



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Mayor Jendral Sungkono Km 5, Blater Purbalingga 53371
Telepon (0281) 6596700 Faks. (0281) 6596 801
Laman : www.ft.unsoed.ac.id, email : ft@unsoed.ac.id

SURAT TUGAS

Nomor : 407/UN23.12/PT.01.07/2022

- Dasar : 1. Surat dari Dosen Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Jenderal Soedirman tanggal 31 Mei 2022 perihal permohonan surat tugas;
2. Saran dan Pertimbangan Pimpinan Fakultas Teknik Universitas Jenderal Soedirman.

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jenderal Soedirman memberikan tugas kepada :

Nama : Dr. Ir. Asmoro Widagdo, S.T., M.T., IPM.
NIIP : 197608272008011009
Pangkat/Gol. : Penata (Gol.III/c)
Jabatan : Lektor
Unit Kerja : Fakultas Teknik Unsoed

Untuk menerbitkan buku referensi dengan judul "Sesar Mendatar (Patahan Geser Kanan/Dextral dan Kiri/Sinistral"

Demikian surat tugas ini dibuat, untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya dengan penuh rasa tanggungjawab.



Dikeluarkan di : Purbalingga
Pada Tanggal : 6 Juni 2022
Dekan

Prof. Dr. Eng. Suroso, S.T., M.Eng.
NIP 197812242001121002



TANDA TERIMA SUMBANGAN BUKU

Telah diterima sumbangan buku dari :

NAMA : Asmoro Widagdo
FAKULTAS/PRODI : Teknik UNSOED / Teknik Geologi

Judul :

No.	Judul	Pengarang	Penerbit	Jumlah
1.	Sesar Mendatar/Patahan Geser Kanan dan Kiri (Dextral dan Sinistral Fault)	Dr. Ir. Asmoro Widagdo	Universitas Jenderal Soedirman	2
2.	Geologi Daerah Bobotsari Kabupaten Purbalingga-Jawa Tengah	Dr. Ir. Asmoro Widagdo, S.T., M.T., IPM.	Universitas Jenderal Soedirman	1

Demikian untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Purwokerto, 11 Shafar 1444 H
7 September 2022 M

Yang menyerahkan,



(Dr. Ir. Asmoro Widagdo, S.T., M.T., IPM.)

Yang menerima,



(Subandriyah)

SURAT KETERANGAN PENYERAHAN BUKU

Perpustakaan Universitas Wijayakusuma (UNWIKU) Purwokerto dengan ini menerangkan telah menerima sumbangan buku dari :

Nama : Dr.Ir.Asmoro Widagdo, ST., MT.
Fakultas : Teknik-Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED) Purwokerto
Prodi : Teknik Geologi

Buku :

No	Judul	Pengarang	Penerbit	Jumlah
1	Sesar Mendatar/Patahan Geser Kanan dan Kiri (Dextral dan Sinistral Fault)	Dr.Ir.Asmoro Widagdo, ST., MT.	Universitas Jenderal Soedirman	2
2	Geologi Daerah Bobotsari Kabupaten Purbalingga-Jawa Tengah	Dr.Ir.Asmoro Widagdo, ST., MT.	Universitas Jenderal Soedirman	2

Demikian untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Yang Menyerahkan,



(Dr.Ir.Asmoro Widagdo, ST., MT.)

Purwokerto, 12 September 2022

Yang Menerima,



(Muhammad Syafik)

SURAT KETERANGAN PENYERAHAN BUKU

Perpustakaan Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) Kampus Wates dengan ini menerangkan telah menerima sumbangan buku dari :

Nama : Dr.Ir.Asmoro Widagdo, ST., MT.
Fakultas : Teknik-Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED) Purwokerto
Prodi : Teknik Geologi

Buku :

No	Judul	Pengarang	Penerbit	Jumlah
1	Sesar Mendatar/Patahan Geser Kanan dan Kiri (Dextral dan Sinistral Fault)	Dr.Ir.Asmoro Widagdo, ST., MT.	Universitas Jenderal Soedirman	3
2	Geologi Daerah Bobotsari Kabupaten Purbalingga-Jawa Tengah	Dr.Ir.Asmoro Widagdo, ST., MT.	Universitas Jenderal Soedirman	3

Demikian untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, September 2022

Yang Menyerahkan,

Yang Menerima,

(Dr.Ir.Asmoro Widagdo, ST., MT.)


(*Tri Syatni*)



BUKU REFERENSI

Untuk Jurusan-jurusan :

Teknik Geologi,
Teknik Perminyakan,
Teknik Pertambangan,
Teknik Geofisika,
Teknik Sipil,
Teknik Planologi,
Geografi, Geofisika,
Arsitektur, dll.

SESAR MENDATAR/ PATAHAN GESER KANAN DAN KIRI (DEXTRAL DAN SINISTRAL FAULT)

Dr. Ir. Asmoro Widagdo

Prodi Teknik Geologi
Universitas Jenderal Soedirman
UNSOED-Purwokerto

SESAR MENDATAR/ PATAHAN GESER KANAN DAN KIRI (DEXTRAL DAN SINISTRAL FAULT)

Dr. Ir. Asmoro Widagdo



Penerbit
Universitas Jenderal Soedirman
2022

Buku Referensi

SESAR MENDATAR/PATAHAN GESER KANAN DAN KIRI (DEXTRAL DAN SINISTRAL FAULT)

© 2022 Universitas Jenderal Soedirman

Cetakan Kesatu, Juni 2022

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
All Right Reserved

Penulis:

Dr. Ir. Asmoro Widagdo

Editor Isi:

Dr. Ing. Sugeng Waluyo, S.T., M.Sc.

Editor Bahasa:

Dr. Ir. Indra Permanajati, S.T., M.T.

Diterbitkan oleh:

UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
Gd. BPU Percetakan dan Penerbitan (UNSOED Press)
Telp. (0281) 626070
Email: unsoedpresspwt@gmail.com



Anggota

Afiliasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia

Nomor : 003.027.1.03.2018

xiv + 76 hal., 15 x 23 cm

ISBN: 978-623-465-012-9

*Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit,
sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apapun, baik cetak,
photoprint, microfilm dan sebagainya.*

PENGANTAR EDITORIAL

Pemahaman mengenai sesar mendatar atau patahan bumi yang menyebabkan batuan atau tanah bergerak ke samping kanan/kiri diperlukan dalam berbagai bidang keteknikan. Seperti halnya jenis patahan lainnya yakni patahan naik dan turun, sesar mendatar ini menjadi dasar bagi seorang insinyur dalam memahami dan bekerja di lingkungan industri pertambangan, perminyakan, konstruksi, infrastruktur, kebencanaan dan lain-lain. Jenis sesar mendatar atau *strike-slip fault* ini terdiri atas *dextral fault*/sesar mendatar kanan dan *sinistral fault* atau sesar mendatar kiri.

Bagaimana mekanisme pembentukan dan juga pengenalan kedua jenis *strike-slip fault* ini perlu diketahui oleh para calon insinyur yang akan berkarya di bidang yang bersentuhan dengan batuan di alam. Pemahaman akan kedua jenis patahan alam ini akan memberikan landasan berfikir dalam mensikapi keberadaannya di lingkungan kerja para insinyur. Jenis patahan ini sangat umum dijumpai di Indonesia, sebagai daerah yang penuh tekanan/stress secara tektonik, terkait dengan posisinya yang berada diantara pengaruh lempeng-lempeng tektonik Asia-Australia-Hindia dan Pasifik.

Pemahaman akan kedua jenis patahan ini juga diperlukan oleh semua unsur pekerjaan keteknikan di Indonesia. Terlebih untuk para mahasiswa Teknik Geologi, Perminyakan, Pertambangan, Sipil, Planologi, Geofisika, Geografi sangat disarankan untuk mengenal kedua jenis patahan ini, sebagai bekal pemahaman terhadap tatanan wilayah rencana kerja. Demikian, semoga buku ini banyak memberikan masukan keilmuan dan dorongan semangat ingin tahu akan fenomena alam di sekitar kita.

