

**“KAJIAN STRUKTUR GEOLOGI PATAHAN PALU – KORO  
DI KABUPATEN DONGGALA DAN IMPLIKASI NYA  
TERHADAP PENATAAN RUANG BERBASIS BENCANA”**

**TESIS**

**SUMARLIN**

**NIM: D062192002**



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

**“KAJIAN STRUKTUR GEOLOGI PATAHAN PALU – KORO  
DI KABUPATEN DONGGALA DAN IMPLIKASI NYA  
TERHADAP PENATAAN RUANG BERBASIS BENCANA”**

**TESIS**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Sarjana Magister  
Teknik pada Program Pascasarjana Teknik Geologi  
Universitas Hasanuddin**

**Disusun dan diajukan oleh**

**SUMARLIN**

**NIM: D062192002**

**PROGRAM PASCASARJANA TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

## TESIS

# KAJIAN STRUKTUR GEOLOGI PATAHAN PALU – KORO DI KABUPATEN DONGGALA DAN IMPLIKASINYA TERHADAP PENATAAN RUANG BERBASIS BENCANA.

**SUMARLIN**  
**D062192002**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam  
rangka penyelesaian studi Program Magister Teknik Geologi Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal Juli 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, S.T., M. Phil  
NIP. 19800428 200501 1 001

Ketua Program Studi

Magister Teknik Geologi



Dr.Eng. Mcutia Farida, ST. MT.

NIP. 1973100320001220001

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sumarlin  
Nomor Mahasiswa : D062192002  
Program Studi : Magister Teknik Geologi

Dengan ini menyatakan bahwa, Tesis berjudul Kajian Struktur Geologi Patahan Palu – Koro di Kabupaten Donggala dan dan Implikasinya Terhadap Penataan Ruang Berbasis Bencana dengan arahan komisi pembimbing (Prof. Dr. Eng Asri Jaya HS, S.T., M.T dan Prof. Dr. Eng. Adi Maulana. S.T., M. Phil) adalah benar karya saya. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan (di Jurnal Geomine, Volume 10, Nomor 3: Desember 2022, Halaman 188 – 198, DOI : <https://doi.org/10.33536/jg.v10i3.1244>) sebagai artikel dengan judul *Tectonically – Controlled Disaster Risk Assessment Study along Palu – Koro Fault in Donggala Regency, Central Sulawesi ; Record from 2018 Earthquake Effect*

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada universitas Hasanuddin.

Gowa, 18 Agustus 2023

Yang menyatakan

  
  
sumarlin

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmatnya sehingga tesis ini dapat diselesaikan.

Adapun judul tesis ini adalah Kajian Struktur Geologi Patahan Palu – Koro Di Kabupaten Donggala Dan Implikasi Nya Terhadap Penataan Ruang Berbasis Bencana yang kemudian menjadi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Geologi Universitas Hasanuddin. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada bapak dan ibu :

1. Prof. Dr. Eng Asri Jaya HS, S.T., M.T sebagai Pembimbing Utama penulis.
2. Prof. Dr. Eng. Adi Maulana. S.T., M. Phil sebagai Pembimbing Pendamping penulis.
3. Prof. Dr. Adi Tonggiroh, ST, MT, Dr. Ir. Kaharuddin., MT; dan Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng. sebagai Komisi tim penguji tesis penulis.
4. Dr. Eng. Meutia Farida, ST., MT. sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik Geologi Universitas Hasanuddin.
5. Prof. Dr. Eng. Ir Muh. Isran Ramli ST., MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Prof. Dr. Ir Jamaluddin Jompa, MSc. sebagai Rektor Universitas Hasanuddin Makassar.
7. Bagus Firmansyah, Baso, Iswandi Utama, Ikhwan Rasyidin, Muh. Nurawallul Syaban, Ferdi Septiawan, dan Agussalim, atas bantuannya pada saat pengambilan data lapangan dan pengolahan data lapangan.

Kepada kedua orang tua tercinta penulis mengucapkan terima kasih atas doa dan dukungannya selama penulis menyelesaikan tesi ini, serta istri tercinta Muzayyanah Isa Hamzah dan ketiga anak tercinta yang senantiasa mendukung dan menjadi motivasi selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin.

Makassar, Juli 2023

Penulis,



Sumarlin

## ABSTRAK

**SUMARLIN** *Kajian Struktur Geologi Patahan Palu – Koro Di Kabupaten Donggala Dan Implikasinya Terhadap Penataan Ruang Berbasis Bencana.* (dibimbing oleh **Asri Jaya** dan **Adi Maulana**)

Wilayah Kabupaten Donggala dikenal dengan intensitas kegempaan yang tinggi, hal ini diakibatkan karena wilayah ini dilalui oleh jalur struktur geologi yaitu patahan mendatar (*strike-slip*) regional Palu-Koro. Sementara dipahami bahwa laju perkembangan populasi dan pembangunan infrastruktur di wilayah ini juga semakin meningkat, sehingga menjadi pertimbangan atau variabel berpengaruh dalam Rencana Penataan Ruang Wilayah (RTRW). Secara spasial zona patahan terbagi atas zona inti (*Fault Core*), zona pengaruh (*Damage Zone*) dan Zona luar (*Wall Rocks*) yang masing-masing memiliki tingkat pengaruh terhadap intensitas rekahan, kegempaan dan tingkat kestabilan lereng sebuah wilayah. Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis komponen struktur geologi di setiap zona sesar sebagai dasar pertimbangan perencanaan dan kesesuaian RTRW dan langkah mitigasi bencana. Metode penelitian ini terbagi atas koleksi data sekunder (PGA, tingkat populasi dan infrastruktur), survei lapangan meliputi koleksi data komponen dan dimensi struktur geologi (rekahan/kekar), dan analisis intensitas dan faktor keamanan lereng untuk menentukan kesesuaian RTRW di setiap zona sesar. Hasil analisis dari tiga stasiun pengukuran di zona *fault core* menunjukkan intensitas tinggi (6.1 – 13.1%) dengan faktor keamanan antara 1.57 – 76.2, berada pada populasi sedang. Empat stasiun pengukuran pada zona *damage* menunjukkan intensitas tinggi (3.54 – 9,4%), dengan faktor keamanan antara 2.8 – 12.6, berada pada populasi sedang. Tiga stasiun pengukuran di zona *wall rocks* menunjukkan intensitas tinggi (11 – 13.1%), dengan faktor keamanan antara 1.4 – 58.4, berada pada populasi sedang. Berdasarkan hasil analisis tersebut di atas disimpulkan bahwa intensitas rekahan dan faktor keamanan lereng umumnya adalah tinggi sehingga zona sesar Palu – Koro tidak sesuai dengan perencanaan RTRW Kabupaten Donggala. Implikasi dari penelitian ini adalah rencana tata ruang wilayah harus mempertimbangkan zonasi zona patahan (zona inti, zona pengaruh dan zona luar/batuan samping).

Kata Kunci : struktur geologi, zona sesar, kekar, Donggala, Palu – Koro

## ABSTRACT

**SUMARLIN** *Study of the Geological Structure of the Palu – Koro Fault in Donggala Regency and Implications for Disaster-Based Spatial Planning.* (supervised by **Asri Jaya** and **Adi Maulana**)

The Donggala Regency area is known for high seismic intensity, due to this area being cross-cut by a major strike-slip fault namely the Palu-Koro Fault. While it is understood that the growth of population and infrastructure is increasing in this region, it becomes a crucial consideration or variable in regional spatial planning. Spatially, the fault zone is divided into three components namely fault core, damage zone, and wall rocks. which has a product and influence on fracture intensity, seismicity, and the level of slope stability in an area. Therefore, this study aims to analyze the geological structural components in each fault zone as a basis for considering the planning and suitability of regional spatial planning and disaster mitigation in the area. This research method is divided into secondary data collection (Peak Ground Acceleration (PGA), growth population level, and infrastructure utilities), field surveys including the data collection of components and dimensions of geological structures (fractures/joints), slope intensity, and safety factor analysis to determine the appropriateness of the regional spatial planning with the fault zone. The analysis results from three measurement sites suggest that the fault core zone shows high intensity (6.1 – 13.1%) with a safety factor between 1.57 – 76.2, which is in the moderate population. Four sites in the damage zone show high intensity (3.54 – 9.4%), with a safety factor between 2.8 – 12.6, belonging to the moderate population. Three sites in the wall rocks zone show high intensity (11 – 13.1%), with a safety factor between 1.4 – 58.4, belonging to a moderate population. Based on the results of the analysis above, it can be concluded that based on the fracture intensity and slope safety factor are generally high, so the Palu – Koro fault zone is not in accordance with the Donggala area spatial planning. The implication of this research suggests that regional spatial planning must consider fault zone (fault core, damage zone, and wall rock).

Keywords: geological structure, fault zone, joints, Donggala, Palu – Koro

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL .....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xviii
<b>BAB I    PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah Penelitian.....	6
1.3    Maksud dan Tujuan Penelitian .....	6
1.4    Batasan Masalah Penelitian .....	6
1.5    Manfaat Penelitian .....	7
1.6    Peneliti Terdahulu .....	7
1.7    Defenisi dan Istilah .....	8
<b>BAB II    TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>9</b>
2.1    Fisiografi Regional.....	9
2.1.1    Fisiografi Kabupaten Donggala.....	11
2.2    Tatanan Stratigrafi.....	14



2.2.1	Tatanan Stratigrafi Regional .....	14
2.2.2	Tatanan Stratigrafi Kabupaten Donggala.....	15
2.2.3	Tektonik dan Struktur Geologi.....	21
2.2.4	Struktur Geologi Daerah Kabupaten Donggala .....	23
2.3	Landasan Teori.....	24
2.3.1	Struktur Sesar .....	24
2.3.2	Struktur Kekar.....	26
2.4	Proyeksi Stereografi .....	28
2.5	Metode Pemetaan Geologi Struktur untuk sampling <i>Fracture</i> (kekar) .....	31
2.6	Jenis-Jenis Kegagalan Lereng ( <i>Slope Failure</i> ).....	34
2.7	Klasifikasi Zona Kerusakan Sesar ( <i>Fault Damage zone</i> ) .....	38
BAB III	METODE PENELITIAN .....	41
3.1	Jenis Penelitian.....	41
3.2	Lokasi dan Kesampaian Daerah.....	41
3.3	Analisa Faktor Keamanan .....	42
3.4	Teknik Pengumpulan Data .....	43
3.5	Tahapan Penelitian.....	43
3.6	Diagram Alir Penelitian.....	45
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	46
4.1	Hasil .....	46
4.1.2	Struktur Geologi dan Sejarah Kegempaan.....	48
4.1.3	Kondisi Struktur Geologi.....	52
4.2	Pembahasan .....	53
4.3	Analisa Kesesuaian RTRW Kabupaten Donggala dengan data pengolahan Struktur Geologi.....	84

BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN .....	88
5.1	Kesimpulan .....	88
5.2	Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA	.....	90

## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
Gambar 1. 1	Sesar Palu-Koro (PKF) (Bellier et al., 2001) ..... 1
Gambar 1. 2	Slip-rate Sesar Palu-Koro (Bellier et al., 2001) ..... 2
Gambar 1. 3	Penampakan Sesar Palu-Koro dan Sesar Poso dari data SRTM Serta Model Mekanisme Gempa yang Terjadi Disekitarnya ..... 3
Gambar 2. 1	Pembagian jalur fisiografi Sulawesi (Smith dan Silver, 1991) ..... 10
Gambar 2. 2	Peta Kelerengan Kabupaten Donggala ..... 13
Gambar 2. 3	Peta Geologi Kabupaten Donggala (di modifikasi, (Sukamto, 1973) ..... 17
Gambar 2. 4	Struktur utama di Sulawesi, (Hamilton & U.S. Govt. Print. Off., 1979)..... 23
Gambar 2. 5	Klasifikasi dinamik struktur sesar (normal, strike slip dan reverse) berdasarkan konsep Anderson's 1951 dengan proyeksi komponen stress state (kiri), masing-masing ditunjukkan proyeksi stereografi dengan focal mechanism (kanan), Fossen (2010) ..... 26
Gambar 2. 6	Anatomi kekar (Haakon, 2010)..... 27
Gambar 2. 7	Jenis kekar (McClay,1987) ..... 28
Gambar 2. 8	Proyeksi stereografis, (a) Unsur-unsur proyeksi stereografis, (b)Wulff Net atau Equal Angle Net Ragan (2009 ..... 29
Gambar 2. 9	Skema Ilustrasi memperlihatkan sudut untuk menunjukkan orientasi fault plane dan arah slip pada patahan dalam Yamaji (2011). ..... 30
Gambar 2. 10	a) Contoh File Data b) Data Fault Slip yang Tergambar pada MIM 2010. .... 31

- Gambar 2. 11 a) Atribut fraktur, termasuk orientasi, panjang, bukaan, jarak dan pengisian fraktur diukur untuk setiap fraktur yang memotong garis pemindaian linier (pita pengukur). b) Tiga set fraktur spasi merata pada orientasi yang berbeda (N-S, NE-SW & NW-SE) direkam pada garis pemindaian linier (garis putus-putus). Jarak sebenarnya untuk setiap set adalah 11 cm, dan intensitas sebenarnya adalah 8 per meter; hanya jarak sebenarnya dan intensitas patah tulang yang tegak lurus terhadap garis pindai (set N-S) yang dicatat karena dua set lainnya miring terhadap garis pindai, memberikan jarak 15 cm dan hanya 6 patahan per meter. c) Diskontinuitas skala besar yang dipetakan menggunakan sampel areal dari foto udara. d) Jejak fraktur dipetakan pada bidang perlapisan dari foto lapangan. e) Atribut fraktur, termasuk orientasi, panjang, bukaan, jarak dan isi fraktur diukur untuk setiap fraktur dalam area pengambilan sampel (kotak hitam) menggunakan pengambilan sampel jendela segi empat. f) Pengumpulan data pemindaian garis sirkular; persimpangan fraktur dengan lingkaran pengambilan sampel (titik-titik hitam) dan akhir fraktur dalam lingkaran (kotak hitam) dihitung untuk memperkirakan intensitas patah, kepadatan dan panjang jejak rata-rata (Mauldon et al., 2001). ..... 32
- Gambar 2. 12 Window sampling (A), scanline sampling (B), dan metode penduga melingkar (C). Garis hitam pekat menunjukkan rekahan sampel; garis abu-abu muda, fraktur non sampling; dan garis putus-putus, bagian patah tulang yang tidak dapat diamati (disensor) (dimodifikasi dari Rohrbaugh et al., 2002). (Zeeb, et al, 2013). ..... 33
- Gambar 2. 13 Jenis utama kegagalan blok di lereng, dan kondisi struktur geologi yang mungkin menyebabkan kegagalan berikut: (a) kegagalan bidang pada batuan yang terkekarkan

