permanen berarti kondisi bidang setelah tekanan dihilangkan tidak berubah ke keadaan awal. Jika stress cukup besar maka material akan berubah atau terdeformasi, juga dapat berarti perpindahan keseragaman atau rotasi. Ketika tingkat puncak stress tercapai, batuan atau bidang akan mengalami rekahan.

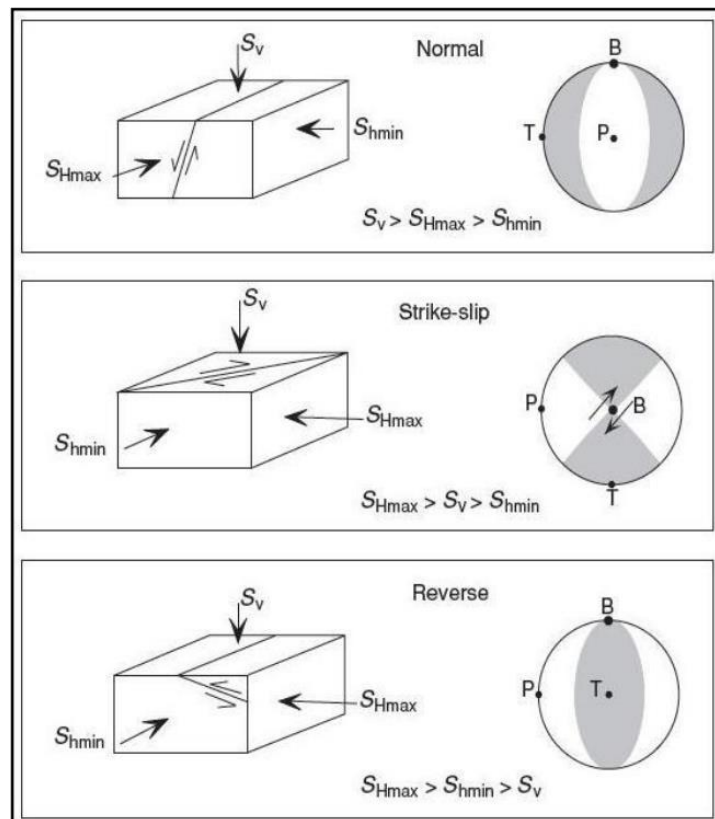
Deformasi dapat diartikan sebagai perubahan secara menyeluruh dari suatu benda dari keadaan awal hingga bentuk akhir dari benda tersebut. Perubahan ini dapat termasuk perpindahan, perputaran, dan distorsi.

2.3 Unsur-Unsur Struktur Geologi

2.3.1 Struktur Sesar

Sesar adalah struktur rekahan yang telah mengalami perkembangan pergeseran maupun pergerakan blok batuan yang tersesarkan (Ragan, 1973). Sesar juga didefinisikan sebagai bidang rekahan yang disertai oleh adanya pergeseran relatif (*displacement*) satu blok terhadap blok batuan lainnya. Jarak pergeseran tersebut dapat hanya beberapa milimeter hingga puluhan kilometer, sedangkan bidang sesarnya mulai dari yang berukuran beberapa centimeter hingga puluhan kilometer (Billing, 1968). Di dalam mempelajari struktur sesar, disamping geometrinya yaitu, bentuk, ukuran, arah dan polanya, yang penting juga untuk diketahui adalah mekanisme pergerakannya. Beberapa istilah yang sering dijumpai, yaitu:

1. *Jurus sesar (Strike of fault)* adalah arah garis perpotongan bidang sesar dengan bidang horizontal, biasanya diukur dari arah utara.
2. *Kemiringan sesar (dip of fault)* adalah sudut yang dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang horizontal, diukur tegak lurus Strike.
3. *Net slip* adalah besar pergeseran relatif suatu titik yang semula berimpit pada bidang sesar akibat adanya sesar.
4. *Strike slip* adalah besar pergeseran relatif yang searah dengan Strike sesar.
5. *Dip slip* adalah besar pergeseran relatif yang searah dengan dip sesar.
6. *Pitch (rake)* adalah sudut lancip pada bidang sesar yang dibentuk oleh perpotongan antara jurus dengan gores garis,
7. *Gores garis* adalah garis-garis pada bidang sesar sebagai hasil pergeseran sesar.