Purwokerto, 20 Mei 2022

(Dr. Ing. Sugeng waluyo, S.T., M.Sc.)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Pengantar Editor	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	xii
Kata Pengantar	xiii
Abstrak	xiv
BAB I. Struktur Sesar Mendatar.....	1
1.1. Pengertian Sesar	1
1.2. Genesa Sesar Mendatar/ <i>Strike-Slip Fault</i>	1
1.3. Identifikasi Sesar	3
1.4. Klasifikasi Sesar	4
1.5. Pengambilan Data Sesar	5
1.6. Analisis Data Sesar	6
1.7. Analisis Sesar Melalui Data Kekar dan Breksiasi	7
BAB II. Sesar Mendatar Kanan atau Patahan Dextral	11
2.1. Pengertian Sesar Mendatar Kanan/Geser Kanan	11
2.2. Genesa Sesar Mendatar Kanan/Geser Kanan	12
2.3. Kenampakan Sesar Mendatar Kanan/Geser Kanan	15
2.4. Analisis Sesar Mendatar Kanan/Geser Kanan ...	18
2.5. Sistem Sesar Mendatar Kanan/Geser Kanan	20
2.6. Tektonik Sesar Mendatar Kanan/Geser Kanan .	27
2.7. Potensi Mineralisasi Emas pada Sesar Geser Kanan	29
2.8. Sesar-Sesar Mendatar Kanan di Indonesia	38
BAB III. Sesar Mendatar Kiri atau Patahan Sinistral	41
3.1. Pengertian Sesar Mendatar Kiri/Geser Kiri	41
3.2. Genesa Sesar Mendatar Kiri/Geser Kiri	43
3.3. Kenampakan Sesar Mendatar Kiri/Geser Kiri ...	44
3.4. Analisis Sesar Mendatar Kiri/Geser Kiri	46
3.5. Sistem Sesar Mendatar Kiri/Geser Kiri	48
3.6. Contoh Kasus Kontrol Sesar Sinistral pada Mineralisasi Emas	50

3.7. Contoh Kasus Kontrol Sesar Sinistral pada Kerusakan Jembatan	58
3.8. Jalur Sesar Mendatar Kiri Regional di Indonesia	64
BAB IV. KESIMPULAN	71
Daftar Pustaka	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Hubungan antara <i>three principal stresses</i> dan <i>conjugate shear surfaces</i>	2
Gambar 1.2.	Macam-macam deformasi rapuh	3
Gambar 1.3.	Hubungan antara orientasi gaya utama dan rezim tektonik	3
Gambar 1.4.	Pengukuran dan penggambaran <i>plunge</i> dan <i>pitch</i>	4
Gambar 1.5.	Klasifikasi sesar	5
Gambar 1.6.	Pengenalan pergerakan sesar di lapangan	6
Gambar 2.1.	Sesar geser kanan San Andreas di Amerika Serikat dan Mexico	12
Gambar 2.2.	Pembentukan sesar geser kanan yang biasanya berpasangan dengan sesar geser kiri akibat gaya σ_1 dan σ_3 horisotal	13
Gambar 2.3.	Hubungan antara orientasi tegangan utama (rezim tegangan) dan rezim tektonik	14
Gambar 2.4.	Pembentukan sesar geser kanan dan penggambaran bidang sesar pada stereonet ...	14
Gambar 2.5.	Kenampakan gores-garis dan stylolite pada sesar mendatar kanan	15
Gambar 2.6.	Pembentukan slickenside dan slickolite	16
Gambar 2.7.	Kenampakan slickolite	16
Gambar 2.8.	Ketidakteraturan sepanjang patahan menciptakan jejak tangga di mana pertumbuhan mineral atau struktur pemendekan (stylolite) dapat terbentuk	16
Gambar 2.9.	Kenampakan sesar dextral di lapangan	17
Gambar 2.10.	Kriteria kinematik sepanjang sesar dekstral dengan rekahan atau kekasaran permukaannya	17
Gambar 2.11.	Kenampakan gores-garis pada Pandangan ke baratdaya terhadap bidang sesar dekstral N317°E/82°, <i>pitch</i> 7° ke barat laut	18

Gambar 2.12. Analisis gores-garis sesar dekstral pada batuan Eosen di sebelah barat Yogyakarta menunjukkan gaya kompresional berarah utara-selatan sebagai pembentuknya	19
Gambar 2.13. Ujung sesar mendatar kanan	21
Gambar 2.14. Sebuah <i>stepover</i> sepanjang sesar <i>strike-slip</i> mengangan	21
Gambar 2.15. Sebuah model laboratorium perkembangan sesar mendatar kanan	22
Gambar 2.16. Sebuah model regangan menjelaskan asal usul struktur sekunder di sepanjang sesar <i>strike-slip</i> mengangan	22
Gambar 2.17. Mekanisme rotasi blok di zona <i>strike-slip</i> mengangan	23
Gambar 2.18. Profil bawah permukaan sesar dextral	24
Gambar 2.19. Model tampilan peta dari sesar melengkung di sepanjang sesar <i>strike-slip</i>	26
Gambar 2.20. Sketsa tampilan peta dari <i>strike-slip duplex</i> yang terbentuk di sepanjang sesar <i>strike-slip dextral</i>	26
Gambar 2.21. Sesar minor pada ujung sesar dextral	27
Gambar 2.22. Sketsa peta Asia Selatan, menunjukkan tumbukan India-Benua Eurasia	28
Gambar 2.23. Lingkungan tektonik sesar mendatar	29
Gambar 2.24. Lokasi daerah contoh kasus di Pegunungan Selatan Jawa bagian Timur	30
Gambar 2.25. Sesar dan urat di daerah Selogiri-Wonogiri ..	31
Gambar 2.26. Arah dan pola sesar serta arah umum urat dan uratan di daerah contoh kasus	33
Gambar 2.27. Kenampakan mineral logam pada urat kuarsa dari berbagai lokasi di daerah contoh kasus ..	34
Gambar 2.28. Sesar dekstral <i>en-echelon right stepping baratlaut-tenggara</i> membentuk zona ekstensi	35
Gambar 2.29. Rentang arah sudut strike urat dan uratan kuarsa hasil gaya utara-selatan	36
Gambar 2.30. Jenis-jenis kekar dan contoh di daerah kasus ..	37
Gambar 2.31. Sesar Sumatra dan Sesar Mentawai terbentuk akibat subduksi/penyusupan Lempeng Samudera Hindia di bawah Pulau Sumatra	38
Gambar 2.32. Sesar mendatar kanan di Kalimantan	39

Gambar 2.33.	Sesar utama di antara Jawa Tengah Jawa Barat, sesar baratlaut-tenggara merupakan sesar dextral, sesar barat timur merupakan sesar naik	39
Gambar 2.34.	Zona sesar mendatar kanan di daerah Ajibarang-Banyumas, Jawa Tengah	40
Gambar 3.1.	<i>Sinistral strike-slip</i> atau sesar mendatar kiri dalam pandangan datar	41
Gambar 3.2.	Sesar mendatar kiri Laut Mati (<i>Dead Sea transform / DST</i>) membentang dari Teluk Aqaba utara ke ujung barat Pegunungan Zagros	42
Gambar 3.3.	Hubungan antara orientasi tegangan utama (rezim tegangan)	43
Gambar 3.4.	Pembentukan sesar geser kiri dan penggambaran bidang sesar pada stereonet ...	44
Gambar 3.5.	Pertumbuhan sesar geser kiri	44
Gambar 3.6.	Beberapa fitur dalam zona sesar geser kiri yang lebih luas yang dapat digunakan untuk mendiagnosis pergeseran (<i>Riedel fractures, antithetic Riedel fractures, gouge fabrics, broken clasts</i>)	45
Gambar 3.7.	Model balok kayu sederhana yang menggambarkan konsep <i>transpression</i> dan <i>transtension</i>	45
Gambar 3.8.	Hubungan sesar geser kiri dan orientasi kekar tarik atau urat kuarsa di lapangan	46
Gambar 3.9.	Kenampakan gores-garis sesar pada batuan Eosen di Kulonprogo-Yogyakarta	46
Gambar 3.10.	Analisis gores-garis sesar sinistral pada batuan Eosen di Kulonprogo-Yogyakarta	47
Gambar 3.11.	Hubungan struktur sesar mendatar dengan kompresi Utara-Selatan di Gunung Gajah Barat dan Gajah Timur	48
Gambar 3.12.	Berbagai jenis struktur sepanjang zona sesar mendatar mengiri	49
Gambar 3.13.	Berbagai karakter sesar mendatar mengiri pada pandangan peta dan aplikasinya di Pegunungan Kulon Progo	50

Gambar 3.14. Kelurusan struktur pada citra daerah G. Ijo serta diagram mawarnya	52
Gambar 3.15. Peta dan penampang Geologi	53
Gambar 3.16. Analisis stereografis sesar mendatar kiri (<i>sinistral</i>) Sesar Plampang, Kukusan dan Gunung Telu	54
Gambar 3.17. Analisis diagram mawar uni dan bi- direksional serta diagram kontur data <i>veinlet</i> /uratan (tebal <1cm) dan <i>vein</i> /urat (tebal >1cm) di daerah Gunung Ijo	55
Gambar 3.18. Hubungan konsep geologi struktur dengan struktur geologi yang terbentuk pada Fase Tektonik I, dengan arah kompresi relatif utara-selatan di daerah contoh kasus	56
Gambar 3.19. Konsep simple shear dan pembentukan urat dan kekar tarik pada zona transtensi di daerah penelitian menurut Van Aswagen (2012) dalam Widagdo dkk, 2017	57
Gambar 3.20. Jalur sesar mendatar kiri yang membentuk breksiasi, kekar tarik, urat kuarsa pada batuan lava andesit	58
Gambar 3. 21. Lokasi daerah contoh kasus di bagian selatan Pulau Jawa termasuk dalam Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta	59
Gambar 3.22. Peta topografi sekitar daerah Jembatan Sungai Plampang	59
Gambar 3.23. Gangguan pondasi jembatan akibat rekahan intensif pada jalur sesar sinistral	60
Gambar 3.24. Analisa kekar gerus daerah studi kasus	61
Gambar 3.25. Analisa kekar tarik daerah studi kasus	62
Gambar 3.26. Jalur sesar sinistral di bawah pondasi yang menjadi tempat munculnya air tanah pada musim kemarau	63
Gambar 3.27. Spasi kekar tarik atau kekar terbuka terisi mineral sekunder dengan kerapatan populasi yang tinggi akibat sesar sinistral yang membentuk zona transtensional	63
Gambar 3.28. Sesar mendatar kiri di Pulau Sulawesi	64
Gambar 3.29. Sesar sinistral di Maluku Utara	65
Gambar 3.30. Sesar sinistral Sorong di Papua Barat	65