- perlapisannya searah lereng, dan strike sejajar dengan permukaan lereng; (b) kegagalan baji pada dua perpotongan diskontinuitas; (c) kegagalan pada lereng batuan dengan perlapisan yang tegak sejajar lereng; dan (d) kegagalan pada batuan yang lunak/lapuk kuat atau batuan yang retak dekat dengan diskontinuitas berorientasi acak. (Willie dan Christopher, 2004)..... 36
- Gambar 2. 14 Identifikasi kegagalan bidang dan kegagalan membaji pada stereonet: (a) meluncur/gelincir di sepanjang garis perpotongan bidang A dan B adalah mungkin di mana terjunnya ini garis lebih kecil dari kemiringan muka lereng, diukur arah geser, yaitu,  $\psi_i < \psi_f$  ; (b) kegagalan membaji terjadi di sepanjang garis persimpangan (arah kemiringan  $\alpha_i$ ) pada lereng dengan arah kemiringan  $\alpha_f$  karena arah perlapisan (dip direction) dari bidang A dan B ( $\alpha_A$  dan  $\alpha_B$ ) terletak di luar termasuk sudut antara  $\alpha_i$  dan  $\alpha_f$  ; (c) kegagalan terjadi pada bidang A (arah dip  $\alpha_A$ ) di lereng dengan arah kemiringan  $\alpha_f$  karena arah kemiringan bidang A terletak di dalam termasuk sudut antara  $\alpha_i$  dan  $\alpha_f$ ..... 37
- Gambar 2. 15 Diagram blok konseptual zona sesar melintasi suatu sesar (dimodifikasi dari Caine et al., 1996; Faulkner et al., 2003). Diagram ini menunjukkan komponen utama dari arsitektur zona sesar (yaitu teras sesar, zona kerusakan) dan elemen struktur serta fitur di setiap komponen. Perhatikan bahwa zona transisi (atau campuran) dicirikan oleh perubahan elemen sesar dari teras sesar dan zona kerusakan. .... 39
- Gambar 2. 16 Diagram skematis yang membandingkan berbagai metode analisis untuk memperkirakan lebar zona kerusakan akibat patahan/sesar. (a) Gambar yang menunjukkan distribusi rekahan melintasi bagian hipotetis. (b) diagram batang yang menunjukkan frekuensi rekahan berdasarkan satuan interval 2 dan 1 m. (c) Inset untuk distribusi rekahan di

	sekitar perkiraan batas zona kerusakan akibat sesar. (d) Plot frekuensi rekahan kumulatif dan distribusi gradien kemiringannya. Titik persimpangan antara dua gradien yang berbeda menunjukkan batas luar zona kerusakan.....	40
Gambar 3. 1	Peta Lokasi Penelitian.....	41
Gambar 3. 2	Bagan Alir Penelitian.....	45
Gambar 4. 1	Peta geologi Regional Kabupaten Donggala (di modifikasi dari Sukamto, 1973; Ratman, 1976; Simandjuntak et al., 1991; Ratman and Atmawinata, 1993; Sukido et al.,1993; Simandjuntak et al., 1997; van Leeuwen and Muhardjo, 2005; Calvert and Hall, 2007), mencakup 5 litotektonik utama di Sulawesi bagian Tengah; PMC – Palu Metamorphic Complex; MMC – Malino Metamorphic Complex; PSC – Pompangeo Schist Complex; G – Gumbasa Metamorphic Complex; W–Wana Metamorphic Complex; K – Karossa Metamorphic Complex; T – Tinombo Formation; L – Latimojong Formation; P – Papayato Volcanics. Dalam Hennig, 2014 .....	47
Gambar 4. 2	Struktur geologi yang di jumpai pada lokasi penelitian, perlipatan pada batuan sekis di sekitar Walandano (kiri atas), bidang sesar pada batugamping yang di jumpai di Banawa (kanan atas), batuan granite terbreksiasi yang di jumpai di daerah Kasimbar (kiri bawah), batuan basal yang terbreksiasi dan terkekarkan yang di jumpai di Banawa (kanan bawah) .....	49
Gambar 4. 3	Distribusi episenter gempa bumi di Sulawesi Tengah tahun 1900 – 2018 dari katalog USGS a) magnitudo > 6.0, b) magnitudo > 7.0.....	50
Gambar 4. 4	a) Sesar Palu Koro yang memotong bagian tengah pulau Sulawesi, Jaya et al, 2019; b) Peta baru Sesar Palu - Koro, Serta usulan lokasi magnitudo 7.5, sesar Palu – Koro	

	terbagi atas 4 segmen utama yaitu Tanimbaya, Donggala, Palu dan Saluki, D.H Natawidjaya, et al 2020.....	51
Gambar 4. 5	Peta Lokasi Pengukuran Kekar dan kondisi intensitas dan spasi kekar Stasiun 1 Tanjung Karang.....	54
Gambar 4. 6	Analisa kinematik lereng jalan Stasiun 1 Tanjung Karang.....	55
Gambar 4. 7	Kondisi lereng dan lokasi pengukuran kekar.....	56
Gambar 4. 8	Analisa faktor keamanan dengan metode bishop pada ST 1 ....	57
Gambar 4. 9	Peta Lokasi Pengukuran Kekar dan kondisi intensitas dan spasi kekar Stasiun 2 Salubomba .....	58
Gambar 4. 10	Analisa kinematik lereng jalan Stasiun 2 Salubomba .....	59
Gambar 4. 11	Kondisi lereng dan lokasi pengukuran kekar.....	59
Gambar 4. 12	Analisa faktor keamanan dengan metode bishop pada Stasiun 2 Salubomba.....	60
Gambar 4. 13	Peta Lokasi Pengukuran Kekar dan kondisi intensitas dan spasi kekar Stasiun 3 Kabonga Besar .....	61
Gambar 4. 14	Analisa kinematik lereng jalan Stasiun 3 Kabonga Besar .....	62
Gambar 4. 15	Kondisi lereng dan lokasi pengukuran kekar.....	62
Gambar 4. 16	Analisa faktor keamanan dengan metode bishop pada Stasiun 3 Kabonga Besar .....	63
Gambar 4. 17	Peta Lokasi Pengukuran Kekar dan kondisi intensitas dan spasi kekar Stasiun 4 Kabonga Kecil.....	64
Gambar 4. 18	Analisa kinematik lereng jalan Stasiun 4 Kabonga Kecil.....	65
Gambar 4. 19	Analisa faktor keamanan dengan metode bishop pada ST 4 ....	66
Gambar 4. 20	Peta Lokasi Pengukuran Kekar dan kondisi intensitas dan spasi kekar Stasiun 5 Walandano 1 .....	67
Gambar 4. 21	Analisa kinematik lereng jalan ST 5 Walandano 1 .....	68
Gambar 4. 22	Kondisi lereng dan lokasi pengukuran kekar.....	68
Gambar 4. 23	Analisa faktor keamanan dengan metode bishop pada Stasiun 5 Walandano 1 .....	69
Gambar 4. 24	Peta Lokasi Pengukuran Kekar dan kondisi intensitas dan spasi kekar ST 6 di Sekitar Danau Rano.....	70
Gambar 4. 25	Analisa kinematik lereng jalan Stasiun 6 Danau Rano.....	71

Gambar 4. 26	Kondisi lereng dan lokasi pengukuran kekar .....	71
Gambar 4. 27	Analisa faktor keamanan dengan metode bishop pada ST 6 ....	72
Gambar 4. 28	Peta Lokasi Pengukuran Kekar dan kondisi intensitas dan spasi kekar ST 7 Walandano 2 .....	73
Gambar 4. 29	Analisa kinematik lereng jalan ST 7 Walandano 2 .....	74
Gambar 4. 30	Kondisi lereng dan lokasi pengukuran kekar.....	74
Gambar 4. 31	Analisa faktor keamanan dengan metode bishop pada Stasiun 7 Walandano 2 .....	75
Gambar 4. 32	Peta Lokasi Pengukuran Kekar dan kondisi intensitas dan spasi kekar Stasiun 8 Walandano 3 .....	76
Gambar 4. 33	Analisa kinematik lereng jalan Stasiun 8 Walandano 3 .....	77
Gambar 4. 34	Kondisi lereng dan lokasi pengukuran kekar.....	77
Gambar 4. 35	Analisa faktor keamanan dengan metode bishop pada Stasiun 8 Walandano 3 .....	78
Gambar 4. 36	Peta Lokasi Pengukuran Kekar dan kondisi intensitas dan spasi kekar Stasiun 9 Kasimbar.....	79
Gambar 4. 37	Analisa kinematik lereng jalan Stasiun 9 Kasimbar.....	80
Gambar 4. 38	Kondisi lereng dan lokasi pengukuran kekar.....	80
Gambar 4. 39	Analisa faktor keamanan dengan metode bishop pada Stasiun 9 Kasimbar.....	81
Gambar 4. 40	Peta Lokasi Pengukuran Kekar dan kondisi intensitas dan spasi kekar Stasiun 10 Kebun Kopi.....	82
Gambar 4. 41	Analisa kinematik lereng jalan ST 10.....	83
Gambar 4. 42	Kondisi lereng dan lokasi pengukuran kekar.....	83
Gambar 4. 43	Analisa faktor keamanan dengan metode bishop pada Stasiun 10 Kebun Kopi.....	84
Gambar 4. 44	Peta Komponen Sesar Palu – Koro serta elemen penyusun (zona inti, zona pengaruh dan zona luar/batuan samping).....	86
Gambar 4. 45	Peta struktur geologi yang di tumpang susun ( <i>overlay</i> ) dengan tingkat populasi dan infrastruktrur jalan di Kabupaten Donggala .....	87



## DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
Tabel 2. 1	Kondisi topografi wilayah, Kabupaten Donggala .....	14
Tabel 2. 2	Definisi Densitas Fraktur (p), Intensitas ( I), Spasi (S), dan Panjang Rata-rata (Im), dan Persamaan Pengatur untuk Menghitung Parameter Ini Menggunakan Metode Scanline Sampling, Window Sampling, dan Circular Estimator * (zeeb, et al 2013) .....	34
Tabel 3. 1	Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.....	42
Tabel 4. 1	Definition of Density (p), Intensity (I), and mean Length (Im) and Governing Equations to Calculate These Parameters Using the Scanline Sampling, Window Sampling, and Circular Estimator Methods.....	53
Tabel 4. 2	Kesesuaian RTRW Kabupaten Donggala dengan pengolahan data struktur geologi (intensitas kekar, spasi, faktor keamanan dan zona sesar) menggunakan analisis resiko.....	85

## DAFTAR LAMPIRAN

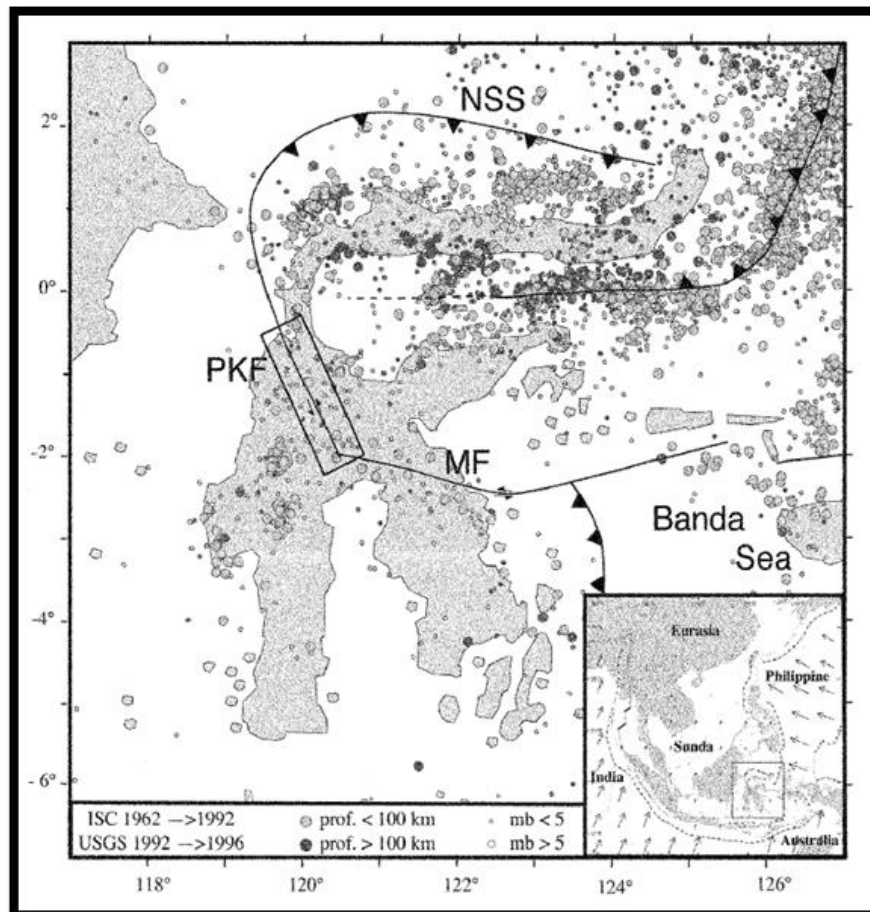
Lampiran 1 Data 10 stasiun *scan line* pengukuran kekar di Kabupaten Donggala

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

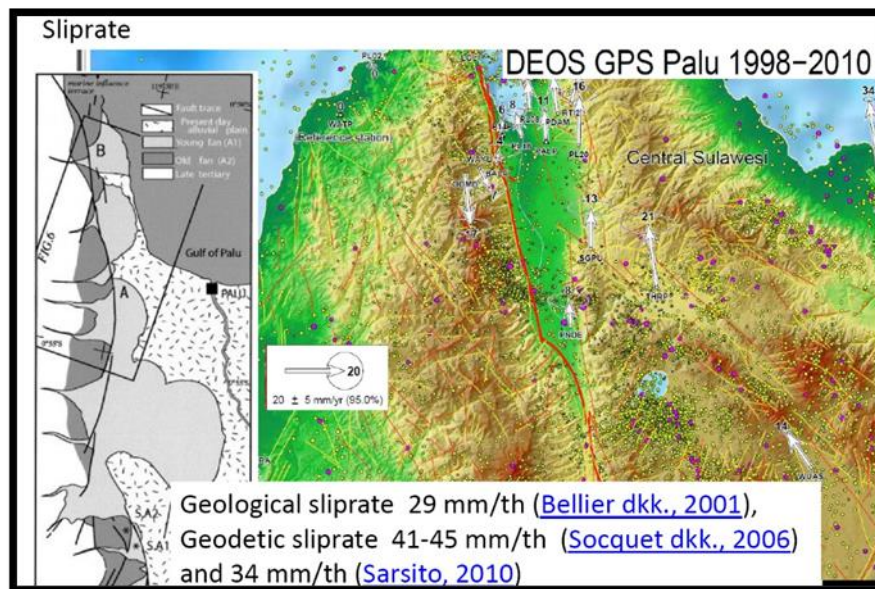
Aktifitas kegempaan sesar Palu – Koro membuat Daerah Palu dan sekitarnya menjadi salah satu kawasan yang memiliki tingkat kerentanan bahaya gempabumi yang tinggi di Indonesia. Tingginya tingkat aktivitas kegempaan sesar Palu-Koro di kawasan ini tidak lepas dari lokasinya yang berada pada zona tumbukan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Indo-Australia, Eurasia dan Pasifik (Gambar 1.1).



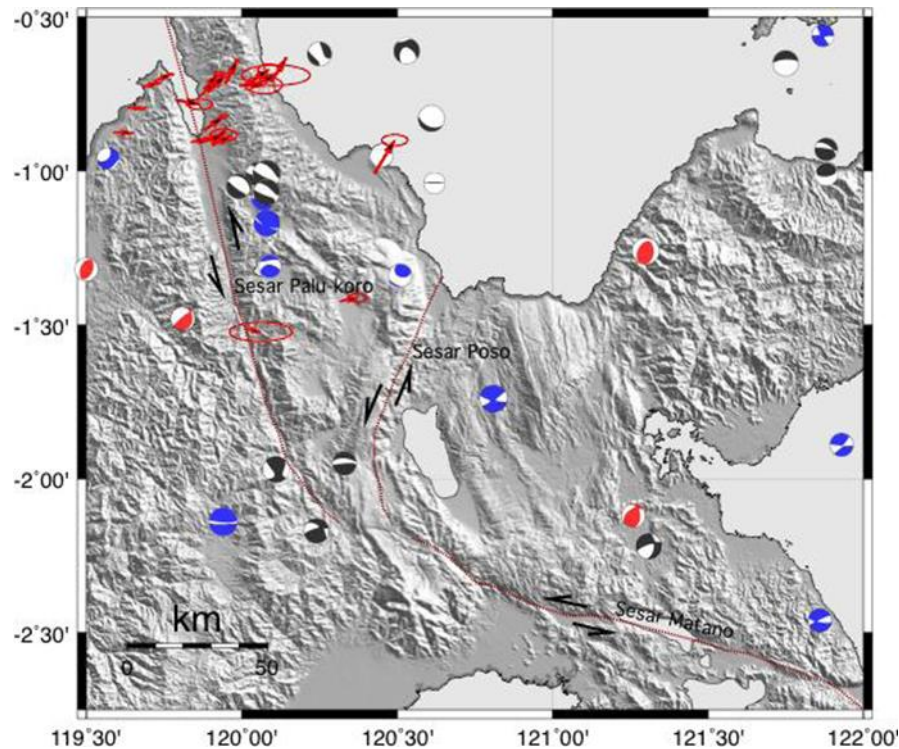
**Gambar 1. 1** Sesar Palu-Koro (PKF) (Bellier et al., 2001)

Sesar Palu-Koro memanjang dari Teluk Palu sekitar batas perairan Laut Sulawesi dengan Selat Makassar ke arah ke arah selatan menenggara melalui

Sulawesi Tengah bagian utara menuju ke selatan di pantai utara Teluk Bone sampai di Laut Banda sekitar 500 km. Lajur sesar Palu-Koro di daratan, memotong tepat jatung Kota Palu (Lembah Palu) dan Sungai Lariang di Lembah Pipikoro, Donggala pada segmen Sungai Koro (Lembah Koro). Segmen-segmen sesar Palu-Koro terus bergerak relatif satu sama lain dan memiliki sifat pergeseran sinistral (pergeseran ke arah kiri) dengan dip sekitar  $50^\circ$  dan kecepatan geser atau slip rate rata-rata sekitar sekitar 29 mm/tahun (Bellier et al., 2001) gambar 1.2. Fakta inilah yang menyebabkan tingginya aktifitas gempabumi di Daerah Palu dan sekitarnya. Selain menyebabkan gempa bumi di Kota Palu, pengaruh sesar Palu – Koro juga menyebabkan aktifnya beberapa sesar-sesar lain disekitarnya seperti sesar Poso dan Sesar Matano (Gambar 1.3).