Gambar 4. Klasifikasi sesar menurut Anderson (1951) dalam Zoback (2007)

Klasifikasi Anderson (1951) membagi jenis sesar berdasarkan atas *principle stress* adalah *stress* yang bekerja tegak lurus bidang sehingga harga komponen *shear stress* pada bidang tersebut adalah nol (Fossen, 2010). Bidang tersebut dikenal sebagai bidang utama atau *principle surface*. Terdapat tiga *principle stress* yaitu S_1 , S_2 , dan S_3 , dimana $\sigma_1 (S_1) > (S_2) > \sigma_3 (S_3)$. Dari 3 sumbu tersebut dapat pisahkan menjadi 2 sumbu berdasarkan orientasi sumbu, yaitu sumbu horizontal (S_h) dan sumbu vertikal (S_v), dimana S_h terdiri dari 2 sumbu yaitu sumbu horizontal dengan nilai maksimum (S_{Hmax}) dan sumbu horizontal dengan nilai minimum (S_{Hmin}), sedangkan S_v hanya mempunyai satu sumbu saja. Sumbu inilah yang mengontrol terbentuknya klasifikasi sesar, yaitu sesar normal, sesar naik dan sesar mendatar.

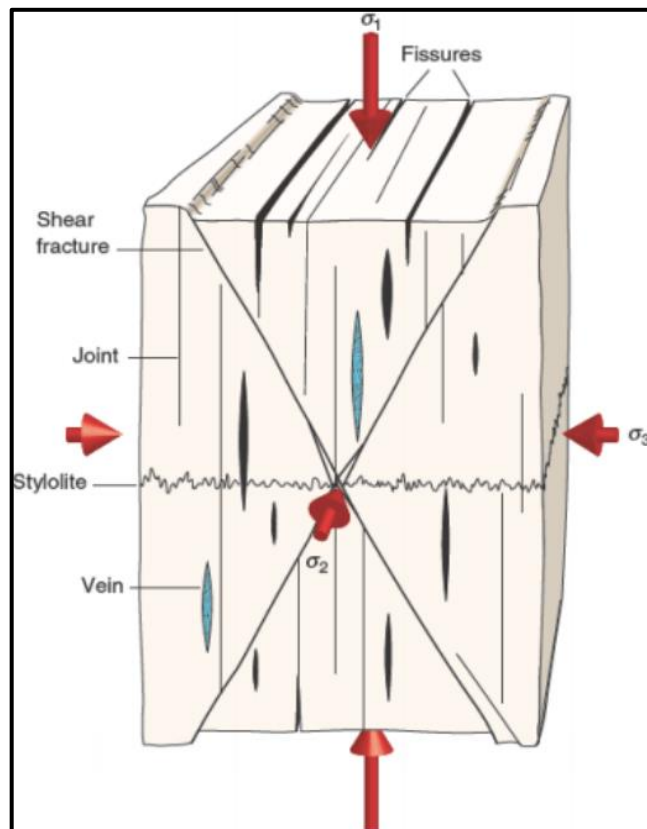
2.3.2 Struktur Kekar

Kekar adalah suatu *fracture* (retakan pada batuan) yang relatif tidak mengalami pergeseran pada bidang rekahnya (Ragan, 1973). Kekar dapat

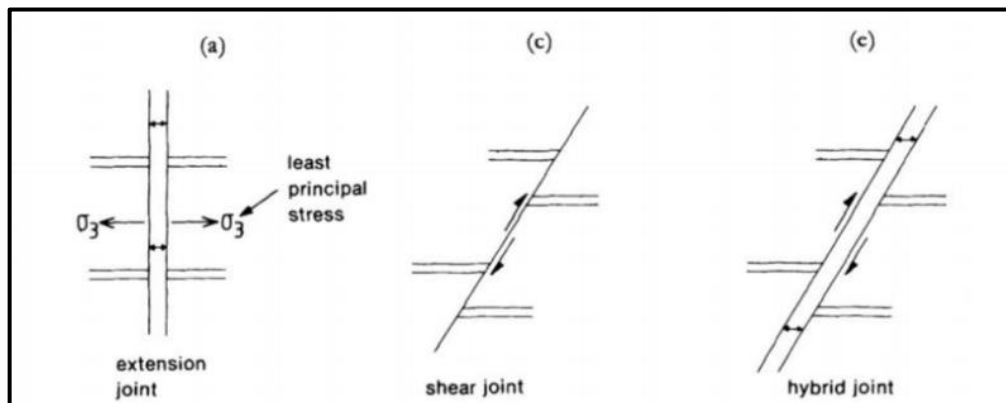
disebabkan oleh terjadinya gejala tektonik maupun *non* tektonik. Kekar atau *joint* adalah rekahan-rekahan pada batuan, lurus, planar dan tidak terjadi pergeseran. Terbentuknya struktur kekar ini dapat terjadi bersamaan dengan pembentukan batuan atau sesudah batuan terlitifikasi dan dapat terjadi setiap saat. Kekar merupakan rekahan yang mempunyai susunan teratur dan menerus dimana sedikit atau tidak ada pergerakan (McClay, 1987).