Gambar 3.31. Sesar sinistral Sorong di utara Papua	66
Gambar 3.32. Sesar Opak di sebelah timur kota Yogyakarta	67
Gambar 3.33. Sesar Pelabuhan Ratu di Sukabumi hingga Jakarta	68
Gambar 3.34. Sesar sinistral di sebelah barat Kota Purwokerto-Banyumas, Jawa Tengah yang memotong batuan muda	69
Gambar 3.35. Rotasi/perputaran Pulau Jawa dari Eosen ke Miosen akibat sesar sinistral	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Hasil analisis struktur sesar sinistral dan dekstral pada batuan Eosen	19
Tabel 2.2.	Hasil pengukuran bidang sesar dan striasi serta analisis gaya-gaya utama sesar	31
Tabel 2.3.	Hasil analisis kandungan logam pada urat kuarsa	37
Tabel 3.1.	Hasil analisis struktur sesar sinistral dan dekstral pada batuan Eosen	47
Tabel 3.2.	Hasil pengukuran kekar gerus di dasar sungai sekitar Jembatan Plampang	60
Tabel 3.3.	Hasil pengukuran kekar tarik didasar sungai sekitar Jembatan Plampang	61

KATA PENGANTAR

Telah lebih dari seribu tahun firman Tuhan menyebutkan bahwa manusia mengira permukaan bumi ini baik gunung, benua, lautan, pulau-pulau berada tetap pada tempatnya, namun prasangka manusia ini salah, disebutkan-Nya bahwa sesungguhnya permukaan bumi ini bergerak seperti jalannya awan di langit. Buku ini mengulas sedikit mengenai mekanisme pergerakan permukaan bumi yang disebutkan seperti jalannya awan di langit itu. Dua pergerakan alam yakni pergeseran batuan ke kanan dan ke kiri akan diulas dalam buku ini.

Pemahaman akan genesa, mekanisme dan model dari patahan dekstral dan sinistral akan memberikan dasar pemikiran bagi calon sarjana teknik dalam bersentuhan dengan permukaan bumi dimana ia mengaplikasikan ilmunya. Setiap jenis patahan/gerakan muka bumi menghasilkan perubahan yang tertentu. Hal ini memerlukan pensikapan yang khas dalam dunia keteknikan. Bidang pertambangan, perminyakan, kebencanaan, konstruksi sipil telah banyak bersentuhan dengan sifat batuan akibat patahan alam. Perkembangan pembangunan infrastruktur jalan, jembatan, area industri, komunikasi dan lain sebagainya memerlukan pemahaman kondisi alam agar terhindar dari dampak negative yang mungkin ditimbulkan oleh fenomena alam ini.

Demikian, semoga buku ini memberikan sumbangsih dalam memahami dan mensikapi alam saat kita harus menaklukkannya. Semoga pergerakan alam yang seperti pergerakan awan dilangit tidak mengganggu hasil-hasil kebudayaan kita karena kita bisa mensikapinya dengan ilmu dan teknologi yang tepat.

Penulis

Dr. Ir. Asmoro Widagdo, ST, MT.

ABSTRAK

Permukaan bumi selalu dinamis atau mengalami perubahan melalui mekanisme deformasi batuan sepanjang waktu. Perubahan bentuk muka bumi ini melalui mekanisme struktur geologi baik rekahan/kekar/joint, patahan/sesar/fault dan lipatan/folding baik sinklin atau antiklin. Sesar/patahan geser yang dapat berupa dextral/mendatar mengangan atau sinistral/geser kiri merupakan jenis patahan yang umum dijumpai di Indonesia sebagai daerah yang mengalami tekanan/stress akibat himpitan tektonik dari daerah sekitar. Untuk itu, pemahaman mengenai sesar mendatar menjadi penting untuk mahasiswa dan praktisi yang bersentuhan dengan permukaan bumi.

Sesar/patahan dextral dan sinistral terbentuk akibat konstelasi stress atau tekanan/tegangan utama dari arah daerah horizontal/datar dengan daerah regangan atau tarikan yang juga berada pada arah horizontal. Pengenalan gaya-gaya ini dilakukan melalui analisis stereografis terhadap data lapangan yang dapat berupa data pengukuran kekar gerus disertai data pengukuran arah breksiasi/hancuran batuan. Apabila dijumpai gores-garis pada bidang sesar, maka data strike, dip disertai besar sudut pitch, arah bukaan pitch dan jenis pergerakan sesar dapat digunakan untuk menentukan arah gaya-gaya pembentuk.

Melalui pemetaan jalur sesar mendatar, dapat ditentukan pola transtensi atau transpresi yang berkembang pada zona pertampalan sesar mendatar. Kehadiran potensi sumberdaya mineral, hidrokarbon, panas bumi dan sebagainya berhubungan dengan pola sesar yang berkembang di suatu daerah. Pada bagian akhir pembahasan tiap jenis sesar disajikan contoh kasus aplikasi sesar mendatar dalam eksplorasi emas pada urat-urat kuarsa serta dampak sesar mendatar terhadap infrastruktur di alam.

BAB I

STRUKTUR SESAR MENDATAR

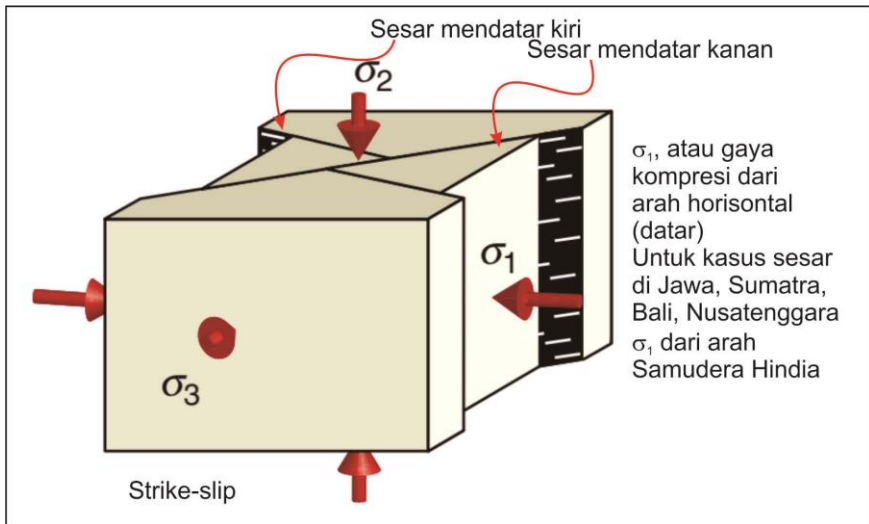
I.1. Pengertian Sesar

Davis and Reynolds (1996), mengemukakan definisi sesar adalah rekahan yang menunjukkan adanya patahan yang dapat diamati karena pergeseran sejajar dengan permukaan rekahan. Sesar menurut Ragan (2009), merupakan suatu struktur geologi dimana kenampakannya telah menunjukkan terjadi adanya perpindahan dengan kenampakan permukaannya berupa bidang datar atau melengkung datar. Rowland et al. (2007) mengemukakan penelitian laboratorium, mengenai rekahan batuan, telah menunjukkan bahwa ketika tubuh batuan isotropik patah di bawah tekanan yang diberikan, permukaan rekahan memiliki orientasi yang dapat diprediksi.

I.2. Genesa Sesar Mendatar/*Strike-Slip Fault*

Pada Gambar 1.1. disajikan hubungan gaya-gaya utama maksimum, menengah dan minimum pembentuk sesar (Fossen, 2010). Pada pembentukan sesar mendatar (sering disebut juga sesar geser atau *strike-slip fault*), maka gaya kompresional utama terkuat (maksimum) dan gaya terlemah (minimum) berada pada arah horizontal. Terdapat dua prediksi permukaan *fracture* atau permukaan geser konjugasi (berpasangan), yang keduanya tegak lurus dengan bidang σ_1 - σ_3 . Rekahan geser membentuk sudut tajam ke arah σ_1 dan sudut tumpul ke arah σ_3 . Sudut antara σ_1 dan masing-masing rekahan geser adalah bervariasi, tergantung pada perbedaan besarnya sudut antara σ_1 , σ_2 , dan σ_3 , dan juga pada sifat material batuan, tetapi selalu kurang dari 45° (Rowland et al., 2007).