**Gambar 1. 2** Slip-rate Sesar Palu-Koro (Bellier et al., 2001)



**Gambar 1. 3** Penampakan Sesar Palu-Koro dan Sesar Poso dari data SRTM Serta Model Mekanisme Gempa yang Terjadi Disekitarnya

Berdasarkan data kegempaan yang ada, aktifitas Sesar palu – Koro merupakan salah satu yang paling aktif di Indonesia. Adapun aktivitas kegempaan Sesar Palu-Koro dalam 80 tahun terakhir (Suparto et al., 2014):

1. Gempabumi dan Tsunami Watusampu, 1 Desember 1927; terjadi gelombang tsunami dari Teluk Palu dengan ketinggian maksimum 15 meter. Rumah-rumah di pantai mengalami kerusakan, 14 orang meninggal dan 50 orang luka-luka.
2. Gempabumi dan Tsunami Parigi, 20 Mei 1938; magnitudo 7,6 SR, berpusat di laut dan mengakibatkan tsunami setinggi 4-meter dan memunculkan Pulau Makakata, Parigi. Lebih dari 50 % atau 942 unit rumah roboh dan dilaporkan 16 orang tewas tenggelam, dan di Ampibabo satu orang tewas tersapu gelombang tsunami.
3. Gempabumi dan Tsunami Tambu, 14 Agustus 1968; magnitudo 6,0SR dan berpusat di laut, tsunami setinggi 10 meter, menenggelamkan Desa Kampung Lembu, pusat Desa Kambayang, Damsol. Daerah yang mengalami kerusakan paling parah adalah kawasan Mapaga, ditemukan 160 orang meninggal dan 40 orang dinyatakan hilang, serta 58 orang luka parah.

4. Gempabumi Lawe, 1995; berpusat di daratan, terjadi retakan tanah, longsor dan merusak rumah warga di Kulawi, Gimpu, Lawe dan Kantewu.
5. Gempabumi dan Tsunami Tonggolobibi, 1996; magnitudo 6,3SR berpusat di laut, menimbulkan tsunami dan mengubah daratan sekitar pantai menjadi dasar laut. menyebabkan 9 orang tewas,serta kerusakan parah di Desa Bangkir, Toli-Toli, Tonggolobibi, dan Palu. Gempabumi ini juga memicu tsunami dengan ketinggian 2-meter dengan limpasan air laut ke daratan sejauh 400 meter.
6. Gempabumi Bora, 24 Januari 2005; magnitudo 6,2 SR dan berpusat di daratan, kerusakan bangunan rumah di Desa Bora, yang menyebabkan satu orang meninggal dan 4 orang luka-luka.

Dan bencana Gempabumi & Tsunami Palu 2018; magnitudo 7,4 SR dan berpusat di darat di daerah Donggala dengan kedalaman pusat gempa 10 km, korban jiwa sebanyak 2045 jiwa, Terdiri dari 1.601 orang di Palu, 171 orang Donggala, 222 orang di Sigi, 15 orang di Parigi Moutong dan 1 orang di Pasangkayu, Sulbar.

- Korban luka: 10.679 orang

- Korban hilang: 671 orang

- Pengungsi: 82.775 orang

Sebanyak 74.044 orang tersebar di 112 titik di Sulteng, sedangkan 8.731 orang di luar Sulteng.

- Rumah rusak: 67.310 unit

- Rumah peribadatan: 99 unit

- Fasilitas kesehatan: 20 unit

Ada dua desa di antaranya yang bergeser, yaitu Desa Jono Oge dan Mappanau. Di desa tersebut, bangunan rusak diperkirakan berjumlah 366 unit dan kemungkinan rusak sebanyak 168 unit.

Berdasarkan data diatas, sangat jelas tergambar bahwa aktifitas Sesar Palu-Koro sangat aktif dan menyebabkan korban baik jiwa maupun infrastruktur yang besar. Besarnya dampak yang ditimbulkan oleh gempa bumi terakhir yang terjadi pada bulan September 2018 lalu menyebabkan perlunya dilakukan studi geologi struktur untuk memetakan daerah-daerah yang terdampak gempa bumi. Hal ini sangat perlu dan mendesak untuk dilakukan sebagai upaya mitigasi menghadapi bencana alam selanjutnya.

Mitigasi bencana merupakan serangkaian upaya untuk mengurangi resiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana ((UU No.24, 2007)). Bencana alam seperti gempa bumi, tsunami, banjir, longsor, letusan gunung api dan lain-lain. Dalam Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tersebut pada Pasal 42 ayat (1) disebutkan bahwa: ”Pelaksanaan dan penegakan rencana tata ruang wilayah dilakukan untuk mengurangi risiko bencana yang mencakup pemberlakuan peraturan tentang penataan ruang, standar keselamatan dan penerapan sanksi terhadap pelanggar”. Ini berarti bahwa pada dasarnya pelaksanaan tata ruang adalah untuk menghindari pemanfaatan ruang yang tidak sesuai yang pada akhirnya dapat menimbulkan bencana. Untuk itu perlu dilakukan perencanaan tata ruang yang berbasis bencana sebagai implementasi dari Undang- Undang Nomor 24 dan 26 Tahun 2007.

Dalam Perda Nomor 1 Tahun 2011 Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Donggala tahun 2011 – 2031 hanya menyebutkan kawasan rawan longsor di kabupaten Donggala terdapat pada 9 (sembilan) Kecamatan di Kabupaten Donggala, tanpa menentukan analisis yang digunakan dalam penentuan kawasan rawan bencana longsor, sehingga kompilasi data lapangan struktur geologi terutama kekar dapat menjadi satu tambahan data dalam deliniasi kawasan rawan bencana longsor.

Dalam konteks rekonstruksi dan rehabilitasi bencana Gempa Bumi dan Tsunami 2018 di Kabupaten Donggala, perlu dilakukan sebuah kajian tentang kondisi tektonik dan pemetaan geologi struktur secara detail di sepanjang sesar Palu – Koro setelah terjadinya bencana. Hasil dan kajian tektonik dan pemetaan geologi struktur ini akan menjadi dasar dalam melakukan revisi perencanaan tata ruang wilayah agar kebijakan pembangunan lebih berorientasi kebencanaan sebagai upaya mitigasi. Diharapkan upaya mitigasi ini akan memberikan dampak yang maksimal sehingga dapat meminimalkan korban baik jiwa maupun infratraktur apabila bencana alam terjadi.

Berdasarkan hal tersebut, maka penulis mengangkat sebuah judul penelitian “Kajian Struktur Geologi Patahan Palu – Koro Di Kabupaten Donggala Dan Implikasinya Terhadap Penataan Ruang Berbasis Bencana”

## **1.2 Rumusan Masalah Penelitian**

Permasalahan dalam penelitian ini dapat dikelompokkan kedalam dua bagian yakni :

1. Bagaimana tingkatan intensitas kekar dan spasi kekar pada wilayah penelitian.
2. Bagaimana hubungan antara struktur geologi dengan stabilitas lereng batuan.
3. Bagaimana struktur geologi yang berkembang dan implikasinya terhadap program mitigasi bencana dan tata ruang wilayah di Kabupaten Donggala.

## **1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian**

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan pengukuran struktur geologi di daerah Donggala serta implikasinya terhadap program mitigasi bencana dan tata ruang wilayah di Kabupaten Donggala

Tujuan penelitian yang akan dicapai yaitu sebagai berikut :

1. Melakukan pemetaan struktur geologi terutama pengukuran kekar (intensitas dan spasi) paska bencana gempa bumi dan tsunami 2018 di sepanjang Sesar Palu-Koro di Kabupaten Donggala dan Sekitarnya.
2. Menjadi bahan masukan dan informasi dasar bagi pemerintah Kabupaten Donggala dan daerah sekitarnya yang merasakan dampak dari bencana gempa bumi dan tsunami 2018 dalam hal arahan mitigasi bencana dan arahan tata ruang wilayah di sepanjang Sesar Palu-Koro di masa depan.
3. Menjadi bahan kajian (referensi) dalam upaya revisi tata ruang di Kabupaten Donggala dan wilayah yang terdampak bencana gempa bumi dan tsunami

## **1.4 Batasan Masalah Penelitian**

Batasan masalah dalam penelitian ini yakni penelitian ini fokus melakukan kajian dan analisis struktur geologi terutama kekar di sekitar jalur Sesar Palu – Koro di Kabupaten Donggala dan sekitarnya.



## 1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan uraian diatas maka manfaat penelitian yang dapat diperoleh yaitu sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik struktur geologi yang berkembang di sepanjang sesar Palu – Koro yang berada di Kabupaten Donggala
2. Mengetahui arahan mitigasi bencana serta arahan tata ruang wilayah Kabupaten Donggala

## 1.6 Peneliti Terdahulu

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian dan kajian di sekitar lokasi penelitian ini antara lain :

- Sukanto, R., 1975, Perkembangan Tektonik di Sulawesi dan Daerah Sekitarnya, Suatu Sintetis Perkembangan Berdasarkan Tektonik Lempeng, Geologi Indonesia.
- Bellier, O., et al., 2001, *High Slip Rate for Low Seismicity Along the Palu-Koro Active Fault in Central Sulawesi (Indonesia)*.
- Bellier, O., et all, 2006, *Fission Track and Fault Kinematics Analyses for New Insight into the Late Cenozoic Tectonic Regime Changes in West-Central Sulawesi (Indonesia)*.
- Hennig J., et al., 2015 melakukan penelitian Geokronologi U-Pb zirkon dari bagian Barat Sulawesi Tengah; hubungan dengan Metamorfisme dan Magmatidme awal dari pembentukan pegunungan.
- Ian M. Watkinson meneliti tentang sesar Palu Koro dengan judul *Ductile Flow in the metamorphic rocks of central Sulawesi*.
- Sopaheluwakan, J., Kadarusman A., Priadi meneliti tentang batuan *basement* dengan judul *the nature basement rock in the palu region, central Sulawesi*.
- Van Leeuwen, meneliti tentang batuan metamorf dengan judul *The Palu Metamorphix complex, NW Sulawesi, Indonesia : Origin and Evolution of a young metamorphic terrane with links to Gondwana and Sundaland*.

- Asri Jaya, 2019 Meneliti Distribusi dan Morfologi dari Struktur Permukaan dari Gempa 2018 Donggala – Palu, Sulawesi Tengah Indonesia
- Adi Maulana, 2019 Meneliti tentang Kendala Geologi dalam Mitigasi Bencana Alam di Sulawesi Selatan
- Danny Hilman Natawidjaya, dkk, 2020, Gempa Palu 2018 “*Supershear*” Struktur permukaan dari gempa bumi dari hasil pengukuran lapangan, LIDAR, Batimetri dan seismik refleksi

### 1.7 Defenisi dan Istilah

Definisi dan istilah yang digunakan dalam penulisan rencana penelitian ini yaitu:

1. Tektonik adalah tenaga geologi yang berasal dari dalam bumi dengan arah vertikal atau horizontal yang mengakibatkan perubahan letak lapisan batuan yang membentuk permukaan bumi.
2. Struktur Geologi adalah gambaran bentuk dan hubungan dari keadaan batuan di kerak bumi. Berdasarkan kejadiannya dapat di bedakan menjadi struktur primer dan struktur sekunder. Struktur primer terbentuk pada saat pembentukan batuan berlangsung (struktur sedimen, kekar akibat pendinginan magma dan struktur perlapisan), sedangkan struktur sekunder terbentuk akibat pengaruh deformasi batuan oleh gaya tektonik yang bekerja pada batuan tersebut, struktur geologi yang penting untuk diketahui adalah lipatan (*fold*), kekar (*joint*) dan sesar (*Fault*)
3. Mitigasi bencana adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko **bencana**, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman **bencana** (Pasal 1 ayat 6 PP No 21 Tahun 2008 tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana).

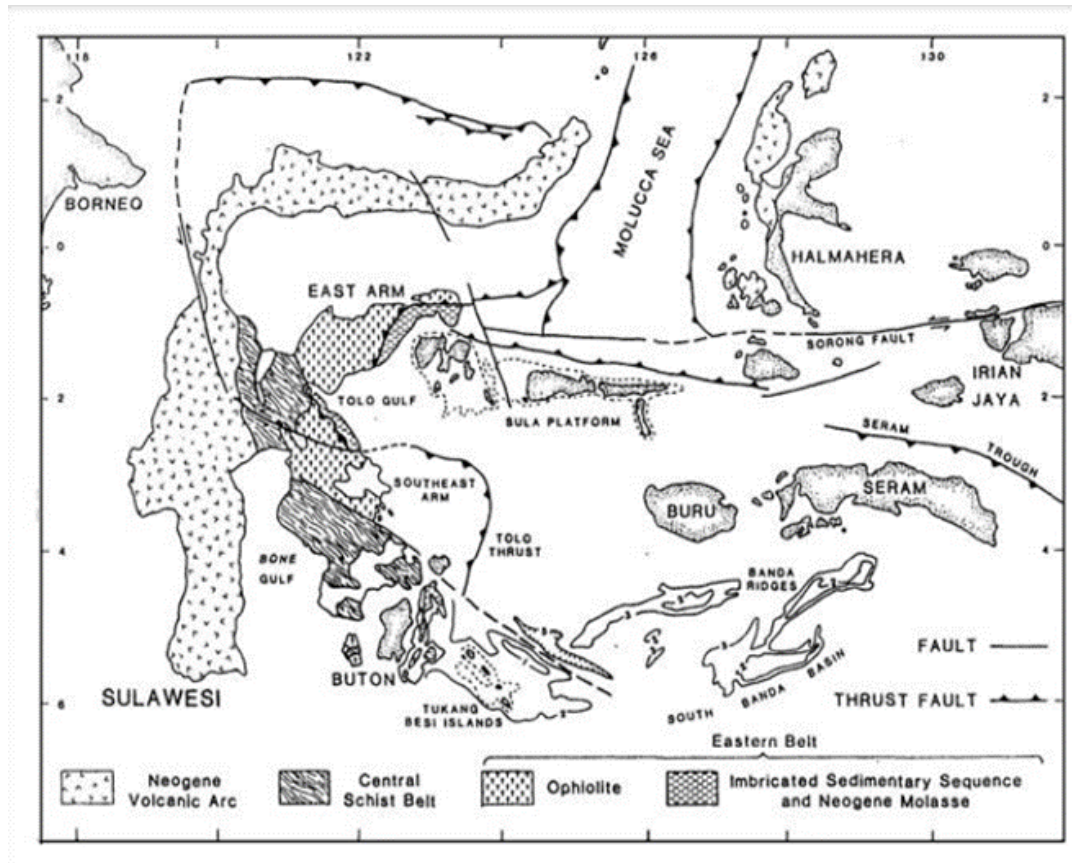
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Fisiografi Regional**

Secara umum (Sukamto, 1973) telah membagi wilayah Sulawesi ke dalam tiga bagian fisiografi (Gambar 2.1) yaitu :

1. Busur Vulkanik Neogen (Neogene Volcanic Arc), terdiri dari kompleks basement Paleozoikum Akhir dan Mesozoikum Awal pada bagian utara dan tengahnya, batuan melange pada awal Kapur Akhir di bagian selatan ((Sukamto, 1973)), sedimen flysch berumur Kapur Akhir hingga Eosen yang kemungkinan diendapkan pada *fore arc basin* (cekungan muka busur) (Sukamto, 1975a;1975c) pada bagian utara dan selatan, volcanic arc (busur vulkanik) berumur Kapur Akhir hingga pertengahan Eosen, sekuen batuan karbonat Eosen Akhir sampai Miosen Awal dan volcanic arc (busur vulkanik) Miosen Tengah hingga Kuartar (Silver et al., 1983). Batuan plutonik berupa granitik dan diorit berumur Miosen Akhir hingga Pleistosen, sedangkan batuan vulkanik berupa alkali dan kalk-alkali berumur Paleosen sampai Pleistosen. Sulawesi bagian barat memiliki aktifitas vulkanik kuat yang diendapkan pada lingkungan submarine sampai terrestrial selama periode Pliosen hingga Kuartar Awal di bagian selatan, namun pada Sulawesi Utara aktifitas vulkanik masih berlangsung hingga saat ini.



**Gambar 2. 1** Pembagian jalur fisiografi Sulawesi (Smith dan Silver, 1991)

2. Sekis dan Batuan Sedimen Terdeformasi (*Central Schist Belt*), tersusun atas fasies metamorfik sekis hijau dan sekis biru. Bagian barat merupakan tempat terpisahannya antara sekis tekanan tinggi dengan sekis temperatur tinggi, genes, dan batuan granitik (Smith dan Silver, 1991). Fasies sekis biru mengandung glaukofan, krosit, lawsonit, jadeit, dan aegerine.
3. Kompleks Ofiolit (Ophiolite), merupakan jalur ofiolit dan sedimen terimbrikasi serta molasse. Pada lengan Tenggara Sulawesi (segmen selatan) didominasi oleh batuan ultramafik (*van Bemmelen, 1970; Hamilton, 1979; dan Smith, 1983*), harzburgit dan serpentinit harzburgit ((Smith dan Silver, 1991)), sedangkan pada lengan Timur Sulawesi (segmen utara) merupakan segmen ofiolit lengkap, berupa harzburgit, gabro, sekuen terobosan diabas dan basal, yang merupakan hasil dari tumbukan antara platform Sula dan Sulawesi pada saat Miosen Tengah sampai Miosen Akhir (*Hamilton, 1979; Smith, 1983*), serta batuan sedimen pelagos dan klastik yang berhubungan dengan batuan ultramafik (Smith dan Silver, 1991). Berdasarkan pembagian di atas, maka

daerah penelitian terletak pada Jalur Sekis dan Batuan Terdeformasi (*Central Schist Belt*). Jalur ini merupakan fasies metamorfik sekis hijau dan sekis biru yang penyebarannya mulai dari Sulawesi Tengah memanjang hingga Sulawesi Tenggara.