Kekar akibat proses deformasi sangat berhubungan dengan gaya yang menyebabkannya, yaitu tegasan dan keretakan (*stress dan strain*) dibagi menjadi tiga jenis menurut McClay, 1987 (Gambar 5.), yaitu:

1. Kekar gerus (*shear joint/ compression joint*), kekar yang terjadi akibat tekanan/kompresi
2. Kekar tarik (*tension joint*), kekar yang terbentuk akibat tarikan. Disebut juga *extension fracture, tension gashes* (terisi mineral).
3. Kekar *hybrid (hybrid joint)*, merupakan campuran dari kedua kekar di atas, dan umumnya terisi mineral sekunder.



Gambar 5. Jenis Jenis Kekar (Fossen,2010)



Gambar 6. Tipe Kekar (McClay, 1987)

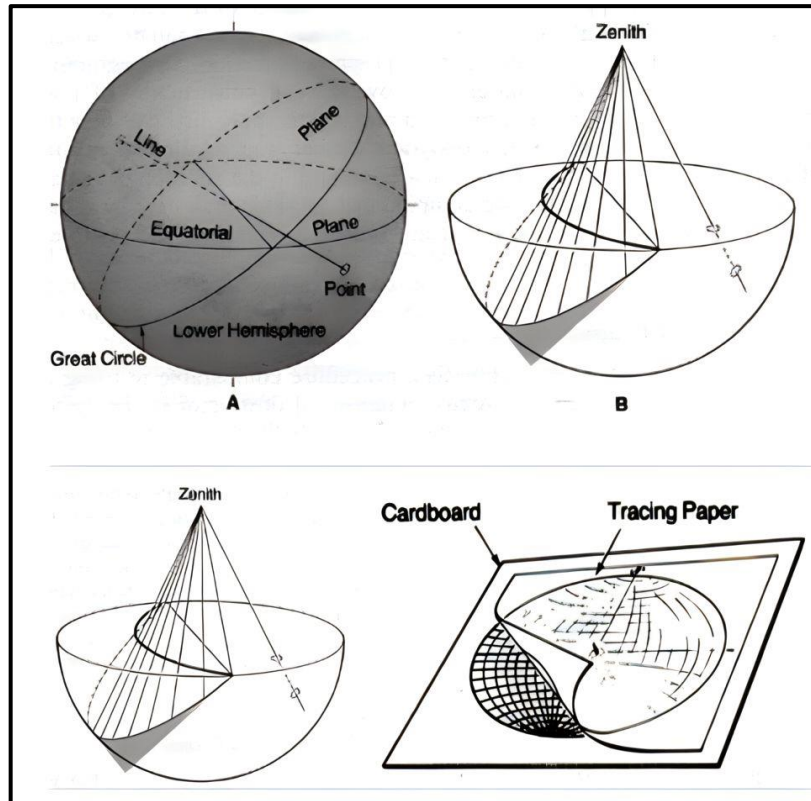
2.4 Proyeksi Stereografi

Proyeksi stereografi merupakan proyeksi yang didasarkan pada perpotongan suatu bidang/garis dalam suatu bidang proyeksi yang berupa bidang permukaan (horizontal) yang melalui pusat sebuah bola (Ragan, 1973). Bidang proyeksi ini berbentuk suatu lingkaran yang kemudian disebut sebagai lingkaran primitif. Lingkaran primitif merupakan proyeksi struktur bidang yang kedudukannya horizontal ($\text{dip} = 0^\circ$), maka penentuan bidang-bidang yang berkedudukan miring, pada *wulff net* dan *schmid net*, 0° dimulai dari lingkaran primitif dan 90° terletak pada pusat lingkaran (Gambar 7.).

Untuk struktur bidang miring yang dip-nya $0^\circ - 90^\circ$ proyeksinya akan berbentuk busur dari suatu lingkaran yang jari-jarinya selalu lebih besar dari jari-jari lingkaran primitifnya. Busur lingkaran ini disebut lingkaran besar atau stereogram dari bidang yang bersangkutan. Untuk struktur bidang yang kedudukannya vertikal maka proyeksinya akan berupa garis lurus yang melalui pusat lingkaran primitif. Selain lingkaran primitif dan lingkaran besar, pada stereonet juga terdapat lingkaran kecil. Lingkaran kecil ini merupakan perpotongan antara bidang permukaan bola (bidang proyeksi dengan bidang yang tidak melalui pusat bola).