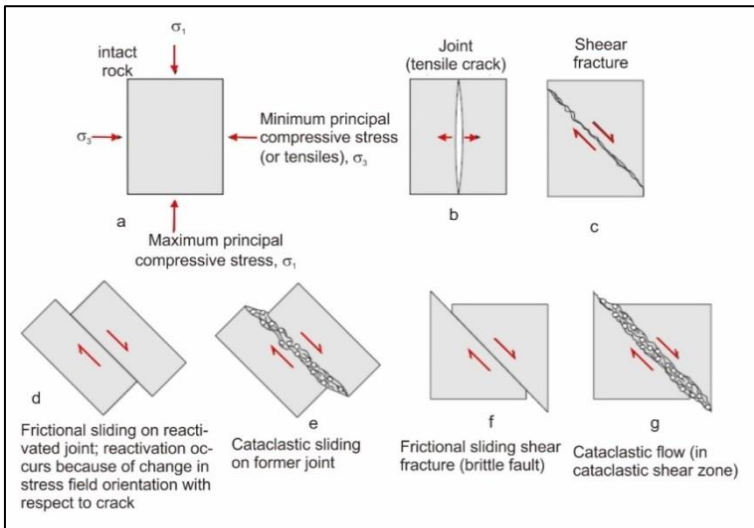
Gambar 1.2. menjelaskan berbagai macam deformasi pada batuan rapuh, menurut van Der Pluijm and Marshak (2004), bagian a) orientasi gaya-gaya utama di sekitar tubuh batuan yang masih utuh. b) *tensile crack* atau kekar tarik paralel terhadap σ_1 dan tegak lurus terhadap σ_3 ; c) *shear fracture*, terbentuk pada sudut 30° terhadap σ_1 ; d) *tensile crack* yang telah tereorientasi sebagai respon terhadap gaya di sekitarnya dan berubah menjadi sesar; e) *tensile crack* yang telah tereaktifasi menjadi *cataclastic shear zone*; f) *shear fracture* yang berevolusi menjadi sesar; g) *shear fracture* yang telah berubah menjadi *cataclastic shear zone*.



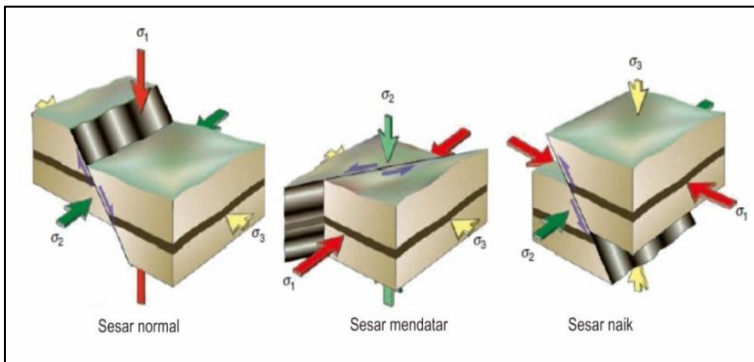
Gambar 1.1. Hubungan antara *three principal stresses* dan *conjugate shear surfaces* menurut Fossen 2010.

Anderson (1951) dalam Fossen (2010), menyatakan klasifikasi tradisional rezim stres tektonik menjadi rezim normal, naik dan *strike-slip* (Gambar 1.3). Anderson membuat asumsi bahwa, karena tidak ada tegangan geser pada permukaan bumi (*shear stres* tidak dapat terjadi dalam cairan), salah satu tegangan utama harus vertikal, menyiratkan bahwa dua lainnya horisontal. Tergantung yang mana dari tiga tegangan utama yang vertikal, Anderson menetapkan tiga rezim, seperti digambarkan pada Gambar 1.3.

Van Der Pluijm and Marshak (2004), mengulas teori Anderson mengenai pensesaran, menyatakan bahwa dalam kerangka acuan permukaan bumi, sesar mendatar/sesar geser terbentuk bila σ_1 dan σ_3 horisontal dan σ_2 vertikal. Kondisi lain akan membentuk sesar normal atau sesar naik. Sesar normal terjadi di mana σ_2 dan σ_3 horisontal dan σ_1 adalah vertikal, sesar naik terjadi di mana σ_1 dan σ_2 horisontal dan σ_3 vertikal, dan sesar mendatar terjadi bilamana σ_1 dan σ_3 horisontal dan σ_2 adalah vertikal. Selain itu, *dip* sesar naik harus $\sim 30^\circ$, kemiringan sesar normal harus $\sim 60^\circ$, dan *dip* dari sesar mendatar harus sekitar vertikal. Sebagai contoh, jika orientasi σ_1 di batas pertemuan lempeng/konvergen adalah horisontal, teori Anderson memprediksi bahwa sesar naik harus terbentuk di lingkungan ini, dan memang daerah sesar naik terbentuk di sabuk pegunungan hasil tumbukan lempeng.



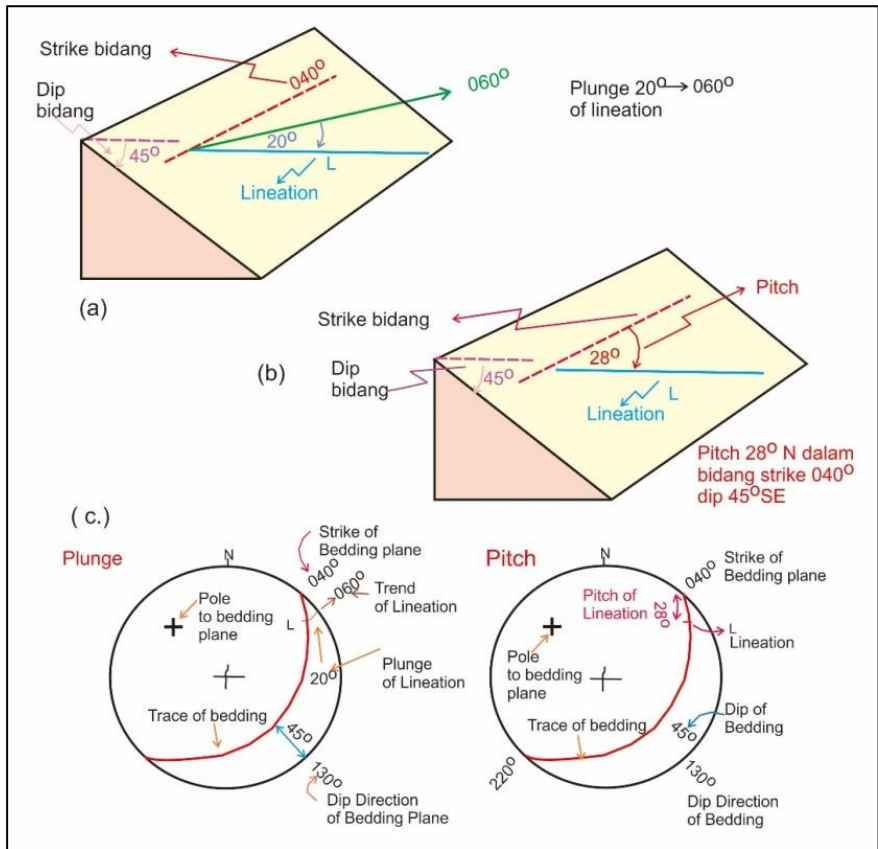
Gambar 1.2. Macam-macam deformasi rapuh menurut Van Der Pluijm and Marshak (2004)



Gambar 1.3. Hubungan antara orientasi gaya utama dan rezim tektonik menurut Anderson (1951) dalam Fossen (2010).

I.3. Identifikasi Sesar

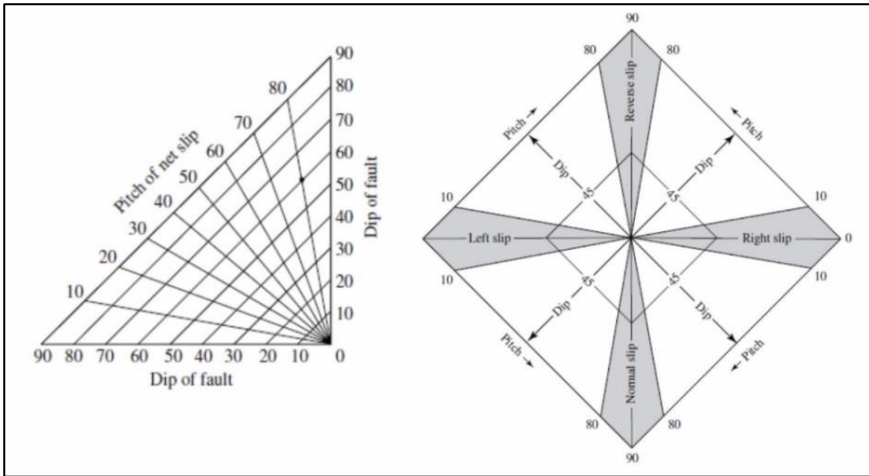
Mc Clay (2007), menggambarkan pengukuran dan penggambaran *plunge* dan *pitch* seperti dalam Gambar 1.4. Bagian (a) menjelaskan pengukuran sudut *Plunge* dari lineasi L $20^\circ \rightarrow 060^\circ$ dalam bidang sesar. Sudut 20° diukur pada bidang vertikal (azimut 060°) yang berisi lineasi L. Bagian (b) menjelaskan pengukuran *Pitch/Rake* dari lineasi L diukur sebagai 28° E dari garis Strike $N40^\circ E$ di bidang sesar. Bagian (c) menggambarkan proyeksi stereographic *lower hemisphere Plunge* dan *Pitch* dari lineasi/gores garis L.



Gambar 1.4. Pengukuran dan penggambaran *plunge* dan *pitch* oleh Mc Clay (2007).

I.4. Klasifikasi Sesar

Ragan (2009) menjelaskan klasifikasi Rickard (1972), dimana mengklasifikasikan sesar dengan pendekatan penggabungan *dip* bidang sesar dan *pitch* dari *net slip* pada diagram triangular. Tiap kemungkinan pasangan *dip-pitch* menempati posisi yang tertentu. Sebagai contoh sesar dengan dip 60° dan pitch 80° memiliki simbol indeks $D_{60}R_{80}$ (R adalah *rake/pitch* untuk menghindari kesalah pahaman dengan *plunge*). Ini kemudian ditunjukkan dengan sebuah titik pada grid trianguler (Gambar 1.5.a). Empat triangel yang berbeda diperlukan guna menggambarkan pergerakan normal, naik, mengiri dan menganan (Gambar 1.5.b).