### 2.1.1 Fisiografi Kabupaten Donggala

Berdasarkan hasil pengolahan data yang diperoleh di lapangan dan analisa citra satelit maka secara morfologi Kabupaten Donggala dapat dikelompokkan menjadi lima (5) kelas morfologi, yaitu:

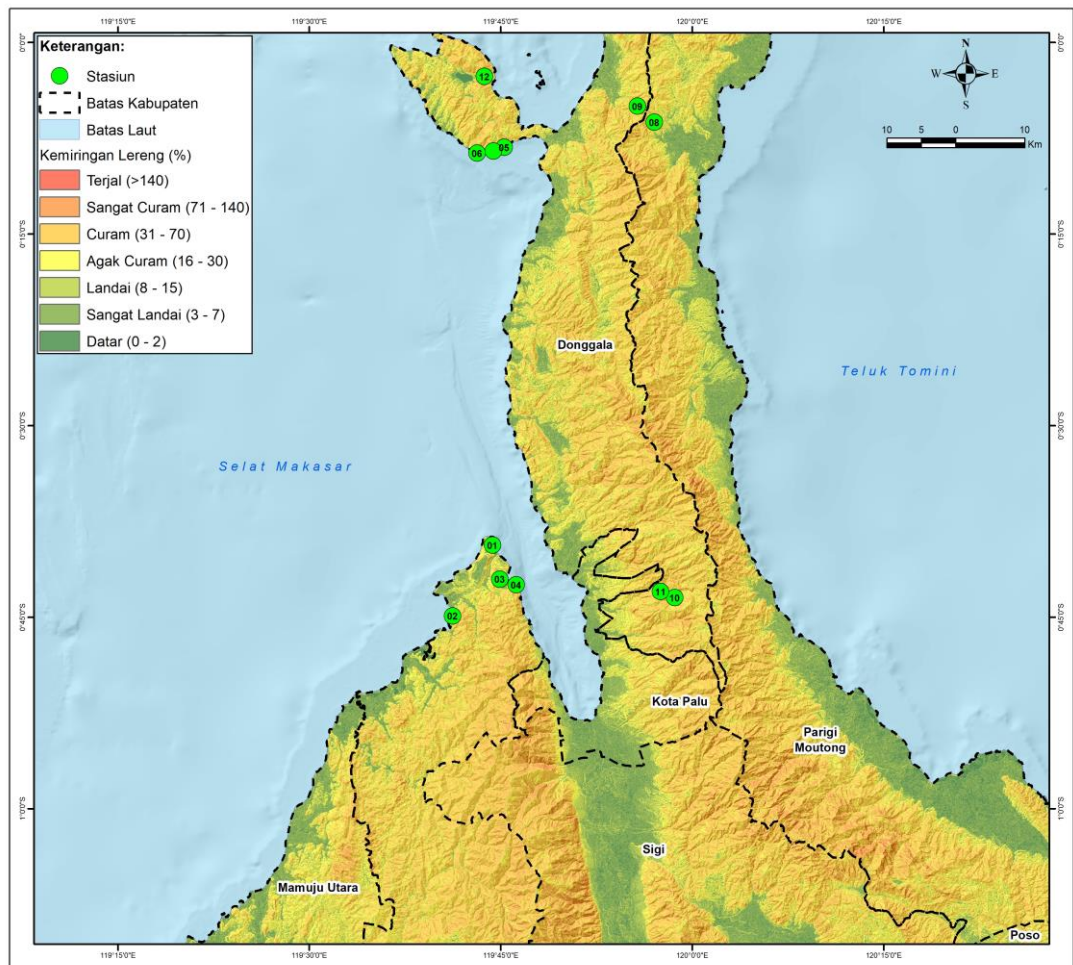
1. Pedataran Pesisir
2. Perdataran Landai
3. Pebukitan cukup curam
4. Perbukitan curam
5. Perbukitan sangat curam

Wilayah Kabupaten Donggala didominasi oleh jajaran pegunungan di wilayah selatan bagian tengah. Di bagian tengah didominasi oleh wilayah perbukitan dan pegunungan dengan ketinggian antara 300 – 1850 mdpl. Puncak tertinggi yaitu Bulu Pakawa (1850 mdpl) yang terletak di selatan bagian timur daerah penelitian tepatnya di Kecamatan Rio Pakawa dan memanjang hingga Kecamatan Pinembani. Sementara itu, di bagian utara bagian timur juga merupakan daerah perbukitan dan pegunungan yang menjulang dengan tinggi antara 400 – 1200 mdpl. Puncak tertinggi yakni Bulu Papantoyag dengan ketinggian 1200 mdpl yang terletak di Kecamatan Sojol berbatasan dengan Kecamatan Tinompo. Pada daerah perbukitan dan pegunungan banyak ditemukan *landslide* maupun *rockfall* dengan material berupa batuan, soil dan debris (campuran soil dan batuan).

Daerah perbukitan dan pegunungan ini dicirikan oleh lembah-lembah terjal yang membentuk alur-alur sebagai konsentrasi aliran permukaan dan lambat laun membentuk sungai. Terdapat banyak sungai (salu) pada wilayah pegunungan (bagian timur Kabupaten Donggala) yang bermuara di pantai barat (Selat Makassar – Teluk Palu). Pada daerah utara terdapat, Sungai Bangkalang Binonto, Bangkalang Long, Bangkalang Panii, Bangkalang Silandoya, Bangkalang Sioyong

dan Bangkalang Taipa yang terletak di Kecamatan Dampelas hingga Sojol Utara. Pada Kecamatan Balaesang hingga ke selatan Kecamatan Tanantovea terdapat Sungai Binanga Tambu, Sungai Binanga Airmakuni, Sungai Binanga Maruri, Sungai Binanga Wela, Sungai Kuala Alindau, Sungai Kuala Ayua, Sungai Kuala Batusuya, Sungai Kuala Dusun Satu, Sungai Kuala Enu Satu, Sungai Kuala Gaili, Sungai Kuala Kalibaru, Sungai Kuala Kalibarukata, Sungai Kuala Kampung Baru, Sungai Kuala Karumba, Sungai Kuala Kata, Sungai Kuala Labuan, Sungai Kuala Lambagu, Sungai Kuala Loro, Sungai Kuala Marana, Sungai Kuala Masaingi, Sungai Kuala Ogolangkay, Sungai Kuala Ombu, Sungai Kuala Omo, Sungai Kuala Roto, Sungai Kuala Rumu, Sungai Kuala Rumu Satu, Sungai Kuala Sanggola, Sungai Kuala Sibayu, Sungai Kuala Sipeso, Sungai Kuala Tamarenja, Sungai Kuala Tanjung Kuning, Sungai Kuala Toaya, dan Sungai Kuala Tompe. Sedangkan pada Kabupaten Donggala bagian Selatan terdapat Sungai Binangan Kasoloang, Sungai Kuala Bambarini, Sungai Kuala Guntur, Sungai Kuala Loli Pesua, Sungai Kuala Mamara, Sungai Kuala Mekarbaru, Sungai Kuala Tanahmea, Sungai Kuala Tasiburi, Sungai Salu Pakava, Sungai Salu Kainu, Sungai Salu Kasimbar, Sungai Salu Lalombi, Sungai Salu Lariang, Sungai Salu Majonggo, Sungai Salu Mavwa, Sungai Salu Minti, Sungai Salu Ou, dan Sungai Salu Pasangkayu yang terletak dalam Kecamatan Banawa hingga Kecamatan Rio Pakava. Yang hampir keseluruhan sungai yang terletak di Kabupaten Donggala bermuara ke Selat Makassar dan Teluk Palu.

Pada bagian barat Kabupaten Donggala didominasi oleh pedataran dengan kemiringan lereng antara 0 – 15 % yang merupakan daerah pedataran dan pesisir pantai. Pada daerah pesisir dijumpai aktivitas abrasi dan sedimentasi yang mengakibatkan terjadi penurunan muka tanah dan degradasi bibir pantai. Dengan material utama berupa batuan dan pasir yang terangkut sebagai material sedimen yang terbawa oleh air dari hulu-hulu sungai yang ada di daerah penelitian.



**Gambar 2. 2** Peta Kelerengan Kabupaten Donggala dan sekitarnya

Bagian barat wilayah Kabupaten Donggala, umumnya memiliki topografi pedataran hingga miring landai dengan endapan resen dari sedimentasi sungai – sungai yang ada di daerah telitian.

Berdasarkan kondisi topografi wilayah, Kabupaten Donggala memiliki karakteristik bentang alam yang sangat beragam. Secara umum, wilayah ini berada pada ketinggian antara 0 - 1 800 m dpl dengan tingkat kemiringan lereng berkisar antara 0 % hingga lebih dari 45 % (Gambar 2.2). Berdasarkan peta RePPPProT (1987), lahan dengan kategori Curam (25 - 45 %) dan sangat curam (> 45 %) menempati areal terluas dan lebih dari setengah luas wilayah Kabupaten Kabupaten Donggala, sedangkan lahan yang tergolong datar (< 8 %) dan landai (8 -15 %) mencapai 25,9 % dari luas wilayah. Topografi wilayah dengan kategori berbukit cukup curam hanya mencapai 15.8 % dari luas wilayah Kabupaten Donggala (Tabel 2.1).

**Tabel 2. 1** Kondisi topografi wilayah, Kabupaten Donggala

Jenis Lereng	Persentase		Luas (Km <sup>2</sup> )	Persentase	
	Kemiringan (%)	Lereng		Luasan (%)	Area
Pedataran	0 - 8 %		697	15.4	
Pedataran Landai	8 - 15 %		476	10.5	
Berbukit Cukup					
Curam	15 - 25 %		715	15.8	
Berbukit Curam	25 - 45 %		1544	34.2	
Berbukit Sangat					
Curam	> 45 %		1089	24.1	

## 2.2 Tatanan Stratigrafi

### 2.2.1 Tatanan Stratigrafi Regional

Satuan tertua di daerah ini adalah kompleks Wana (TRw), terdiri dari sekis, genes dan kuarsit; umurnya diduga Trias. Kompleks Gumbasa (TRJgg) yang terdiri dari granit, genesan, diorite genesan, genes dan sekis; diduga mempunyai hubungan menjemari dengan Kompleks Wana dan umurnya terduga Trias hingga Jura. Kompleks ini tertindih tak selaras oleh Formasi Latimojong (Kls) yang berumur Kapur Akhir. Formasi Latimojong terdiri dari peselingan batusabak, filit, batupasir malih dan setempat bersisipan dengan batulempung malih. Batuan gunungapi Lamasi (Toml) yang bersusunan Andesit-dasit dan berumur Oligosen-Miosen Awal menindih takselaras Formasi Latimojong. Satuan ini tertindih takselaras oleh Batuan Gunungapi Talaya (Tmtv) yang bersusunan andesit-Basal; berumur Miosen Tengah. Batuan terobosan yang diduga berumur Miosen-Pliosen (Tmpi) yang terdiri dari diorite-andesit (d), granit dan granodiorit (g). Formasi Lariang (Tmpl) yang berumur Miosen Akhir hingga Pliosen Awal merupakan endapan Molasa; terdiri dari perulangan konglomerat, batupasir dan setempat batulempung. Formasi Pasangkayu (TQp) yang berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal menindih tak selaras satuan di bawahnya. Satuan ini terdiri dari perulangan batupasir dan batulempung setempat batugamping.



Formasi Pakuli (Qp), yang terdiri dari konglomerat dan batupasir merupakan endapan kipas Aluvium dan teras sungai. Umurnya diperkirakan Plistosen Akhir. Aluvium (Qa) adalah endapan termuda, merupakan endapan sungai, pantai dan rawa.

Sementara stratigrafi Lembar Palu tersusun oleh batuan berumur Kapur hingga Kwartir Batuan tertua adalah Kompleks Metamorf Palu (*Palu Metamorphic Complex*) yang tersingkap pada jajaran pegunungan timur yang diperkirakan berumur Pra-Tersier / Kapur. Di atas kompleks batuan metamorf, Formasi Tinombo menindih tidak selaras yang terendapkan pada lingkungan laut dangkal berumur Eosen Tengah hingga Atas (Sukanto, 1973).

Batuan Intrusi (Granitoid Undivided) dijumpai menerobos kompleks batuan metamorf dan Formasi Tinombo, merupakan hasil aktivitas vulkanik dari Formasi Tinombo berdasarkan kesamaan geokimia dan penanggalan K/Ar (Van Leeuwen et al., 2016) tetapi tidak terpetakan ((Sukanto, 1973)).

Molasa Celebes (Celebes Mollase) yang berumur Pliosen – Plistosen (van Leeuwen et al., 2016) terendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Tinombo. Endapan Molasa Celebes terdiri dari rombakan yang berasal dari formasi-formasi lebih tua, antara lain konglomerat, batupasir, batulumpur, batugamping-koral, dan napal, yang hanya mengeras lemah. Di atas endapan Molasa Celebes, terendapkan secara tidak selaras endapan aluvial pada lingkungan sungai, delta, dan laut dangkal berumur Holosen (Sukanto, 1973).

### **2.2.2 Tatanan Stratigrafi Kabupaten Donggala**

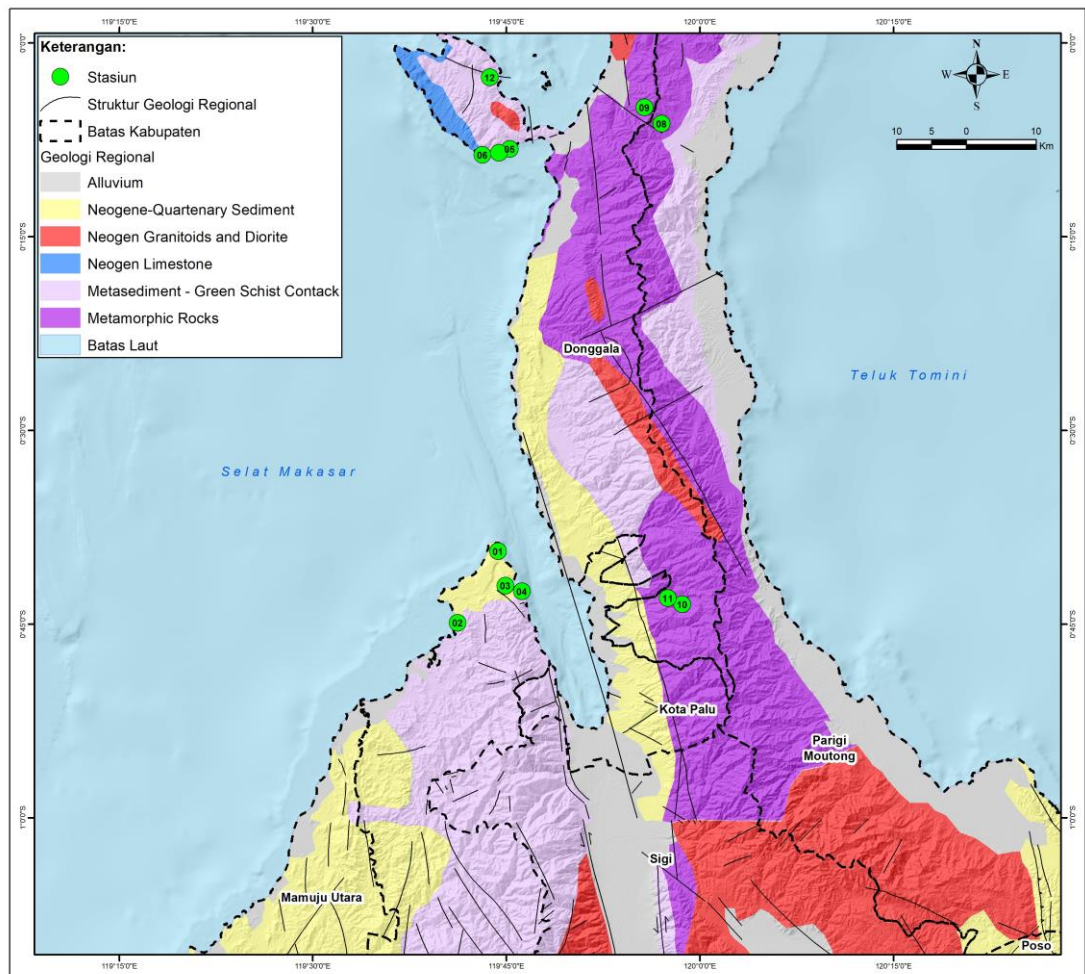
Berdasarkan himpunan batuan, struktur dan umur batuan, maka tatanan stratigrafi daerah Kabupaten Donggala terdiri atas 13 kelompok satuan batuan (gambar 2.3) yaitu: endapan aluvium dan endapan pantai, endapan molasa serasin, batugamping koral, batupasir Formasi Pasangkayu, konglomerat dan batupasir Formasi Lariang, granit kambuno, batuan terobosan Formasi Tinombo, batuan sabak dan filit formasi latimojong, marmer dan batulempung malih, sekis dan genes Komplek Metamorfis, serta intrusi diorit dan granodiorit.