Bila arah Utara-Selatan merupakan tempat kedudukan pusat lingkaran kecil dengan jari-jari yang berbeda dan lingkaran kecil bagian bawah bola diproyeksikan ke titik zenith, maka akan menghasilkan garis-garis lengkung (busur) lingkaran kecil. Lingkaran-lingkaran kecil ini pada titik-titik perpotongannya dengan

lingkaran primitif berfungsi untuk memplot arah jurus suatu bidang atau “*bearing*” suatu garis, menentukan besar sudut *pitch/rake* suatu struktur garis pada bidang tertentu

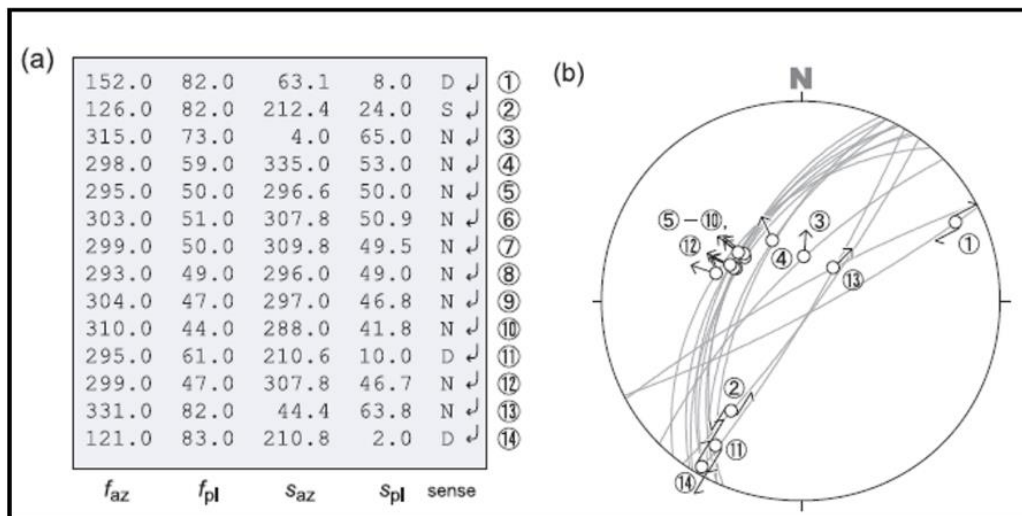


Gambar 7. Proyeksi stereografis, (a) Unsur-unsur proyeksi stereografis, (b) *Wulff Net* atau *Equal Angle Net* (Ragan, 1973).

Patahan dan lipatan selalu ditemukan dalam kondisi bersamaan (Ragan, 1973). Dispesifikkan relasi antara patahan dan lipatan bervariasi dan secara umum terbagi atas dua jenis, yaitu:

1. Patahan dapat berupa hasil dari pembentukan lipatan, terjadi akibat pergerakan deformasi batuan yang berlangsung terus menerus.
2. Yang kedua, dan biasanya dilapangan hal ini umum ditemukan yaitu lipatan yang terbentuk akibat adanya patahan. Selama adanya pergeseran satu blok batuan terhadap blok batuan lainnya akan menyebabkan efek perubahan terhadap blok batuan itu sendiri.

Pembentukan sesar geser pada kenyataannya tidak merupakan suatu garis lurus, tetapi akan terdapat beberapa lekukan pada zona sesar tersebut, pada daerah



Gambar 9. a) Contoh tabulasi data b) Penggambaran data Fault Slip pada aplikasi MIM (Cronin, 2010).

2.5 Amplifikasi Batuan

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. (Satria, 2014)

Semakin besar perbedaan itu, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar. Nakamura (2000) menyatakan bahwa nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Bila perbandingan kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka nilai faktor penguatan juga tinggi, begitu pula sebaliknya. Marjiyono (2010) menyatakan bahwa, amplifikasi berbanding lurus dengan nilai perbandingan spektral horizontal dan vertikalnya (H/V). Nilai amplifikasi bisa bertambah, jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan atau pesesaran) yang mengubah sifat fisik batuan. Pada batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut.