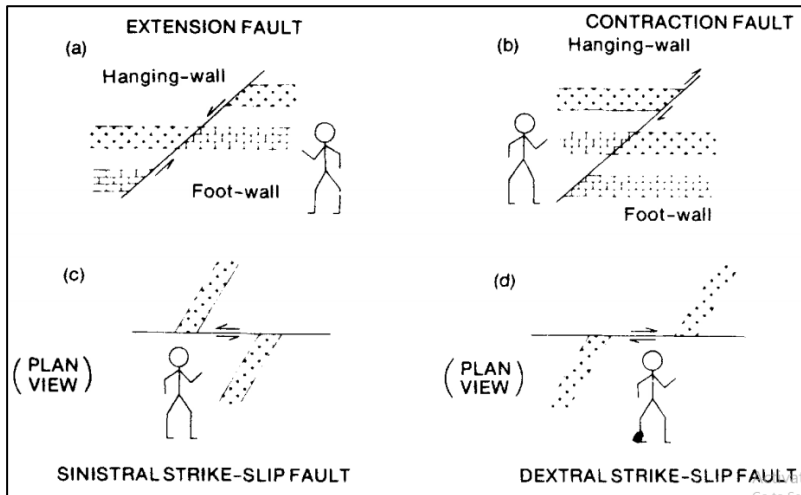
Gambar 1.5. Klasifikasi sesar menurut Rickard (1972) dalam Ragan (2009)

1.5. Pengambilan Data Sesar

Sebelum melakukan pengambilan data sesar, perlu dilakukan interpretasi kelurusan pada peta topografi, citra land-sat, *hill-shade* atau peta lainnya sebagai dasar pengumpulan data sesar di lapangan. Dalam pengumpulan/pencatatan data sesar maka semakin banyak data akan semakin akurat dalam menghasilkan hasil analisis. Unsur-unsur sesar yang di ukur adalah unsur struktur bidang, unsur struktur garis dan struktur penyerta sesar.

Pengukuran data sesar meliputi struktur bidang sesar dan struktur garis dari sesar, struktur bidang sesar mencakup *strike*, *dip* dan penentuan arah *dip*. Struktur garis pada bidang sesar meliputi besar sudut *pitch* dari gores garis (derajat), arah bukaan *pitch* (utara, selatan, barat atau timur), bila memungkinkan dilakukan pengukuran besar sudut *plunge* dan *trend* dari gores-garis.

Unsur struktur bidang sesar meliputi *strike*/jurus bidang sesar yang diukur dengan kompas geologi (N...°E) dan *dip*/kemiringan bidang sesar yang juga diukur dengan kompas geologi (...°). Unsur struktur garis dalam bidang sesar meliputi *pitch/rake* gores-garis yang diukur dengan menggunakan busur derajat (...°), arah membukanya sudut *pitch/rake* (N, E, S, W), *plunge* gores-garis diukur dengan kompas geologi (...°), *trend* gores garis dengan kompas geologi (N...°E) serta jenis pergerakan sesar (*Normal*, *Inverse*, *Sinistral* atau *Dextral*).



Gambar 1.6. Pengenalan pergerakan sesar di lapangan. (Mc Clay, 2007)

Struktur penyerta sesar dapat berupa kekar gerus, kekar tarik, breksiasi dan lipatan seretan. Kekar gerus, bersama dengan data arah umum breksiasi untuk menentukan kedudukan bidang sesar utama, menentukan arah gaya-gaya utama terbesar, menengah dan terlemah, menentukan arah *net slip*/pergeseran, *pitch/rake* gores-garis, *plunge* gores-garis/*net slip* dan menentukan jenis sesar. Kekar tarik digunakan untuk menentukan *trend* arah gaya utama terbesar dan dalam analisis stereografis untuk membantu menentukan arah pergerakan, dimana kekar tarik atau urat menyudut lancip terhadap arah pergerakan sesar. Breksiasi dari banyak pengukuran dibuat diagram kipas akan dihasilkan *trend* breksiasi dan digunakan sebagai *strike* sesar dan bersama kekar gerus untuk analisis sesar. Lipatan seretan (*drag fold*), diukur kedudukan pada kedua sayapnya dan digunakan untuk mendukung analisis sesar.

1.6. Analisis Data Sesar

Analisis data dengan menggunakan metode statistik dan proyeksi stereografis, dilakukan terhadap data breksiasi dan kekar gerus pada suatu zona sesar. Terhadap data breksiasi dapat di buat diagram bunga bidireksional, yang mana nilai arah *trend* terbesar akan menjadi *strike* sesar pada analisis sesar dengan data kekar gerus. Selanjutnya, dari data breksiasi dan kekar gerus dapat ditentukan nama sesar yang terbentuk. Terhadap hasil analisis diagram stereografis, diagram bunga, diagram kontur selanjutnya di tempatkan pada peta geologi yang telah dihasilkan. Melalui penempatan hasil analisis pada posisinya di peta geologi selanjutnya dapat dilakukan analisis dan sintesis terhadap sekumpulan hasil analisis dari berbagai lokasi pengukuran data sesar.

Tujuan dari analisis sesar yang dilakukan ini adalah untuk melakukan analisis struktur geologi dengan menganalisis kekar gerus dan mengkombinasikannya dengan data breksiasi menghasilkan nilai-nilai : *shear fracture/* SF1, SF2, σ_1 , σ_2 , σ_3 , strike sesar, *dip* sesar, bidang bantu σ_1 - σ_3 , *plunge* dan *trend net slip*, besar *pitch* dan arah bukaan, bidang bantu σ_1 - σ_2 , serta pergerakan dan nama sesar. Melalui analisis struktur ini dapat ditentukan arah umum dari gaya utama terbesar, menengah dan terkecil pembentuk sesar pada tiap-tiap lokasi pengamatan, pada tiap kelompok batuan tertentu dan pada tiap rentang umur tertentu. Melalui analisis struktur ini, juga dapat menentukan jenis sesar yang terjadi pada suatu lokasi atau pada area kelurusan struktur tertentu.

Data gores-garis yang meliputi *strike*, *dip*, sudut *pitch*, arah bukaan *pitch* dan jenis pergerakan dianalisis dengan metode grafis dihedra. Unsur struktur tersebut digambarkan pada stereonet hingga tergambar satu bidang yang memuat sudut *pitch*. Dari bidang ini kemudian dibuat sebuah bidang bantu, yang dibuat dengan menghubungkan dua titik. Titik pertama dibuat 90° dari bidang sesar (titik kutub bidang sesar) melalui pusat. Titik kedua dibuat 90° dari sudut *pitch* pada bidang sesar. Kedua titik ini dihubungkan dan menjadi satu bidang bantu.

Analisis gaya dengan metode grafis ditekankan pada penentuan arah gaya kompresi pembentuk sesar. Penentuan arah gaya ini berdasarkan prinsip bahwa sesar akan terbentuk bila bekerja gaya kompresi pada suatu batuan. Gaya ini terbentuk menyudut lancip dengan bidang sesar dan bidang bantu. Bidang bantu merupakan bidang khayal yang dibuat tegaklurus dengan bidang sesar dan juga dengan arah pergerakan sesar/gores-garis. Daerah gaya kompresi merupakan daerah yang terletak antara bidang sesar dan bidang bantu. Daerah ini tidak pernah bertampalan dengan tanda panah yang menunjukkan arah pergerakan/gores-garis. Analisis data sesar dapat dibantu dengan bantuan *software Dip* dan *Win Tensor*.

1.7. Analisis Sesar melalui Data Kekar dan Breksiasi

Analisis data dengan menggunakan metode statistik dan proyeksi stereografis, dilakukan terhadap data breksiasi dan kekar gerus pada suatu zona sesar. Terhadap data breksiasi dapat di buat diagram bunga bidireksional, yang mana nilai arah *trend* terbesar akan menjadi *strike* sesar pada analisis sesar dengan data kekar gerus. Selanjutnya, dari data breksiasi dan kekar gerus dapat ditentukan nama sesar yang terbentuk dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- 1) Mengeplotkan data kekar gerus di atas polar net.
- 2) Menghitung titik-titik hasil plotting data dengan menggunakan Kalsbek counting net.