Batuan tertua adalah Kompleks Metamorf Palu (*Palu Metamorphic Complex*) yang tersingkap pada jajaran pegunungan timur yang diperkirakan berumur Pra-Tersier / Kapur. Di atas kompleks batuan metamorf, Formasi Tinombo menindih tidak selaras yang terendapkan pada lingkungan laut dangkal berumur Eosen Tengah hingga Atas ((Sukamto, 1973)).

Batuan Intrusi (*Granitoid Undivided*) dijumpai menerobos kompleks batuan metamorf dan Formasi Tinombo, merupakan hasil aktivitas vulkanik dari Formasi Tinombo berdasarkan kesamaan geokimia dan penanggalan K/Ar tetapi tidak terpetakan ((Sukamto, 1973)).

Molasa Celebes (*Celebes Mollase*) yang berumur Pliosen – Plistosen (van Leeuwen et al., 2016) terendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Tinombo. Endapan Molasa Celebes terdiri dari rombakan yang berasal dari formasi-formasi lebih tua, antara lain konglomerat, batupasir, batulumpur, batugamping-koral, dan napal, yang hanya mengeras lemah. Di atas endapan Molasa Celebes, terendapkan secara tidak selaras endapan aluvial pada lingkungan sungai, delta, dan laut dangkal berumur Holosen (Sukamto, 1973).

Penjelasan mengenai komposisi batuan dari masing-masing satuan batuan mulai dari yang tertua hingga termuda dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini.



**Gambar 2. 3** Peta Geologi Kabupaten Donggala (di modifikasi, (Sukamto, 1973)

*Qa* ALUVIUM ; Bongkah, kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung dan lumpur; setempat mengandung sisa-sisa tumbuhan. Satuan ini terhampar luas di daerah muara sungai besar serta terdapat di sepanjang pantai. Tebalnya berkisar antara 1 dan 5 m. Satuan ini menindih takselaras satuan yang ada di bawahnya. Umumnya adalah Holosen Setempat berupa endapan antar gunung yang terdiri dari breksi, konglomerat batupasir, batulempung yang belum padat, dan sisa tumbuhan. Satuan ini selaras dengan *Qap* ALUVIUM dan ENDAPAN PANTAI terdiri atas pasir, lempung, lumpur kerikil dan kerakal Kerikil, pasir, lumpur dan batugamping koral terbentuk dalam lingkungan sungai, delta, dan laut dangkal merupakan sedimen termuda di daerah ini. Endapan tersebut kemungkinan seluruhnya berumur Holosen. Didaerah dekat Labea dan Tambo terumbu koral membentuk bukit-bukit yang rendah ((Sukamto, 1973)).

*QTms* FORMASI MOLASA SARASIN, formasi ini terdapat pada daerah yang lebih rendah pada sisi-sisi kedua jajaran pegunungan, menindih secara tidak selaras Formasi Tinombo dan kompleks batuan metamorf, terdiri dari rombakan yang berasal dari formasi-formasi lebih tua, antara lain konglomerat, batupasir, batulumpur, batugamping-koral, dan napal, yang hanya mengeras lemah. Di dekat kompleks batuan metamorf pada bagian barat jajaran pegunungan endapan ini utamanya terdiri dari bongkah-bongkah kasar dan kemungkinan diendapkan di dekat sesar yang semakin kearah laut beralih menjadi batuan klastika berbutir lebih halus. Formasi ini berumur Pliosen – Plistosen (van Leeuwen et al., 2016). Sebagian besar daerah penelitian termasuk dalam formasi ini.

*QI* BATUGAMPING KORAL : batugamping terumbu dan batugamping bioklastika, setempat dengan cangkang moluska; berongga. Batuan ini terutama tersusun dari koral, ganggang dan sedikit pecahan cangkang moluska. Sebarannya terutama terdapat di pantai barat Lembar dan diduga menjemari dengan Formasi Budong-budong yang berumur Plistosen Holosen, Tebal satuan  $\pm 25$  m.

*TQp* FORMASI PASANGKAYU terdiri dari perselingan batupasir dengan batulempung, setempat bersisipan konglomerat dan batugamping. Penyebaran batuan Formasi Pasangkayu menempati areal sekitar Ibukota Pasangkayu yaitu bagian Barat dari wilayah Kecamatan Pasangkayu dan di bagian Selatan memanjang dari sekitar Sungai Lariang yaitu di bagian tengah wilayah Kecamatan Baras memanjang dan melebar hingga ke bagian tengah wilayah Kecamatan Sarudu di Selatan. Umur Satuan ini Pliosen – Plistosen (Hadiwijoyo, 1993).

*Tmpl* FORMASI LARIANG ; batupasir gampingan, mikaan, batulempung bersisipan kalkarenit, konglomerat dan tuf. Batupasir gampingan, mikaan, berwarna kelabu; berbutir sedang - kasar, mampat; setempat konglomeratan. Batuan ini berlapis baik, dengan tebal dan beberapa cm sampai 10 cm. Batulempung, berwarna kelabu; berlapis tipis sampai masif; menunjukkan struktur silang-siur. Kalkarenit, berwarna kelabu; tak berlapis; sebagian terhablurkan; banyak mengandung fosil foraminifera, gastropoda dan braciopoda, setempat berupa terumbu koral. Konglomerat, berwarna coklat kemerahan; aneka bahan; berlapis baik dan berselang-seling dengan batupasir setebal 2 cm sampai 6 cm; komponen berukuran 2 cm sampai 4 cm, terdiri dari batuan sedimen, basal, andesit,

granit, genes dan sekis, berbentuk membundar tanggung sampai membundar yang direkat oleh batupasir kuarsa yang juga sebagai massa dasar. Tuf, berwarna putih kelabu; mengandung biotit dan kuarsa; mudah hancur; merupakan sisipan dalam batupasir gampingan dan batulempung. Batupasir gampingan dan kalkarenit, mengandung fosil, antara lain *Globigerinoides ruber* D'ORBIGNY, *Globigeinoides triloba* REUSS, *Globorotalia menardii* D'ORBIGNY, *Globigerinoides elongatus* D'ORBIGNY, *Pulleniatina primalis* BLOW dan BANNER, *Gloquadrina altispira* CUSHMAN dan JARVIS, *Sphaeroidinellopsis seminulina* SCHWAGER, *Globigerinoides obliquus* BOLLI, *Globigerinoides immaturus* LEROY, *Globigerina venezuelana* HEDBERG, *Globorotalia acostaensis* BLOW, *Globorotalia cf. Globorotalia margaritae* BOLLI dan BERMUDEZ, *Frazilus* sp., *Neoeponides* sp., *Siphogenerina* sp. (terdapat melimpah, *Cancris* sp., *Ammonia* sp., *Hastigerina siphonifera* D'ORBIGNY, *Orbulina universa* D'ORBIGNY dan *Bullimina* sp. Kumpulan fosil plangton ini menunjukkan umur Miosen Akhir-Pliosen Awal dan terendapkan dalam lingkungan laut dangkal.

*Tpk* GRANIT KAMBUNO terdiri atas granit dan granodiorit. Granit berwarna putih berbintik hitam, berbutir sedang sampai kasar. Terdiri atas granit biotit, granit hornblende biotit, mikroleukogranit dan mikrogranit hornblende-biotit. Granodiorit mengandung mineral mafik hornblende. Granit di pegunungan Takolekaju menunjukkan umur 3,35 juta tahun ((Sukamto, 1973)) sehingga umur Granit Kambuno diduga Pliosen.

*Tt* FORMASI TINOMBO *AHLBURG*, tersingkap luas, baik di jajaran pegunungan timur maupun barat yang menindih kompleks batuan metamorf. Utamanya terdiri dari serpih, batupasir, konglomerat, batugamping, rijang radiolaria dan batuan gunungapi, yang terendapkan di dalam lingkungan laut.

Pada daerah yang dekat Intrusi terdapat batusabak dan batuan terkersikkan, sedangkan yang lebih dekat dengan kontak membentuk filit dan kuarsit. Bagian barat jajaran pegunungan barat mengandung lebih banyak batupasir rijang daripada tempat lain. Diabas, pilit dan andesit di selatan Donggala dan di selatan Kasimbar dipetakan dengan batuan sedimen. Rombakan batuan gunungapi biasa terdapat dalam batupasir sedangkan batugamping yang dijumpai hanya sebagai lapisan-lapisan tipis. Dijumpai pula intrusi-instruksi kecil pada formasi ini. Berdasarkan fosil

yang dijumpai pada formasi ini antara lain *Discocyclina* sp., Globorotaloid, Globigerina, dan ganggang gampingan, menunjukkan umur Eosen. Fosil-fosil yang ditemukan oleh SOCAL (*Standard Oil Company of California*): *Pellastipira*, cf.? *P. infata*, cf. *Pararotalia* sp., *Eofabiana*, *Pellatipira crassicolumnata*?, *Sphaerogypsina* sp., *Orbitolites* sp., *Rotalia* sp., dan *Carpenteria hamiltonensis* menunjukkan umur Eosen Tengah hingga Atas (Sukamto, 1973).

*Kls* FORMASI LATIMOJONG terdiri dari perselingan batusabak, filit, graywacke, batupasir kuarsa, batugamping, argilit, batulanau dengansisipan konglomerat, rijang dan batuan gunung api. Batusabak berwarna kelabu tua sampai hitam, perlapisan masih terlihat baik dengan tebal 10 - 20 cm. Filit berwarna kelabu dan merah kecoklatan, perlapisan tidak jelas. Graywacke berwarna kelabu kehijauan, berlapis baik dengan tebal 1 - 6 m. Batupasir kuarsa berwarna hijau cerah, merah kecoklatan dan kelabu terang, berlapis baik. Batugamping berwarna kelabu tua sampai kelabu kemerahan. Konglomerat dengan fragmen andesit teralterasi dan batupasir, matriks berupa batupasir dengan kemas terbuka. Rijang berwarna putih, merah dan coklat, mengandung fosil radiolaria. Lava andesit berwarna kelabu, porfiritik dan teralterasi kuat. Satuan ini tebalnya lebih dari 1000 m, berumur Kapur - Eosen dan terendapkan di lingkungan laut dalam. Umur Kapur berdasarkan fosil yang ditemukan di Pegunungan Latimojong (White et al., 2017).

*Km* KOMPLEK METAMORFIS, terdiri dari sekis amfibolit, sekis, genes, dan marmer. Sekis banyak terdapat di sisi barat, sedangkan genes dan marmer banyak terdapat di sisi timur. Tubuh-tubuh intrusi tidak dapat terpetakan, umumnya mempunyai lebar kurang dari 50 meter, menerobos kompleks batuan metamorf, dengan tipe batuan dari (*d*) diorite hingga (*gr*) granodiorit. Umur metamorfisme belum diketahui, tetapi kemungkinan pra-Tersier. Bouwe (1947) dalam Sukamto (1973) berpendapat, bahwa sekis yang tersingkap di seantero Sulawesi sebagian berumur Paleozoikum.

Berdasarkan hasil pengamatan dari beberapa generasi intrusi menunjukkan bahwa intrusi andesit dan basalt kecil-kecil di semenanjung Donggala merupakan intrusi yang tertua. Intrusi-intrusi ini kemungkinan merupakan hasil aktivitas dari batuan vulkanik di dalam Formasi Tinombo. Intrusi-intrusi Kecil selebar kurang dari 50 meter yang umumnya terdiri dari (*d*) diorit, porfiri diorit, mikrodiort

menerobos Formasi Tinombo sebelum endapan molasa, dan tersebar luas di seluruh daerah. Semuanya tak terpetakan. Granit dan granodiorit yang telah terpetakan. Dondo Granite (*gr*) tercirikan oleh fenokris feldspar kalium sepanjang hingga 8 cm. Penanggalan Kalium/Argon telah dilakukan oleh *Gulf Oil Company* terhadap dua contoh granodiorit dari daerah ini. Intrusi yang tersingkap di antara Palu dan Donggala memberikan penanggalan 31,0 juta tahun pada analisa K/Ar dari feldspar. Yang lainnya adalah suatu intrusi yang tidak terpetakan, terletak kira-kira 15 km timur-laut dari Donggala, tersingkap di bawah koral Kuartar, memberikan penanggalan 8,6 juta tahun pada analisa K/Ar dari biotit (Sukamto, 1973).

### 2.2.3 Tektonik dan Struktur Geologi

Struktur geologi di Sulawesi didominasi oleh arah barat laut – tenggara yang berupa sesar mendatar sinistral dan sesar naik.

Sesar Palu – Koro memotong Sulawesi bagian barat dan tengah, menerus ke bagian utara hingga ke Palung Sulawesi Utara yang merupakan batas tepi benua di Laut Sulawesi. Jalur Sesar Palu – Koro merupakan sesar mendatar sinistral dengan pergeseran lebih dari 750 km ((Sukamto, 1973)), arah gerak sesuai dengan jalur Sesar Matano dan jalur Sesar Sorong. Sesar Sadang yang terletak di bagian barat dan sejajar dengan Sesar Palu berada pada lengan Selatan Sulawesi, menghasilkan lembah Sungai Sadang dan Sungai Masupu yang sistemnya dikontrol oleh sesar mendatar (Hamilton & U.S. Govt. Print. Off., 1979). Gambar 2.4

Sesar Gorontalo merupakan sesar mendatar dekstral (Sukamto, 1973) yang berlawanan arah dengan Sesar Palu – Koro dan pola sesar sungkupnya memperlihatkan arah yang konsekuen terhadap platform Banggai – Sula sehingga memberikan gambaran adanya kemungkinan kompresi mendatar yang disebabkan oleh dorongan platform Banggai – Sula kearah barat.

Sesar Matano merupakan sesar mendatar sinistral berarah barat laut – timur memotong Sulawesi Tengah dan melalui Danau Matano, merupakan kelanjutan dari Sesar Palu ke arah timur yang kemudian berlanjut dengan prisma akresi Tolo di Laut Banda Utara.

Sistem Sesar Lawanopo berarah barat laut – tenggara, melewati Teluk Bone dan Sulawesi Tenggara. Sesar ini kemungkinan berperan dalam pembukaan Teluk Bone, seperti pembukaan yang terjadi di daratan Sulawesi Tenggara yang merupakan zona sesar mendatar sinistral Neogen. Sesar Lawanopo memisahkan mintakat benua Sulawesi Tenggara pada lengan Tenggara Sulawesi dengan metamorf Sulawesi Tengah.

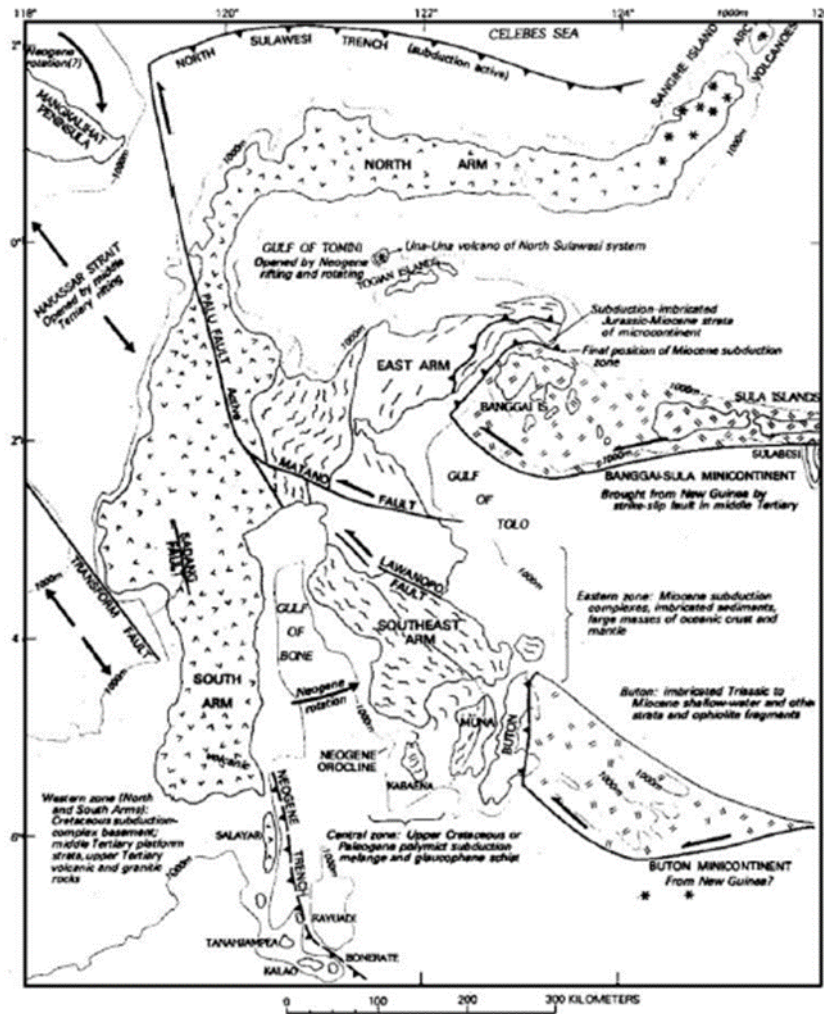
Sesar Naik Batui terletak pada bagian timur lengan Timur Sulawesi, merupakan hasil dari tumbukan platform Banggai – Sula dengan Sulawesi yang menyebabkan pergeseran secara oblique sehingga Cekungan Gorontalo menjadi terangkat.