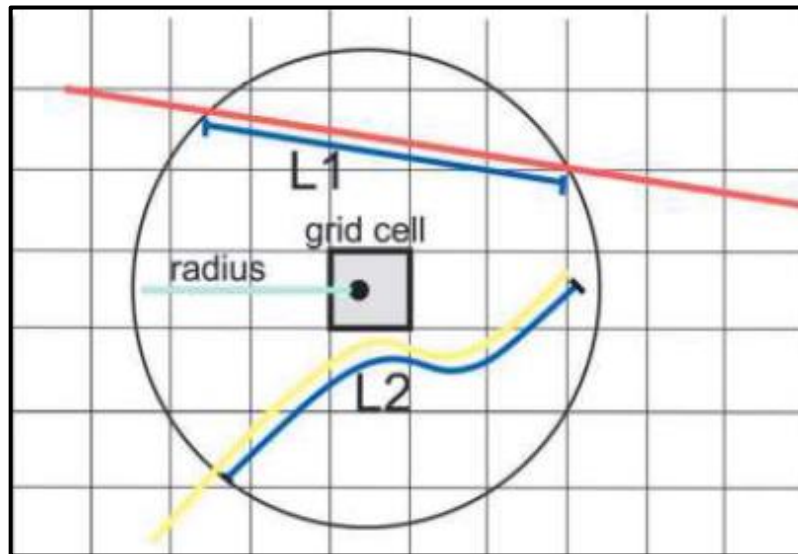
2.6 Kelurusan (*Lineament*)

Lineament merupakan suatu istilah yang dapat menggambarkan kenampakan kelurusan pada permukaan (Verdiansyah, 2017). *Lineament* pada permukaan bumi dapat menjadi manifestasi kondisi struktur geologi bawah permukaan yang juga mencerminkan proses tektonik dalam kerak bumi dan sebagai indikasi bencana geologi (Iqbal & Juliarka, 2019; Williams, 2013). Melalui data citra satelit, *lineament* ditunjukkan sebagai suatu garis yang lebih terang atau lebih gelap daripada latarnya. (Han et al., 2018).

Faktor yang dapat memengaruhi dalam mengindikasikan kelurusan pada sebuah citra yaitu musim, vegetasi, sudut penyinaran (iluminasi), resolusi spasial dan spektral. Dari beberapa faktor tersebut, iluminasi menjadi faktor paling penting dalam kelurusan, sudut *azimuth* pada iluminasi akan menentukan arah bayangan, sedangkan sudut elevasi akan menentukan panjang dari bayangannya. Karena kelurusan memiliki arah dan orientasi, maka kelurusan yang sejajar dengan sudut *azimuth* iluminasi akan sulit dideteksi. Begitupun dengan panjang bayangan yang dihasilkan oleh sudut elevasi iluminasi, ketika posisi dari iluminasi mengakibatkan panjang bayangan menjadi besar, maka fitur kelurusan yang berada dalam radius itu akan sulit dikenali (Yani, 2020)

2.6.1 Kerapatan Kelurusan (*Lineament Density*)

Densitas *lineament* merupakan ukuran kerapatan dan besaran frekuensi tiap unit *lineament* dari masing-masing luasan daerah (Greenbaum, 1985) Dalam proses Analisis Densitas *Lineament* hal yang berpengaruh terhadap hasil analisis adalah data sekunder dan data image seperti DEM, dengan resolusi tertentu. Image dengan resolusi tinggi lebih baik digunakan, seperti IFSAR DEM dengan resolusi 5 m, SRTM dengan resolusi 30 dan 90 m, dan ASTER dengan resolusi 30 m (Verdiansyah, 2017)



Gambar 10. Ilustrasi sel raster dan lingkaran untuk menentukan tingkat densitas kelurusan (Silverman, 1986)

Berdasarkan gambar diatas, kalkulasi densitas linement didasari pada panjang kelurusan yang ada dalam sebuah radius lingkaran (r), maka rumus untuk menghitung densitas *lineament* pada setiap sel yaitu:

$$Density = \frac{L_1 + L_2}{2\pi r} \quad (1)$$

Sedangkan secara keseluruhan umumnya menggunakan persamaan:

$$Density = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{2\pi r} \quad (2)$$

Keterangan :

L = Panjang *Lineament* (Km)

r = Jari-jari lingkaran (Km)

Analisis ini menghasilkan peta yang menunjukkan konsentrasi *lineament* yang terkandung di daerah tersebut. Sehingga analisis ini biasa dilakukan untuk menghitung jumlah dari kelurusan yang berada di setiap unit dari area yang telah ditentukan.