- 3) Membuat kontur.
- 4) Membaca dua maxima dengan Polar net,
- 5) Hasil dua maxima/puncak dicatat sebagai *shear fracture*/SF 1 dan 2
- 6) Menggambarkan bidang SF 1 dan SF 2 dengan Wulf net
- 7) Dari Perpotongan SF 1 dan SF 2 diperoleh nilai σ_2 .
- 8) Membuat bidang bantu σ_1 - σ_3 dengan membuat bidang 90° dari σ_2 .
- 9) Menghitung sudut antara SF 1 dan SF 2
- 10) Bila tumpul berarti tengahnya adalah σ_3 ; bila lancip maka σ_1
- 11) Titik σ_1 dan σ_3 saling 90° , bila diperoleh salah satu akan diperoleh yang lainnya, sehingga diperoleh semua nilai σ_1 , σ_2 dan σ_3 .
- 12) Memasukkan hasil analisis diagram kipas atau diagram mawar data breksiasi, sebagai strike sesar.
- 13) Membuat dip sesar, dengan menghubungkan strike dengan σ_2 , karena secara teori σ_2 ada dalam bidang sesar.
- 14) Sehingga dihasilkan *strike* dan *dip* bidang sesar.
- 15) Kemudian dibuat bidang bantu σ_1 - σ_3 . Hal ini untuk menggambarkan netslip/gores-garis.
- 16) Membuat garis netslip dengan menghubungkan pusat lingkaran ke perpotongan bidang sesar dengan bidang σ_1 - σ_3 .
- 17) Membaca nilai net slip, plunge, trend nya. Plunge diperoleh dengan meng E-W kan garis netslip dan dibaca dari lingkaran luar. Trend diperoleh dengan memproyeksikan garis netslip ke lingkaran luar.
- 18) Membaca pitch dengan meng N-S kan bidang, dibaca pula arah membukanya pitch. Jenis sesar diketahui pergerakan mendatar atau vertikalnya.
- 19) Dibuat bidang bantu σ_1 - σ_2 .
- 20) Digambarkan arah pergerakan, geser kanan/kiri. Panah masuk pergerakan berada pada sudut lancip antara bidang σ_1 - σ_2 dengan bidang sesar.
- 21) Jenis pergeseran sesar ke kanan atau kirinya dapat diketahui.
- 22) Penggambaran panah pergerakan pada netslip bisa masuk atau keluar dari titik pusat, disesuaikan dengan jenis pergeseran sesar.
- 23) Penamaan sesar menggunakan Rickard (1972), dengan melihat dip sesar, pitch dan pergerakan horisontal/vertikal nya.

Terhadap hasil analisis diagram stereografis, diagram bunga, diagram kontur selanjutnya di tempatkan pada peta geologi yang telah dihasilkan. Melalui penempatan hasil analisis pada posisinya di peta

geologi selanjutnya dapat dilakukan analisis dan sintesis terhadap sekumpulan hasil analisis dari berbagai lokasi pengukuran data sesar.

Tujuan dari analisis sesar yang dilakukan ini adalah untuk melakukan analisis struktur geologi dengan menganalisis kekar gerus dan mengkombinasikannya dengan data breksiasi menghasilkan nilai-nilai : *shear fracture*/ SF 1, SF 2, σ_1 , σ_2 , σ_3 , *strike* sesar, *dip* sesar, bidang bantu σ_1 - σ_3 , *plunge* dan *trend net slip*, besar *pitch* dan arah bukaannya, bidang bantu σ_1 - σ_2 , serta pergerakan dan nama sesar. Melalui analisis struktur ini dapat ditentukan arah umum dari gaya utama terbesar, menengah dan terkecil pembentuk sesar pada tiap-tiap lokasi pengamatan, pada tiap kelompok batuan tertentu dan pada tiap rentang umur tertentu. Melalui analisis struktur ini, juga dapat menentukan jenis sesar yang terjadi pada suatu lokasi atau pada area kelurusan struktur tertentu.

Data gores-garis yang meliputi *strike*, *dip*, sudut *pitch*, arah bukaan *pitch* dan jenis pergerakan dianalisis dengan metode grafis dihedra. Unsur struktur tersebut digambarkan pada stereonet hingga tergambarkan satu bidang yang memuat sudut *pitch*. Dari bidang ini kemudian dibuat sebuah bidang bantu, yang dibuat dengan menghubungkan dua titik. Titik pertama dibuat 90° dari bidang sesar (titik kutub bidang sesar) melalui pusat. Titik kedua dibuat 90° dari sudut *pitch* pada bidang sesar. Kedua titik ini dihubungkan dan menjadi satu bidang bantu.

Analisis gaya dengan metode grafis ditekankan pada penentuan arah gaya kompresi pembentuk sesar. Penentuan arah gaya ini berdasarkan prinsip bahwa sesar akan terbentuk bila bekerja gaya kompresi pada suatu batuan. Gaya ini terbentuk menyudut lancip dengan bidang sesar dan bidang bantu. Bidang bantu merupakan bidang khayal yang dibuat tegaklurus dengan bidang sesar dan juga dengan arah pergerakan sesar/gores-garis. Daerah gaya kompresi merupakan daerah yang terletak antara bidang sesar dan bidang bantu. Daerah ini tidak pernah bertampalan dengan tanda panah yang menunjukkan arah pergerakan/gores-garis.

BAB II

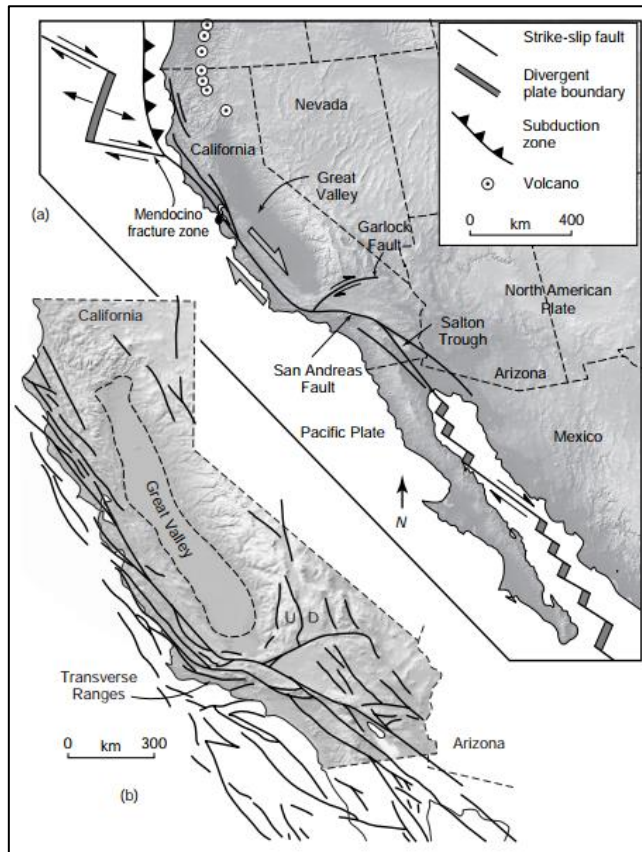
SESAR MENDATAR KANAN ATAU PATAHAN DEXTRAL

2.1. Pengertian Sesar Mendatar Kanan/Geser Kanan

Setiap tahun, beberapa gempa bumi mengejutkan penduduk California. Beberapa getaran tidak hanya menggetarkan piring di meja, tetapi kadang-kadang guncangan gempa bumi besar menghancurkan bangunan, merusak jalan, dan memicu tanah longsor. Kebanyakan gempa bumi di California terjadi dengan disertai pergeseran di suatu tempat di sepanjang zona patahan San Andreas. Zona sesar *strike-slip* ini, yang berisi sesar individu yang tak terhitung jumlahnya, mengakomodasi gerakan ke utara Lempeng Pasifik relatif terhadap Lempeng Amerika Utara (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

Sebagian besar penduduk Amerika Utara pernah mendengar tentang Sesar San Andreas, tetapi itu bukan satu-satunya zona sesar geser utama di planet ini. Sesar mendatar memotong kerak benua dan samudera di banyak tempat. Contoh di kerak benua termasuk Sesar Queen Charlotte di Kanada bagian barat, Sesar Anatolia di Turki, serta Sesar, dan Sesar Sumatra di Indonesia. Sesar *Strike-slip* di kerak samudera paling sering terjadi di sepanjang punggung tengah laut, di mana mereka berarah tegak lurus terhadap sumbu punggung tengah samudera dan segmen penghubung dari punggung.

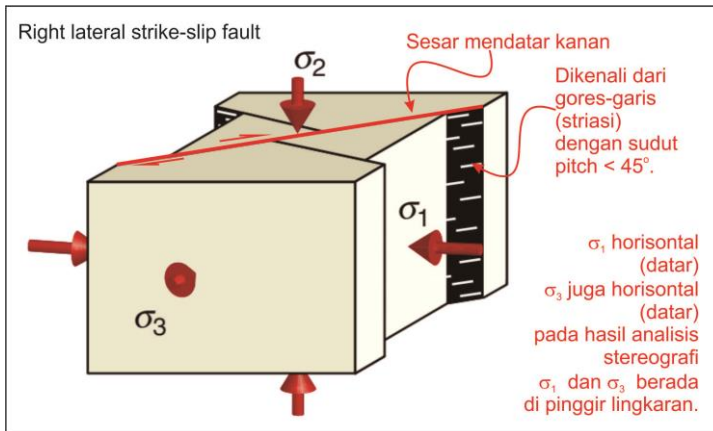
Sesar mendatar kanan/sesar dextral adalah sesar di mana semua perpindahan terjadi dalam arah yang sejajar dengan *strike* sesar (garis *slip* pada sesar mendatar adalah horizontal) dimana bila pengamat berada di satu sisi blok, bagian blok di depan pengamat bergerak ke arah kanan atau bila pengamat berdiri di garis sesar maka bagian kanan akan bergerak ke pengamat. Perpindahan *strike-slip* ini tidak menghasilkan pengangkatan atau penurunan batuan. Di dunia nyata, gerakan *strike-slip* biasanya disertai dengan komponen pemendekan atau ekstensi. Secara khusus, *transpression* terjadi dimana terdapat kombinasi gerakan *strike-slip* dan pemendekan, dan dapat menghasilkan *uplift* sepanjang sesar. *Transtension* terjadi di mana terdapat kombinasi gerakan *strike-slip* dan ekstensi, dan dapat menghasilkan penurunan sepanjang jalur sesar.