Kompleks Pompangeo diduga telah beberapa kali mengalami masa perlipatan. Perlipatan tua diperkirakan berarah utara – selatan atau baratdaya – timurlaut, sedangkan lipatan muda berarah baratlaut – tenggara atau barat – timur, serta ada pula yang berarah hampir sama dengan lipatan tua.

Perdaunan atau foliasi juga umumnya berkembang baik dalam satuan batuan malihan Kompleks Pompangeo dan di beberapa tempat dalam amfibolit, sekis glaukofan dan serpentinit yang tersekiskan dalam Kompleks Ultramafik. Secara umum perdaunan berarah barat – timur dan baratlaut – tenggara. Di beberapa tempat perdaunan terlipat dan pada jalur sesar mengalami gejala *kink banding*.

Belahan umumnya berupa belahan bidang sumbu dan di beberapa tempat berupa belahan retak (*fracture cleavage*). Belahan retak umumnya dijumpai dalam batupasir malih dan batugamping malih. Secara umum bidang belahan berarah sejajar atau hampir sejajar dengan bidang perlapisan; oleh karenanya belahan ini digolongkan sebagai berjajar bidang sumbu.





**Gambar 2. 4** Struktur utama di Sulawesi, (Hamilton & U.S. Govt. Print. Off., 1979)

Kekar dijumpai hampir pada semua batuan, terutama batuan beku (Kompleks Ultramafik dan Mafik), batuan sedimen malih Mesozoikum, dan batuan malihan (Kompleks Pompangeo). Dalam batuan Neogen kekar kurang berkembang. Sejarah pengendapan batuan di daerah Sulawesi Tenggara diduga sangat erat hubungannya dengan perkembangan tektonik daerah Indonesia bagian timur, tempat Lempeng Samudera Pasifik, Lempeng Benua Australia dan Lempeng Benua Eurasia saling bertumbukkan.

#### 2.2.4 Struktur Geologi Daerah Kabupaten Donggala

Struktur geologi utama Pulau Sulawesi terdiri dari Sesar Palu-Koro, Sesar Walanae, Sesar Matano, Sesar Batui, Sesar Naik Poso, Sesar Balantak, Sesar

Gorontalo, Tujangan Sulawesi Utara, dan Teluk Bone (Surono; Udi Hartono, 2015). Struktur geologi regional didominasi oleh lajur Sesar Palu - Koro yang berarah utara baratlaut - selatan menenggara dan himpitan dari pertemuan lempeng utama dari arah barat utara dan tenggara mengakitakan terbentuknya liniamen sesar-sesar imbas (*minor fault*). Di darat, sesar ini dicirikan oleh adanya lembah sesar yang datar pada bagian dasarnya, dengan lebar mencapai 5 km di sekitar palu, dan dindingnya mencapai ketinggian 1.500 – 2.000 m di atas dasar lembah, sedangkan di laut dicirikan oleh kelurusan batimetri, yaitu kelurusan lereng dasar laut terjal dan berakhir di Sesar Naik Poso (Surono dan Hartono, 2013). Menurut Sudrajat (1981) dalam Surono dan Hartono (2013), sesar ini membentang dari sebelah barat Kota Palu sampai Teluk Bone yang panjangnya kurang lebih 250 km, dengan kecepatan pergerakan transcurrent sekitar 2 – 3,5 mm sampai 14 – 17 mm/tahun. Tjia dan Zakaria (1974) dalam Surono dan Hartono (2013) menyebutkan bahwa sesar tersebut menunjukkan pergeseran mengiri dan Walpersdorf et al. (1997) dalam Surono dan Hartono (2013) dengan analisis interferometri GPS (*Global Positioning System*) menunjukkan pergeseran mengiri naik dengan kecepatan 3,4 mm /tahun. Sesar Palu-Koro memotong Sulawesi bagian barat dan tengah, menerus ke bagian utara sampai Palung Sulawesi Utara yang merupakan batas tepi benua di Laut Sulawesi (Sukanto & Simandjuntak, 1983). Jalur Sesar Palu-Koro merupakan sesar mendatar sinistral dengan pergeseran lebih dari 750 km.

## **2.3 Landasan Teori**

### **2.3.1 Struktur Sesar**

Sesar adalah struktur rekahan yang telah mengalami perkembangan pergeseran maupun pergerakan blok batuan yang tersesarkan (Ragan, 2009). 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, 1959).

Di dalam mempelajari struktur sesar, disamping geometrinya yaitu, bentuk, ukuran, arah dan polanya, yang penting juga untuk diketahui adalah mekanisme pergerakannya.

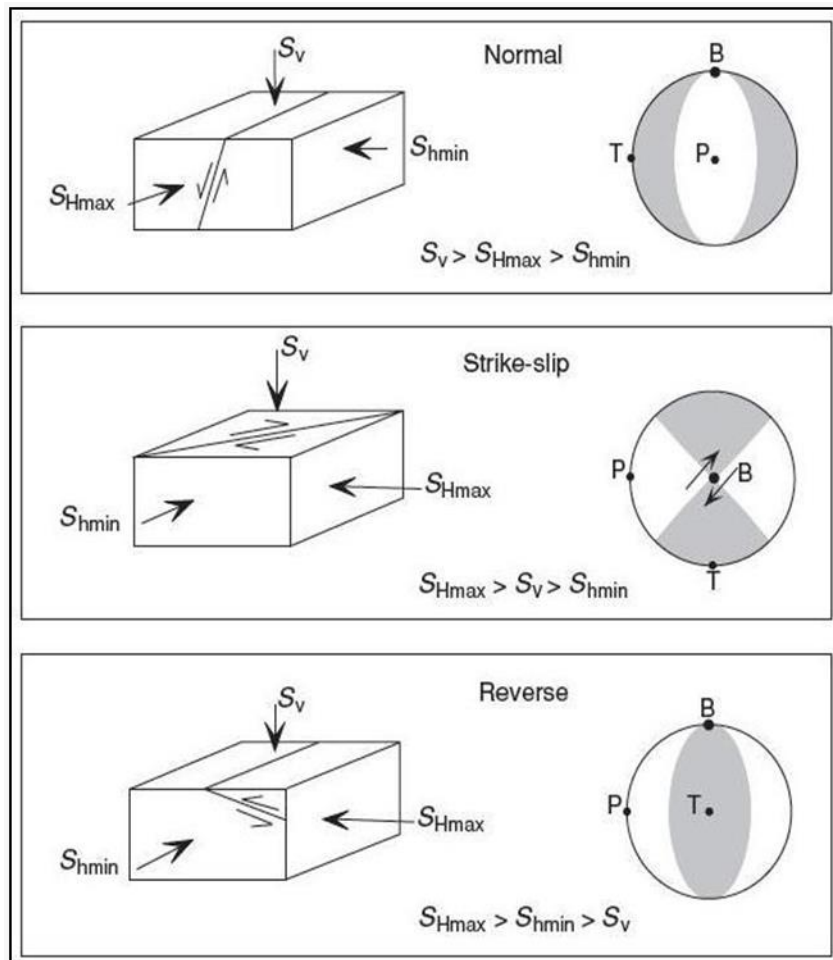
Beberapa istilah yang sering dijumpai, yaitu :

- a) *Jurus sesar (strike of fault)* adalah arah garis perpotongan bidang sesar dengan bidang horizontal, biasanya diukur dari arah utara .
- b) *Kemiringan sesar (dip of fault)* adalah sudut yang dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang horizontal, diukur tegak lurus *strike* .
- c) *Net slip* adalah besar pergeseran relatif suatu titik yang semula berimpit pada bidang sesar akibat adanya sesar .
- d) *Strike slip* adalah besar pergeseran relatif yang searah dengan *strike* sesar .
- e) *Dip slip* adalah besar pergeseran relatif yang searah dengan *dip* sesar.
- f) *Pitch (rake)* adalah sudut lancip pada bidang sesar yang dibentuk oleh perpotongan antara jurus dengan gores garis .
- g) *Gores garis* adalah garis-garis pada bidang sesar sebagai hasil pergeseran sesar.

Klasifikasi *Anderson* (1951) membagi jenis sesar berdasarkan atas *principle stress*. *Principal stress* adalah stress yang bekerja tegak lurus bidang sehingga harga komponen shear stress pada bidang tersebut adalah nol. Bidang tersebut dikenal sebagai bidang utama atau *principal surface*. Terdapat tiga *principal 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 ini lah yang mengontrol terbentuknya klasifikasi sesar, yaitu sesar normal, sesar naik dan sesar mendatar. Gambar 2.5

- Sesar normal (*normal fault*) terbentuk apabila  $S_v$  merupakan *principal stress* maksimum ( $S_1$ ),  $S_{Hmax}$  adalah *principal stress* menengah ( $S_2$ ), dan  $S_{min}$  merupakan *principal stress* minimum ( $S_3$ ).

- Sesar naik (*reverse fault*) terbentuk apabila  $S_{Hmax}$  merupakan *principal stress* maksimum (S1),  $S_{hmin}$  adalah *principal stress* menengah (S2), dan  $S_v$  merupakan *principal stress* minimum (S3).
- Sesar mendatar (*strike-slip fault*) terbentuk apabila  $S_{Hmax}$  merupakan *principal stress* maksimum (S1),  $S_v$  adalah *principal stress* menengah (S2), dan  $S_{hmin}$  merupakan *principal stress* minimum (S3)



**Gambar 2. 5** Klasifikasi dinamik struktur sesar (normal, strike slip dan reverse) berdasarkan konsep Anderson's 1951 dengan proyeksi komponen stress state (kiri), masing-masing ditunjukkan proyeksi stereografi dengan focal mechanism (kanan), Fossen (2010)

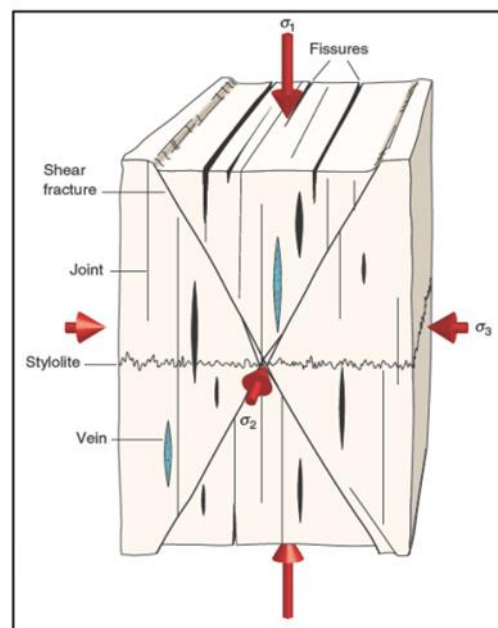
### 2.3.2 Struktur Kekar

Kekar adalah suatu *fracture* (retakan pada batuan) yang relatif tidak mengalami pergeseran pada bidang rekahnya (Ragan, 2009). Kekar dapat disebabkan oleh

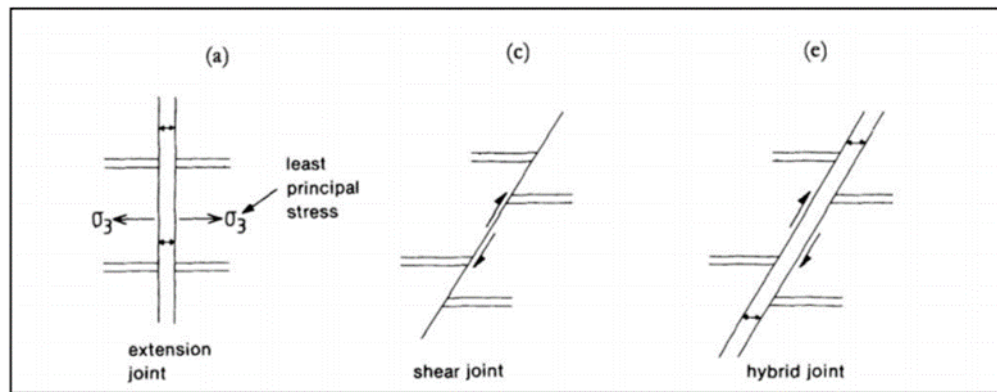
terjadinya gejala tektonik maupun non tektonik. Kekar atau *joint* adalah rekahan-rekahan pada batuan, lurus, planar dan tidak terjadi pergeseran. Terbentuknya struktur kekar ini dapat terjadi bersamaan dengan pembentukan batuan atau sesudah batuan terlitifikasi dan dapat terjadi setiap saat. Menurut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

Kekar akibat proses deformasi sangat berhubungan dengan gaya yang menyebabkannya, yaitu tegasan dan keretakan (*stress* dan *strain*) dibagi menjadi tiga jenis (McClay, 1987) gambar 2.7 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 2. 6** Anatomi kekar (Haakon, 2010)



**Gambar 2. 7** Jenis kekar (McClay,1987)

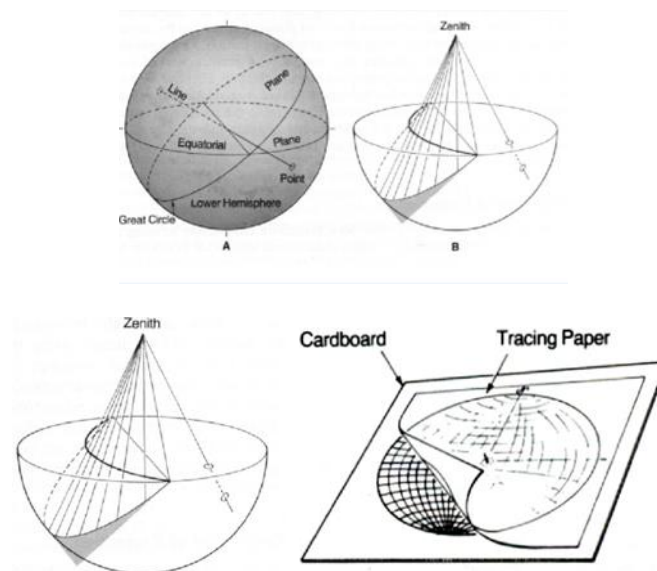
## 2.4 Proyeksi Stereografi

Menurut *Ragan*, 2009 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. Bidang proyeksi ini berbentuk suatu lingkaran yang kemudian disebut sebagai lingkaran primitif. Lingkaran primitif merupakan proyeksi struktur bidang yang kedudukannya horizontal ( $dip = 0^\circ$ ), maka penentuan bidang-bidang yang berkedudukan miring, pada *Wulff Net* dan *scmhid Net*,  $0^\circ$  dimulai dari lingkaran primitif dan  $90^\circ$  terletak pada pusat lingkaran (Gambar 2.8).

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 2. 8** Proyeksi stereografis, (a) Unsur-unsur proyeksi stereografis, (b)Wulff Net atau Equal Angle Net Ragan (2009)

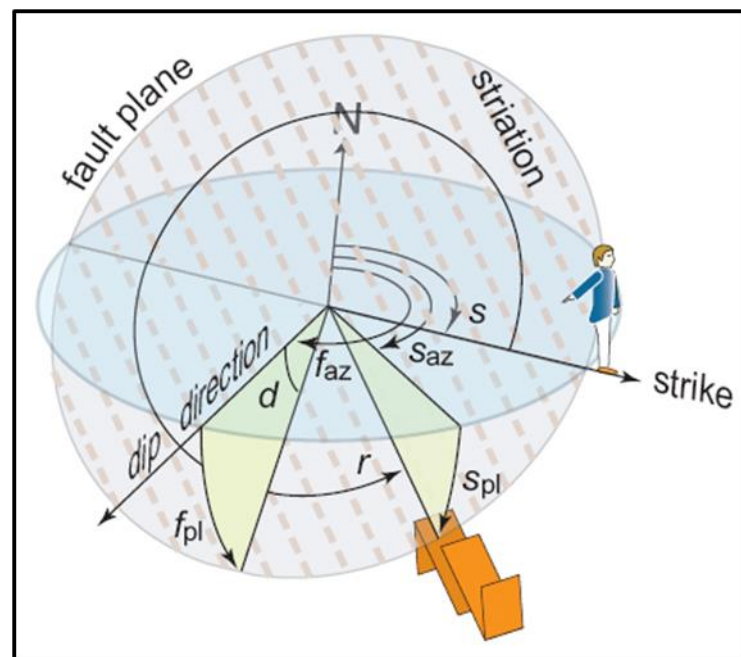
Dalam Ragan (2009) disebutkan bahwa patahan dan lipatan selalu ditemukan bersamaan. Dispesifikkan hubungan antara patahan dan lipatan bervariasi, terbagi atas dua yaitu:

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 inilah yang kemudian akan membentuk sesar naik (*restraining*) atau sesar turun (*releasing*) sebagai struktur ikutan dari sesar geser tersebut (Robert dan Eldridge, 1992) dalam (Frohlich, 2006). Gaya yang bekerja dalam satu titik akan menghasilkan gaya kompresi, dimana gaya utama maksimum horizontal, gaya utama minimum vertikal akan membentuk sesar naik, gaya utama maksimum vertikal akan membentuk sesar turun, serta gaya utama maksimum horizontal, gaya utama minimum horizontal akan membentuk sesar geser.