Gambar 2.1. Sesar geser kanan San Andreas di Amerika Serikat dan Mexico. (a) Peta regional batas lempeng antara Lempeng Amerika Utara dan Lempeng Pasifik. Patahan San Andreas adalah zona sesar geser kanan yang menjadi batas lempeng ini di California. (b) Pembesaran sesar San Andreas di California, menunjukkan sesar geser utama. J&F = Juan Plat de Fuca (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

2.2. Genesa Sesar Mendatar Kanan/Geser Kanan

Sesar *strike-slip* (Van Der Pluijm and Marshak, 2004) adalah setiap patahan yang vektor perpindahannya sejajar dengan *strike* sesar, dalam posisi permukaan saat ini. Penggunaan istilah ini murni geometris, dan tidak memiliki konotasi genetik, tektonik, atau ukuran. *Transcurrent-fault* adalah patahan *strike-slip* yang memiliki ciri-ciri sebagai berikut: berujung disepanjang panjang patahan; perpindahan melintasinya kurang dari panjang sesar; panjang patahan meningkat seiring waktu dan gerakan terjadi terus menerus; perpindahan batuan pada sesar paling besar terjadi di pusat jejak sesar dan menurun menuju titik akhir (ujung) sesar.



Gambar 2.2. Pembentukan sesar geser kanan yang biasanya berpasangan dengan sesar geser kiri akibat gaya σ_1 dan σ_3 horisotal (Fossen 2010).

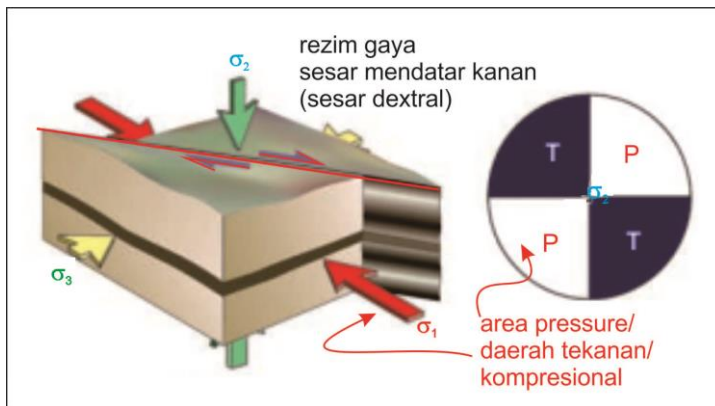
Transform-fault adalah sesar mendatar yang memiliki karakteristik sebagai berikut: sekali terbentuk, *displacement* dapat konstan sepanjang sesar; perpindahan/ *displacement* sepanjang sesar bisa jauh lebih besar dari pada panjang sesar aktif; panjangnya bisa konstan, bertambah, atau berkurang seiring waktu; sesar ini berakhir pada sesar lain. Sesar transform dapat berupa batas lempeng litosfer, dalam hal ini patahan tersebut berakhir pada perpotongan dengan batas lempeng lainnya. *Wrench-fault* adalah sinonim tradisional untuk sesar mendatar, biasa digunakan dalam literatur geologi perminyakan, biasanya mengacu pada sesar mendatar di benua dalam skala regional. Istilah ini bisa diabaikan karena cenderung digunakan secara tidak konsisten.

Sesar geser kanan/dextral umum terjadi bersamaan dengan sesar mendatar kiri/sinistral akibat gaya pembentukan yang sama. Kasus deformasi sederhana (Fossen 2010) adalah regangan bidang (*plane strain*) yang dinyatakan dalam sistem sesar konjugasi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 untuk rezim tektonik kompresional, sistem konjugasi memiliki dua set sesar yang berlawanan di mana gores-garisnya tegak lurus terhadap garis perpotongan sesar. Kecenderungan pergerakan (*sense of slip*) saling melengkapi pada dua set, dan sudut antara dua set harus konstan. Menurut kriteria patahan Coulomb, yang menyatakan bahwa patahan atau sesar geser terbentuk pada sudut σ_1 yang dikendalikan oleh gesekan internal batuan, sudut antara dua set harus konsisten dengan sifat mekanik batuan (dan tekanan fluida pori) pada saat deformasi.

Fossen (2010) menggambarkan area gaya kompresi (σ_1) dan gaya tarik (σ_3) pada system *dextral*/mendatar menganan dalam stereonet (Gambar 2.3). Pada hasil penggambaran dalam sereonet, daerah gaya

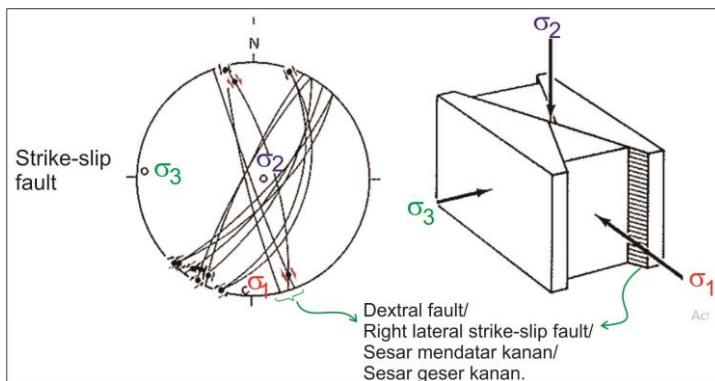
utama (*stress* terkuat atau P) atau area gaya σ_1 berada di area tepi lingkaran stereonet. Gaya utama terkuat yang berarah horizontal ini akan membentuk pasangan sesar mendatar. Daerah tarikan atau area gaya terlemahnya juga dalam arah horizontal di tepi lain lingkaran stereonet. Gaya menengah pembentuk sesar atau σ_2 berada pada area tengah lingkaran stereonet atau berarah vertikal. Ketiga gaya utama ini saling tegaklurus atau membentuk sudut 90 derajat.

Suppe (1985) memberikan contoh penggambaran blok diagram sesar dextral yang berpasangan pada stereonet (Gambar 2.4). Sesar dextral dengan *strike* baratlaut-tenggara (NW-SE) dan *dipping* atau kemiringan hampir vertikal digambarkan bersama pasangannya. Pasangan sesar tersebut adalah sesar sinistral dengan *strike* kearah timurlaut (NE).



Gambar 2.3. Hubungan antara orientasi tegangan utama (rezim tegangan) dan rezim tektonik menurut Anderson (1951) dalam Fossen (2010).

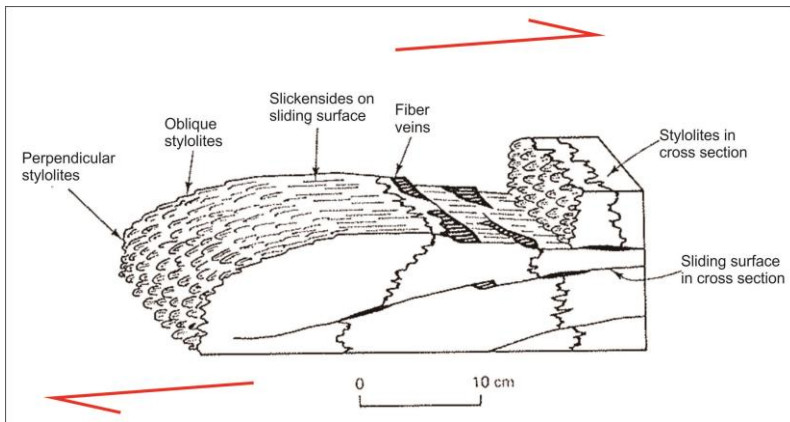
Stereonet menunjukkan area kompresi (P) dan tarikan (T).



Gambar 2.4. Pembentukan sesar geser kanan dan penggambaran bidang sesar pada stereonet (Suppe, 1985 dan Rowland et al, 2007).

Tanda panah gores-garis pada bidang sesar digambarkan mengarah kekanan. Daerah gaya utama kompresional (σ_1) bersifat horizontal berasal dari arah selatan. Daerah gaya utama terlemah (σ_3) bersifat horizontal juga, berada di tepi sebelah barat stereonet. Desakan horizontal dengan area tarikan horizontal akan menghasilkan sesar mendatar. Arah σ_2 searah dengan perpotongan kedua bidang sesar berarah vertical.

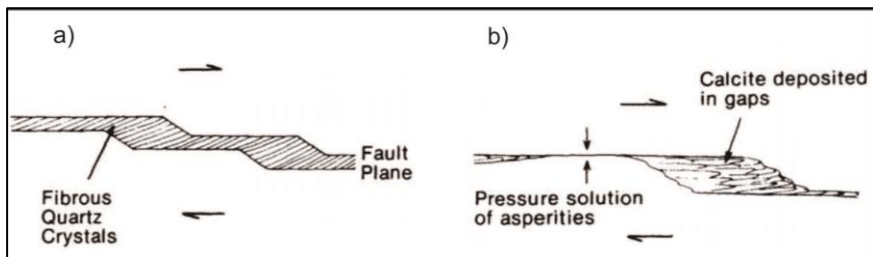
2.3. Kenampakan Sesar Mendatar Kanan/Geser Kanan



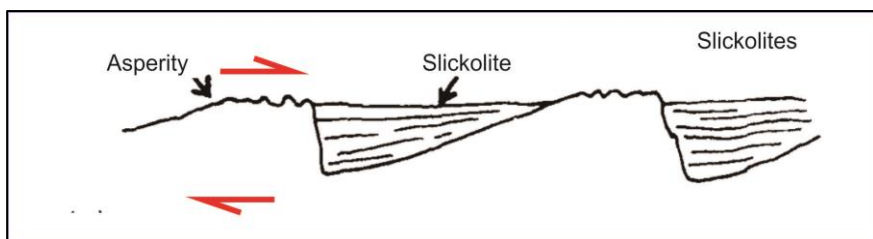
Gambar 2.5. Kenampakan gores-garis dan stylolite pada sesar mendatar kanan (Suppe, 1985).