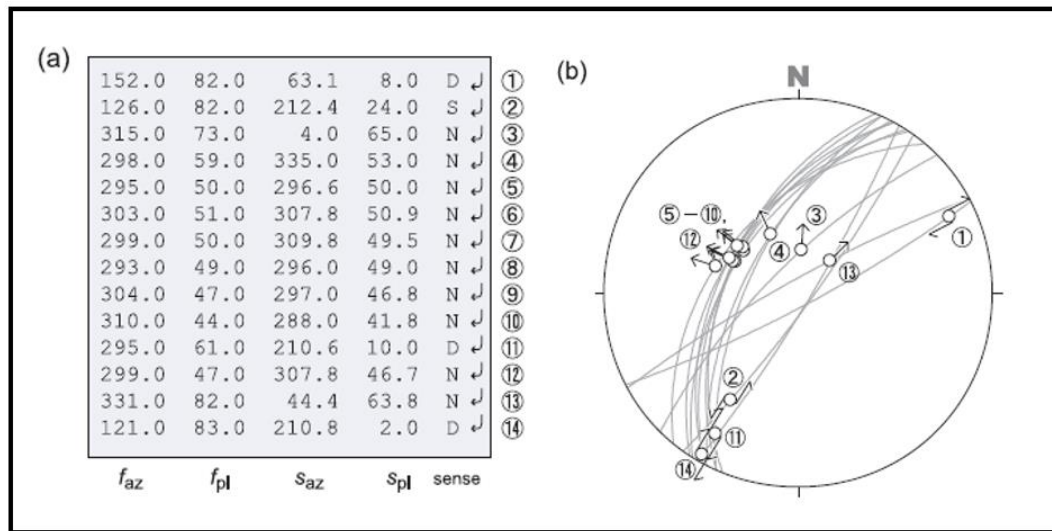
Parameter datum fault slip terdiri dari orientasi *fault plane* dan arah *slip* pada *hanging wall* blok. Arah dip dan nilai dip ( $f_{az}$  dan  $f_{pl}$ ) untuk dapat mengetahui orientasinya bidang patahannya (gambar 2.9). Arah *slip* diindikasikan oleh orientasi streasi *slickenside* dan sifat gerakan. Arah dan plunge pada streasi disimbolkan “ $S_{az}$  dan  $S_{pl}$ ”. Setelahnya adalah berupa huruf (terdiri dari satu huruf) merupakan simbol dari “Normal”, “Reverse”, “Dextral”, dan “Sinistral”. Sudut dianggap berada dalam rentan  $0^{\circ} \leq f_{az} S_{az} < 360^{\circ}$  and  $0^{\circ} \geq f_{pl} S_{pl} < 00^{\circ}$ .



**Gambar 2. 9** Skema Ilustrasi memperlihatkan sudut untuk menunjukkan orientasi *fault plane* dan arah slip pada patahan dalam Yamaiji (2011).



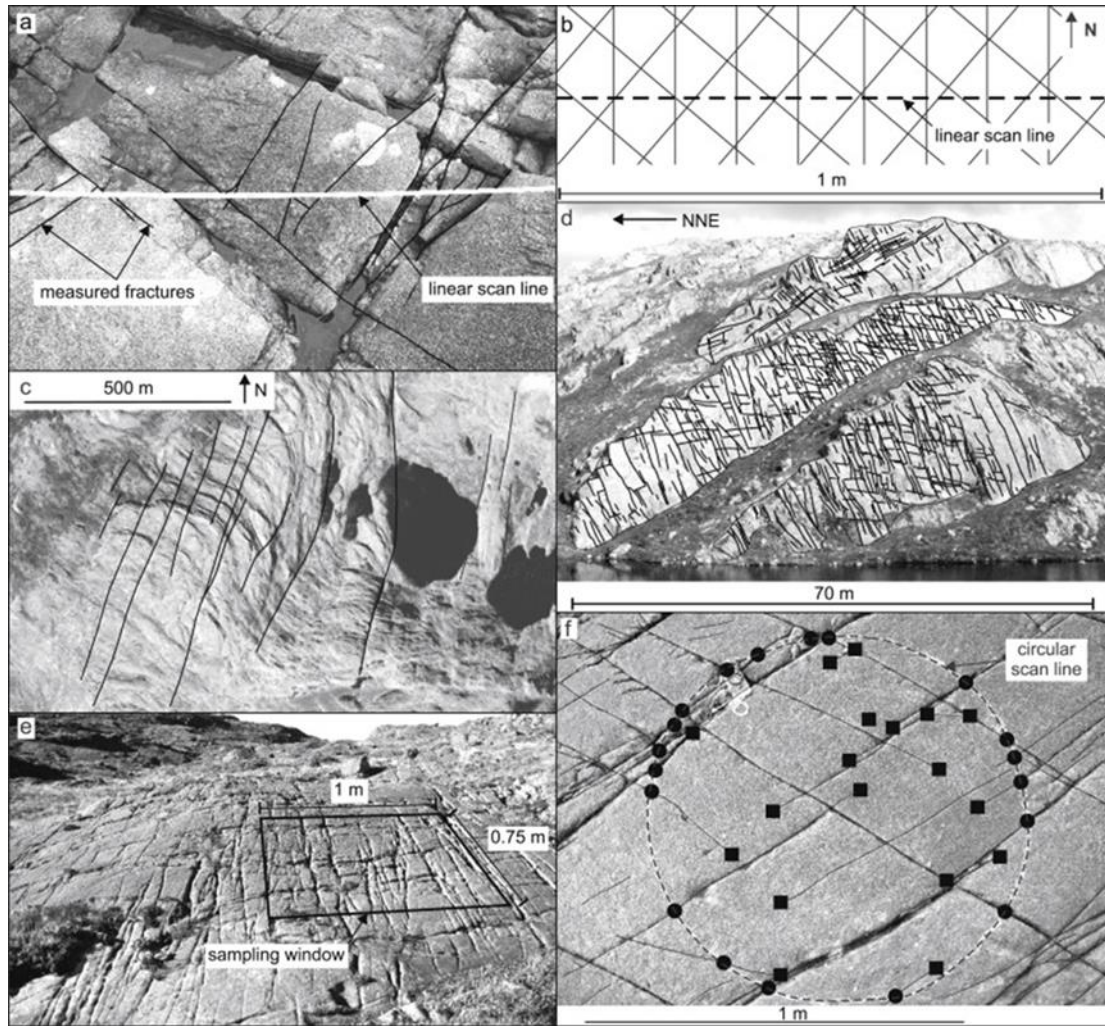
contoh hasil pengolahan data kekar dan penggambaran pada stereonet. Gambar 2.10



**Gambar 2. 10** a) Contoh File Data b) Data *Fault Slip* yang Tergambar pada MIM 2010.

## 2.5 Metode Pemetaan Geologi Struktur untuk sampling *Fracture* (kekar)

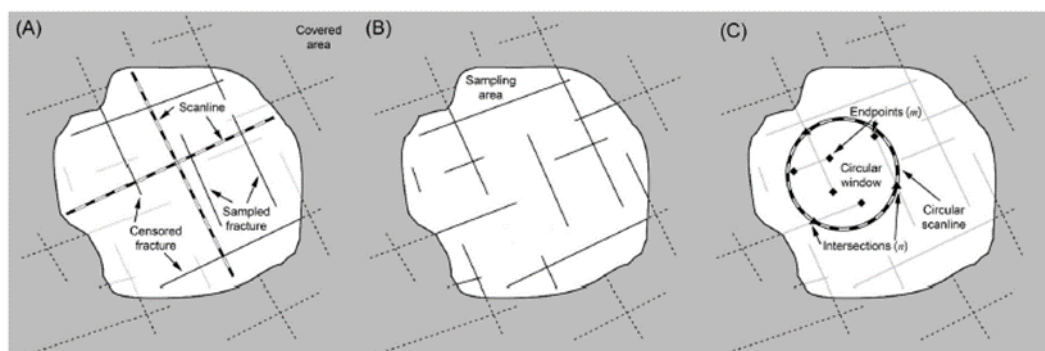
Empat strategi pengambilan sampel utama untuk mengumpulkan data kekar banyak digunakan dan dilaporkan dalam literatur: metode linear *scanline* (Priest dan Hudson, 1981, Priest, 1993), pengambilan sampel *areal* (Wu dan Pollard, 1995), pengambilan sampel jendela segi empat (Pahl, 1981, Priest, 1993) dan metode *scanline* sirkuler (Mauldon et al., 2001, Rohrbaugh et al., 2002).



**Gambar 2.11** a) Atribut fraktur, termasuk orientasi, panjang, bukaan, jarak dan pengisian fraktur diukur untuk setiap fraktur yang memotong garis pemindaian linier (pita pengukur). b) Tiga set fraktur spasi merata pada orientasi yang berbeda (N-S, NE-SW & NW-SE) direkam pada garis pemindaian linier (garis putus-putus). Jarak sebenarnya untuk setiap set adalah 11 cm, dan intensitas sebenarnya adalah 8 per meter; hanya jarak sebenarnya dan intensitas patah tulang yang tegak lurus terhadap garis pindai (set N-S) yang dicatat karena dua set lainnya miring terhadap garis pindai, memberikan jarak 15 cm dan hanya 6 patahan per meter. c) Diskontinuitas skala besar yang dipetakan menggunakan sampel areal dari foto udara. d) Jejak fraktur dipetakan pada bidang perlapisan dari foto lapangan. e) Atribut fraktur, termasuk orientasi, panjang, bukaan, jarak dan isi fraktur diukur untuk setiap fraktur dalam area pengambilan sampel (kotak hitam) menggunakan pengambilan sampel jendela segi empat. f) Pengumpulan data pemindaian garis sirkular; persimpangan fraktur dengan lingkaran pengambilan sampel (titik-titik hitam) dan akhir fraktur dalam lingkaran

(kotak hitam) dihitung untuk memperkirakan intensitas patah, kepadatan dan panjang jejak rata-rata (Mauldon et al., 2001).

Untuk menghitung estimasi representatif untuk kerapatan fraktur, intensitas, dan panjang jejak rata-rata, Rohrbaugh et al. (2002) dan Zeeb, 2013 (Tabel 2.2 dan gambar 2.11) menyarankan lingkaran sampling harus cukup besar untuk mengandung minimal 30 titik hingga akhir. Jelas ukuran lingkaran tergantung pada intensitas fraktur di setiap lokasi pengambilan sampel, yang berarti untuk singkapan di mana hanya beberapa titik akhir fraktur hadir dalam area tertentu, lingkaran sampel harus berukuran besar, dan oleh karena itu pengambilan sampel akan dibatasi pada singkapan yang lebih besar. Metode *scanline* sirkular adalah pendekatan cepat untuk mengumpulkan data, namun metode ini, seperti yang diuraikan oleh (Mauldon et al. 2001) tidak memberikan estimasi yang dihitung untuk atribut fraktur lainnya, misalnya, orientasi, panjang, bukaan, jarak atau pengisian fraktur. Estimator ini ideal untuk perhitungan kerapatan, intensitas, dan panjang jejak rata-rata di mana fraktur terdistribusi secara merata, namun, hanya memberikan nilai rata-rata dan tidak memberikan informasi tentang bagaimana fraktur didistribusikan dalam lingkaran (yaitu apakah fraktur ditempatkan secara merata, didistribusikan secara acak, atau kluster), tidak seperti metode *scanline* linier atau jendela/areal persegi panjang. Lingkaran memang menyediakan area di mana sifat pengelompokan fraktur dapat dicatat oleh operator jika informasi ini diperlukan. Gambar 2.12



**Gambar 2. 12** Window sampling (A), scanline sampling (B), dan metode penduga melingkar (C). Garis hitam pekat menunjukkan rekahan sampel; garis abu-abu muda, fraktur non sampling; dan garis putus-putus, bagian patah tulang yang tidak dapat diamati

(disensor) (dimodifikasi dari Rohrbaugh et al., 2002). (Zeeb, et al, 2013).

**Tabel 2. 2** Definisi Densitas Fraktur ( $\rho$ ), Intensitas ( $I$ ), Spasi ( $S$ ), dan Panjang Rata-rata ( $l_m$ ), dan Persamaan Pengatur untuk Menghitung Parameter Ini Menggunakan Metode Scanline Sampling, Window Sampling, dan Circular Estimator\* (zeeb, et al 2013)

Parameter		Definition	Scanline Sampling**	Window Sampling**	Circular Estimator**
Density ( $\rho$ )	Areal (P20)	Number of fractures per unit area ( $m^{-2}$ )	-	$\rho_{WS} = \frac{N}{A}$	$\rho_{CE} = \frac{m}{2\pi r^2}$
	Volumetric (P30)	Number of fractures per unit volume ( $m^{-3}$ )	-	-	-
Intensity ( $I$ )	Linear (P10)	Number of fractures per unit length ( $m^{-1}$ )	$I_{SLS} = \frac{N}{L}$	-	-
	Areal (P21)	Fracture length per unit area ( $m \times m^{-2}$ )	-	$I_{WS} = \frac{\sum l}{A}$	$I_{CE} = \frac{n}{4r}$
	Volumetric (P32)	Fracture area per unit volume ( $m^2 \times m^{-3}$ )	-	-	-
Spacing ( $S$ )	Linear	Spacing between fractures (m)	$S = \frac{1}{I_{SLS}}$	-	-
Mean length ( $l_m$ )	Linear	Mean fracture length (m)	$l_{m,SLS} = \frac{\sum l}{N}$	$l_{m,WS} = \frac{\sum l}{N}$	$l_{m,CE} = \frac{\pi r}{2} \frac{n}{m}$
Length distribution	1-D**	Fractures intersecting with a scanline	Yes	-	-
	2-D**	Fractures intersecting with a sampling area	-	Yes	-
Orientation	2-D**	Orientation of a fracture on a sampling plane	Yes	Yes	-
	3-D**	Orientation of a fracture in a sampling volume	(Yes) <sup>††</sup>	(Yes) <sup>††</sup>	-

\* Yang terakhir ini didasarkan pada (Rohrbaugh et al. 2002). Definisi distribusi panjang rekahan dan orientasi yang dievaluasi dengan metode pengambilan sampel dan jendela scanline juga disertakan. Dershowitz (1984) memperkenalkan notasi untuk membedakan antara densitas dan intensitas rekahan linier, areal, dan volumetrik (P20, P30, dll.)

\*\* N = jumlah total sampel rekahan; L = panjang garis pindai; A = area pengambilan sampel; r = radius garis pindai melingkar; l = panjang patahan; n dan m = jumlah persimpangan dengan garis pindai melingkar dan jumlah titik akhir dalam jendela melingkar yang masing-masing dikelilingi oleh garis pindai melingkar. The subskrip WS (*window sampling*), SLS (*scanline sampling*), dan CE (penduga melingkar) dari parameter menunjukkan metode pengambilan sampel yang sesuai. 1-D = satu dimensi; 2-D = dua dimensi; 3-D = tiga dimensi.

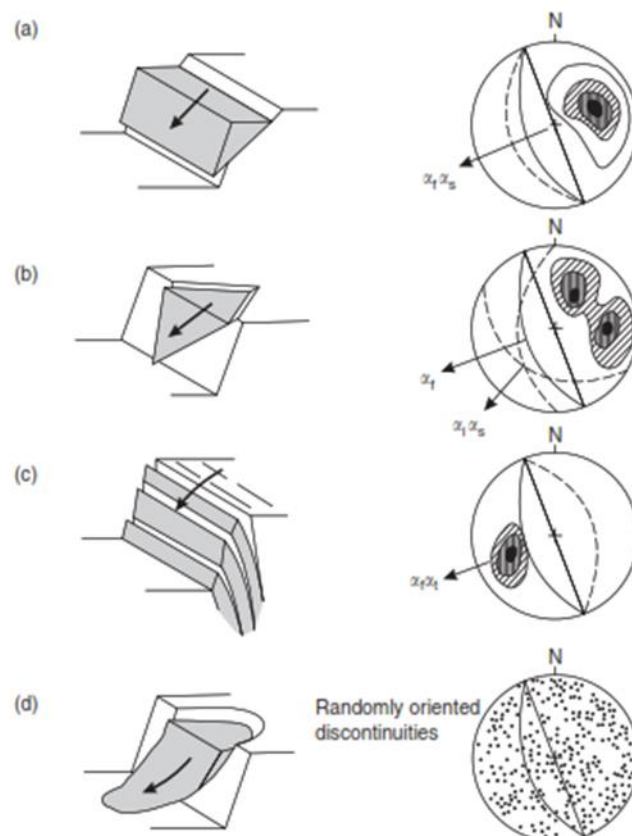
<sup>†</sup>Lubang bor: memungkinkan untuk inti sumur yang berorientasi dan log gambar.

<sup>††</sup>Singkatan: mungkin untuk pengaturan singkatan tiga dimensi.

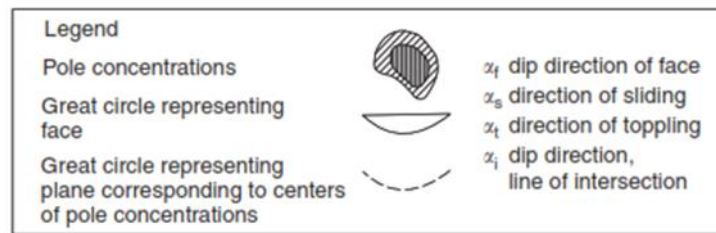
## 2.6 Jenis-Jenis Kegagalan Lereng (*Slope Failure*)

Berbagai jenis kegagalan lereng dikaitkan dengan struktur geologi yang berbeda dan itu penting bagi perancang lereng dapat mengenali potensi yang ada masalah stabilitas dalam sebuah proyek. Beberapa pola struktur itu harus diidentifikasi saat memeriksa plot stereonet diuraikan pada bahasan ini. Gambar 2.13 menunjukkan empat jenis kegagalan yang dapat dipertimbangkan, dan plot tiang khas kondisi geologi cenderung menyebabkan kegagalan. Perhatikan bahwa dalam menilai stabilitas, potongan permukaan kemiringan harus dimasukkan dalam plot stereonet karena pergeseran hanya dapat terjadi sebagai akibat dari pergerakan menuju permukaan yang bebas yang dibuat oleh potongan. pentingnya membedakan antara ini empat jenis lereng longsor adalah yang ada yang spesifik jenis analisis stabilitas untuk masing-masing, dan sangat penting.

metode analisis digunakan dalam desain. Diagram yang diberikan pada Gambar 2.13 telah disederhanakan. Di batu yang sebenarnya lereng, beberapa jenis struktur geologi mungkin hadir, dan ini dapat menimbulkan tambahan jenis kegagalan.

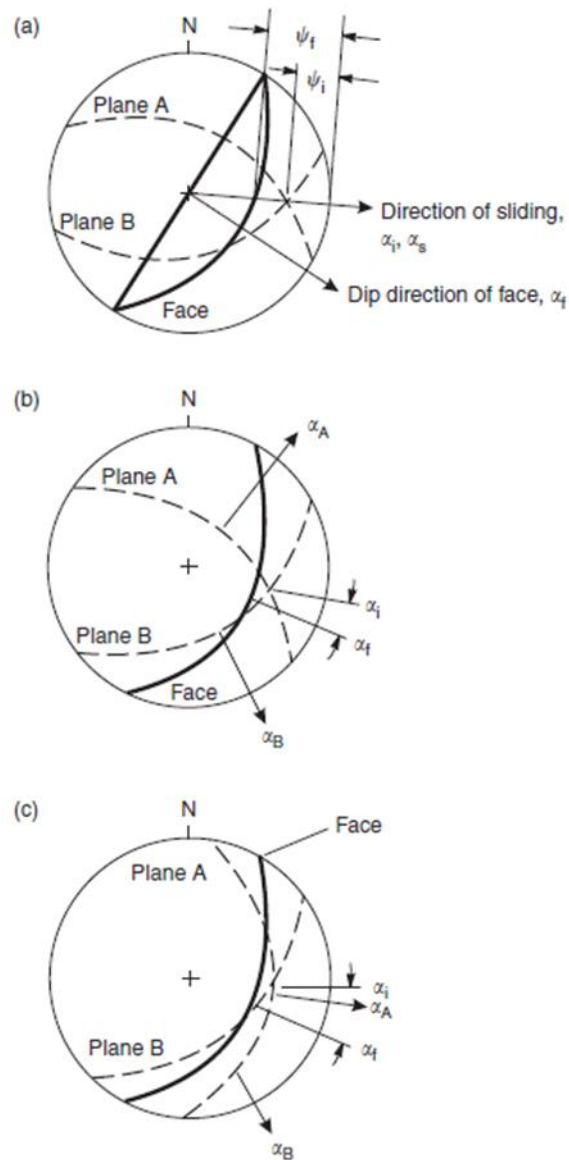






**Gambar 2. 13** Jenis utama kegagalan blok di lereng, dan kondisi struktur geologi yang mungkin menyebabkan kegagalan berikut: (a) kegagalan bidang pada batuan yang terkekarkan per lapisannya searah lereng, dan strike sejajar dengan permukaan lereng; (b) kegagalan baji pada dua perpotongan diskontinuitas; (c) kegagalan pada lereng batuan dengan perlapisan yang tegak sejajar lereng; dan (d) kegagalan pada batuan yang lunak/lapuk kuat atau batuan yang retak dekat dengan diskontinuitas berorientasi acak. (Willie dan Christopher, 2004)

Dalam studi lapangan yang khas di mana data struktur telah diplot pada stereonet, angka konsentrasi kutub yang signifikan dapat di tampilkan . yang berguna untuk dapat mengidentifikasinya bidang kegagalan lereng yang potensial. Tes untuk mengidentifikasi konsentrasi kutub penting yang dimiliki telah dikembangkan oleh Markland (1972) dan Hocking (1976). Tes ini menetapkan kemungkinan kegagalan baji di mana longsoran terjadi garis persimpangan dua diskontinuitas planar seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.13 (b). Bidang kegagalan ditunjukkan pada Gambar 2.13 (a) juga tercakup oleh uji ini khusus dalam kasus kegagalan baji. Untuk kegagalan baji, kontak dipertahankan pada kedua bidang dan longsoran terjadi di sepanjang garis antar kedua bidang. Untuk salah satu bidang atau kegagalan baji, hal mendasar bahwa penurunan bidang geser dalam kasus bidang kegagalan, atau penurunan garis persimpangan masuk kasus kegagalan baji, kurang dari penurunan muka lereng (yaitu  $\psi_i < \psi_f$ ) (Gambar 2.13 (a)). Tes juga dapat membedakan antara gaya geser dari irisan di dua bidang di sepanjang garis persimpangan, atau hanya di salah satu bidang tersebut bahwa kegagalan pada bidang terjadi. Jika arah *dip direction* dari dua bidang terletak di luar sudut yang disertakan antara  $\alpha_i$  (tren garis perpotongan) dan  $\alpha_f$  (dip arah permukaan), irisan akan meluncur pada kedua bidang (Gambar 2.14 (b)). Jika arah kemiringan satu bidang (A) terletak di dalam sudut yang disertakan di antara  $\alpha_i$  dan  $\alpha_f$ , irisan hanya akan meluncur di bidang itu (Gambar 2.14 (c)).



Gambar 2. 14 Identifikasi kegagalan bidang dan kegagalan membaji pada stereonet: (a) meluncur/gelincir di sepanjang garis perpotongan bidang A dan B adalah mungkin di mana terjunnya ini garis lebih kecil dari kemiringan muka lereng, diukur arah geser, yaitu,  $\psi_i < \psi_f$ ; (b) kegagalan membaji terjadi di sepanjang garis persimpangan (arah kemiringan  $\alpha_i$ ) pada lereng dengan arah kemiringan  $\alpha_f$  karena arah perlapisan (*dip direction*) dari bidang A dan B ( $\alpha_A$  dan  $\alpha_B$ ) terletak di luar termasuk sudut antara  $\alpha_i$  dan  $\alpha_f$ ; (c) kegagalan terjadi pada bidang A (arah dip  $\alpha_A$ ) di lereng dengan arah kemiringan  $\alpha_f$  karena arah kemiringan bidang A terletak di dalam termasuk sudut antara  $\alpha_i$  dan  $\alpha_f$

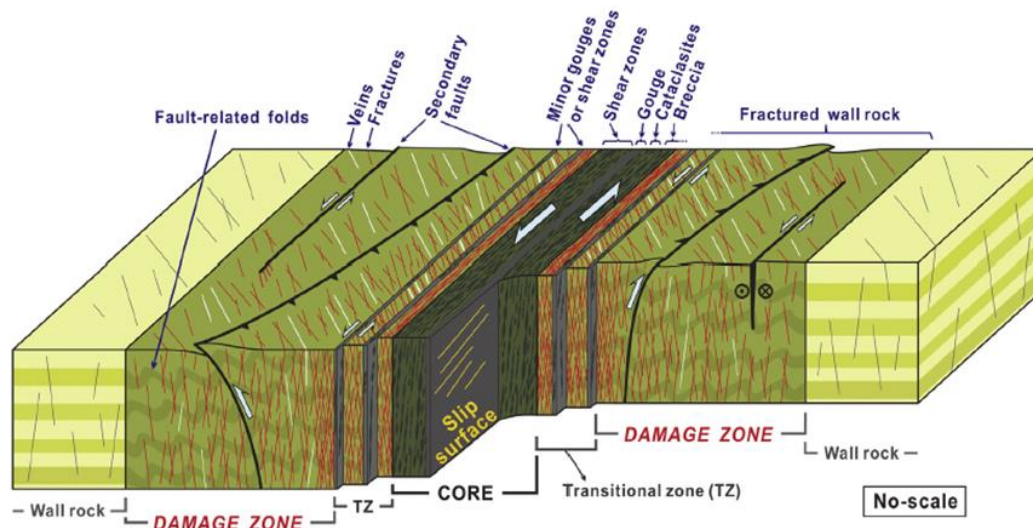
## 2.7 Klasifikasi Zona Kerusakan Sesar (*Fault Damage zone*)

*Brittle Fault* terutama diklasifikasikan menjadi dua domain struktural (Gambar. 2.15); inti pusat dan zona kerusakan yang menyelubunginya, yang dapat dibedakan dari batuan dinding sekitarnya yang mengandung deformasi asal (misalnya Chester dan Logan, 1986; Chester et al., 1993; Caine et al., 1996; Cello et al., 2001). Inti sesar adalah hasil regangan yang sangat lokal dan geser yang intens yang menampung sebagian besar perpindahan dalam zona sesar, dan umumnya terdiri dari sejumlah *strike slip* berulang dan batuan sesar seperti *gouges*, *cataclastites*, dan breksi (misalnya Sibson 1977; Bruhn et al., 1994; Childs et al., 1996; Wibberley et al., 2008; Bastesen et al., 2009; Bastesen dan Braathen, 2010). Zona kerusakan dicirikan oleh regangan yang relatif rendah dan deformasi yang kurang intens dibandingkan dengan inti sesar, dan zona ini umumnya menunjukkan beberapa struktur orde dua seperti sesar tambahan, patahan, dan urat serta lipatan yang berhubungan dengan sesar dan / atau lipatan seret masuk beberapa kasus (misalnya Bruhn et al., 1994; Billi et al., 2003; Odling et al., 2004; Berg dan Skar, 2005; Faulkner et al., 2010). Pada batuan berpori, lokalisasi regangan biasanya terjadi melalui pembentukan *deformation bands*, dan *low-displacement bands* ini juga dikenal sebagai jenis zona kerusakan (misalnya Aydin dan Johnson, 1978; Underhill dan Woodcock, 1987; Mair et al., 2000; Fossen et al., 2007; Schultz dan Fossen, 2008; Rotevatn dan Fossen, 2011; Tondi et al., 2012; Schueller et al., 2013). Zona kerusakan yang sebagian besar terdiri dari *deformation bands* dicirikan oleh beberapa penurunan permeabilitas batuan tidak seperti di mana rekahan dominan.

Dalam beberapa kasus, khususnya pada patahan skala besar, tidak mudah untuk mendefinisikan domain struktural berdasarkan deskripsi sederhana dari zona sesar karena kompleksitas geometris (misalnya Schulz dan Evans, 2000; Shipton dan Cowie, 2001). Akibatnya, beberapa peneliti telah menyarankan kebutuhan untuk mengklasifikasikan secara rinci model zona sesar orde pertama, yang dapat bervariasi karena perbedaan litologi dan pengaturan tektonik (misalnya Gabrielsen dan Aarland, 1990; Jones dan Knipe, 1996; Braathen dan Gabrielsen, 1998; Clausen et al., 2003). Sebagian besar dari mereka telah mengusulkan subdivisi lebih lanjut dari inti sesar dan / atau zona kerusakan masing-masing, seperti inti pusat dan distal



dan / atau zona kerusakan dalam dan luar (Jones dan Knipe, 1996; Braathen dan Gabrielsen, 1998; Heynekamp et al. 1999; Clausen et al., 2003; Micarelli et al., 2003; Berg dan Skar, 2005). Dalam beberapa kasus, zona transisi atau campuran diamati di kedua perbatasan zona kerusakan dan ini dicirikan oleh kombinasi atau pengulangan fitur deformasi dari domain struktural yang berbeda di zona sesar (misalnya Evans dan Bradbury, 2004).

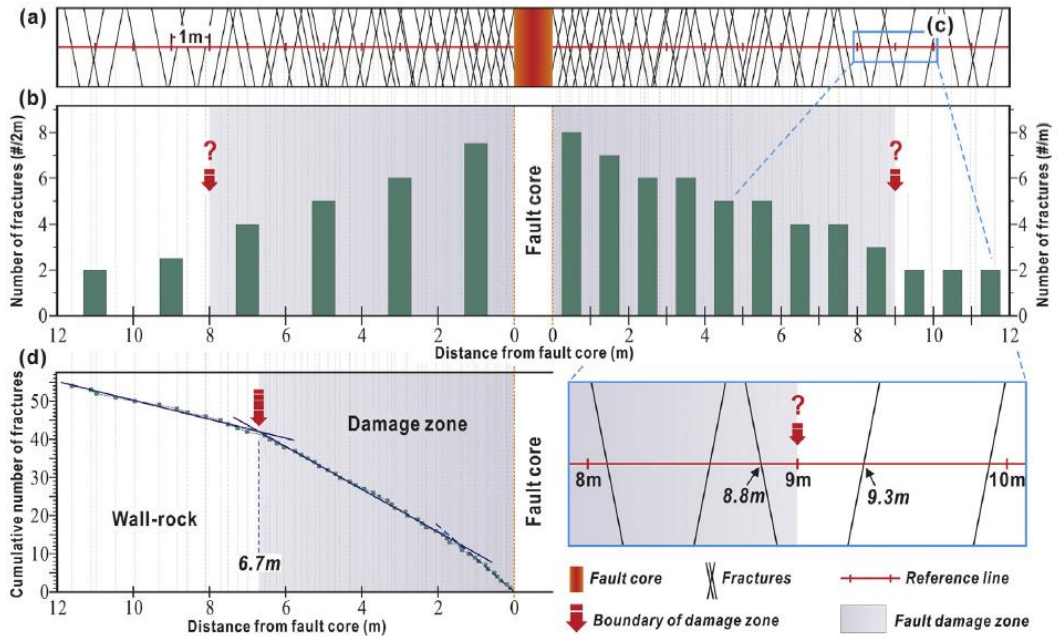


**Gambar 2. 15** Diagram blok konseptual zona sesar melintasi suatu sesar (dimodifikasi dari Caine et al., 1996; Faulkner et al., 2003). Diagram ini menunjukkan komponen utama dari arsitektur zona sesar (yaitu teras sesar, zona kerusakan) dan elemen struktur serta fitur di setiap komponen. Perhatikan bahwa zona transisi (atau campuran) dicirikan oleh perubahan elemen sesar dari teras sesar dan zona kerusakan.

Pembagian zona kerusakan akibat sesar/patahan (*damaged zone*), berdasarkan arsitektur zona sesar secara 3 dimensi dan pengaruhnya terhadap distribusi regangan, harus dipertimbangkan dengan hati-hati ketika memperkirakan lebar zona kerusakan untuk analisis kuantitatif kompleks sistem sesar. Oleh karena itu, disarankan agar zona kerusakan diklasifikasikan menjadi tiga kategori; patahan-bersama (*along fault*), keliling-tip dan patahan-silang (*around-tip and cross fault*), terutama berfokus pada perhatian dan pengamatan permukaan sesar dari zona sesar dalam 3 dimensi. (Choi, et.al, 2015).

Skema dan analisis yang digunakan untuk mengetahui zona kerusakan akibat sesar, dapat di lihat dari kerapatan atau intensitas kekar di sekitar zona patahan,

semakin dekat dari inti patahan/zona utama semakin tinggi intensitas kekar.  
Gambar 2.16



**Gambar 2. 16** Diagram skematis yang membandingkan berbagai metode analisis untuk memperkirakan lebar zona kerusakan akibat patahan/sesar. (a) Gambar yang menunjukkan distribusi rekahan melintasi bagian hipotetis. (b) diagram batang yang menunjukkan frekuensi rekahan berdasarkan satuan interval 2 dan 1 m. (c) Inset untuk distribusi rekahan di sekitar perkiraan batas zona kerusakan akibat sesar. (d) Plot frekuensi rekahan kumulatif dan distribusi gradien kemiringannya. Titik persimpangan antara dua gradien yang berbeda menunjukkan batas luar zona kerusakan