Gambar 2.5. (Suppe, 1985) menunjukkan kehadiran *stylolite* yang merupakan permukaan bergerigi (*toothed shape*) dan *slickenside* (gores-garis). *Stylolite* dapat tegaklurus (*perpendicular*) terhadap gerakan sesar ataupun miring (*oblique*). Gigi *stylolite* searah (normal) terhadap rekahan awal, yang mana rekahan ini tegaklurus terhadap gaya kompresi utama, namun sumbu gigi *stylolite* ini akan miring terhadap permukaan rekahan yang mengalami riwayat *shear stress* yang panjang. Orientasi sumbu gigi *stylolite* relatif teratur, kemungkinan paralel terhadap arah gaya utama terkuat (σ_1).

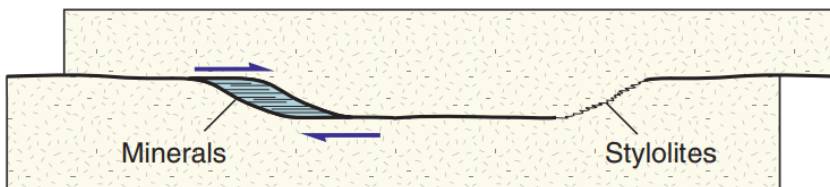
McClay (2007) menyebutkan bahwa *slickensides* (gores-garis) dan *grooving* (gerusan) umumnya terkait dengan deformasi brittle. *Slickensides* sering terdiri dari kristal berserat yang membentang dari satu sisi bidang patahan ke yang lain (Gambar 2.6.a). Dalam batuan karbonat yang tersesarkan, struktur linier yang disebut *slickolites* dibentuk oleh larutan yang terkena tekanan dari bagian gundukan/tonjolan (*asperities*) di bidang sesar dan pengendapan kembali kalsit berserat di bagian celah (Gambar 2.6.b).



Gambar 2.6. Pembentukan slickenside dan slickolite a). Pembentukan sebagai serat kristal kuarsa yang menghubungkan sisi seberang tangga sesar; b). Slickolites terbentuk pada permukaan ruang antar step fault. (McClay, 2007)

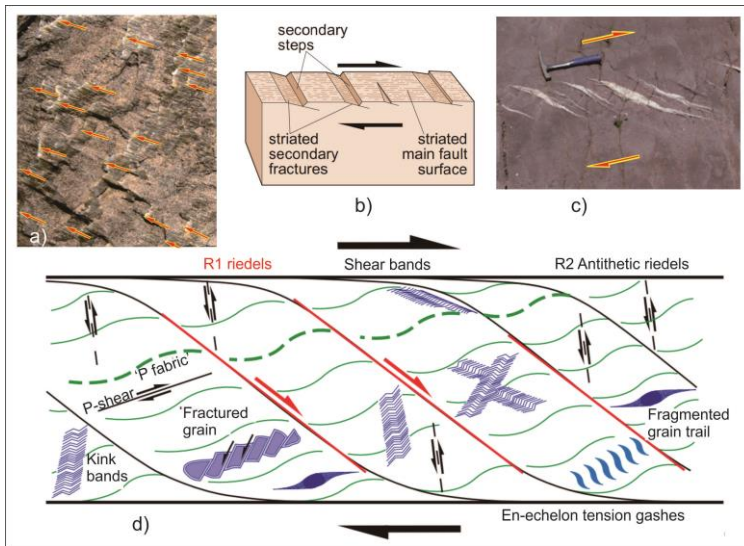


Gambar 2.7. Kenampakan slickolite. Slickolites menunjukkan pergeseran sepanjang bidang stylolite yang menghilangkan asperities (tonjolan) dengan larutan hasil tekanan dan pengendapan bahan pembentuk urat (vein) di bagian yang cekung (juga lihat gambar sebelumnya). McClay (2007)

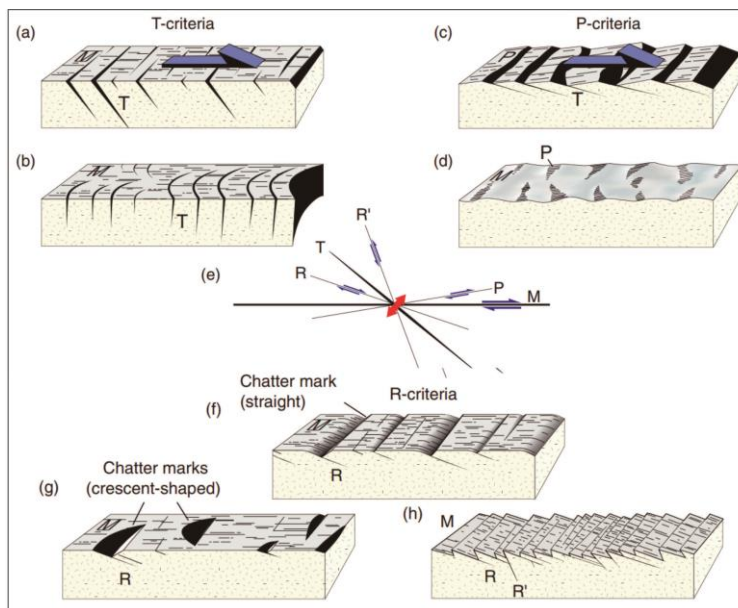


Gambar 2.8. Ketidakteraturan sepanjang patahan menciptakan jejak tangga di mana pertumbuhan mineral atau struktur pemendekan (stylolite) dapat terbentuk. (Fossen, 2010)

McClay (2007) menyebutkan bahwa stilolit (*stylolites*) umumnya membentuk normal terhadap gaya utama σ_1 , tetapi bentuk miring dapat pula terjadi. Stilolit yang miring ke σ_1 dapat terbentuk di zona *slip* paralel-lapisan dan terjadi bersama-sama dengan bentukan tangga akresi urat. Ini disebut *slickolites* dan dapat digunakan untuk menentukan arah gerakan pada bidang *slip*.



Gambar 2.9. Kenampakan sesar dextral di lapangan (Coe, 2010).



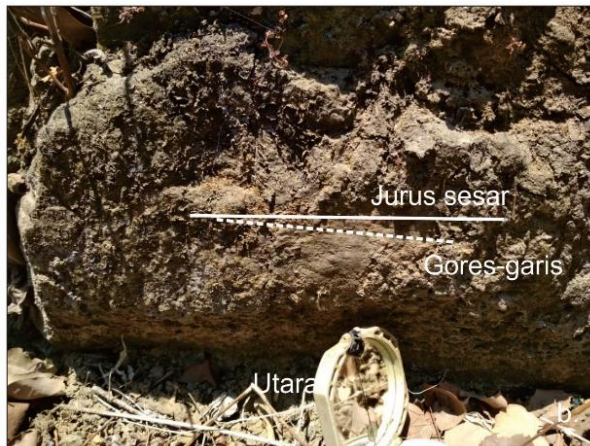
Gambar 2. 10. Kriteria kinematik sepanjang sesar dekstral dengan rekahan atau kekasaran permukaannya. Nomenklatur umum untuk rekahan dalam sistem sesar geser digunakan (R, R', P, T dan M fractures). R, Riedel shears; P, shear fractures; T, extension fractures; M, average slip surface (fault). Identifikasi jenis rekahan/kekar/fraktur bawahan membantu menginterpretasikan gerakan pada patahan utama. Berdasarkan Petit (1987) dalam Fossen (2010).

Coe (2010) dalam Gambar 2.9 menggambarkan kenampakan sesar mendatar kanan/*dextral* di lapangan. Foto gores-garis pada bagian (a) tanda panah menandai setiap *step*/tangga dan menunjukkan arah *slip* dari blok yang hilang (*missing block*) pada *slickenside* ini. Bidang pandang foto ini adalah 6 cm. Bagian (b) rekahan sekunder dapat berkembang dan menghasilkan jejak tangga yang berlawanan dengan gambar “a”. Bagian (c) adalah pola urat *en echelon* menunjukkan pergeseran relatif. Bagian (d) menggambarkan beberapa fitur dalam zona sesar geser kanan yang lebih luas yang dapat digunakan untuk mendiagnosis pergeseran (*Riedel fractures*, *antithetic Riedel fractures*, *gouge fabrics*, *broken clasts*).

2.4. Analisis Sesar Mendatar Kanan/Geser Kanan

Analisis gaya-gaya pembentuk dan pergerakan sesar dapat dilakukan dengan mengetahui arah-arah bresiasi disertai kekar-kekar gerus yang berkembang di sepanjang jalur sesar. Analisis juga dapat dilakukan dengan mengetahui unsur-unsur sesar dalam bidang sesar seperti *strike/dip* sesar dan gores-garis (besar sudut *pitch*, arah bukaan *pitch* dan jenis pergerakan).

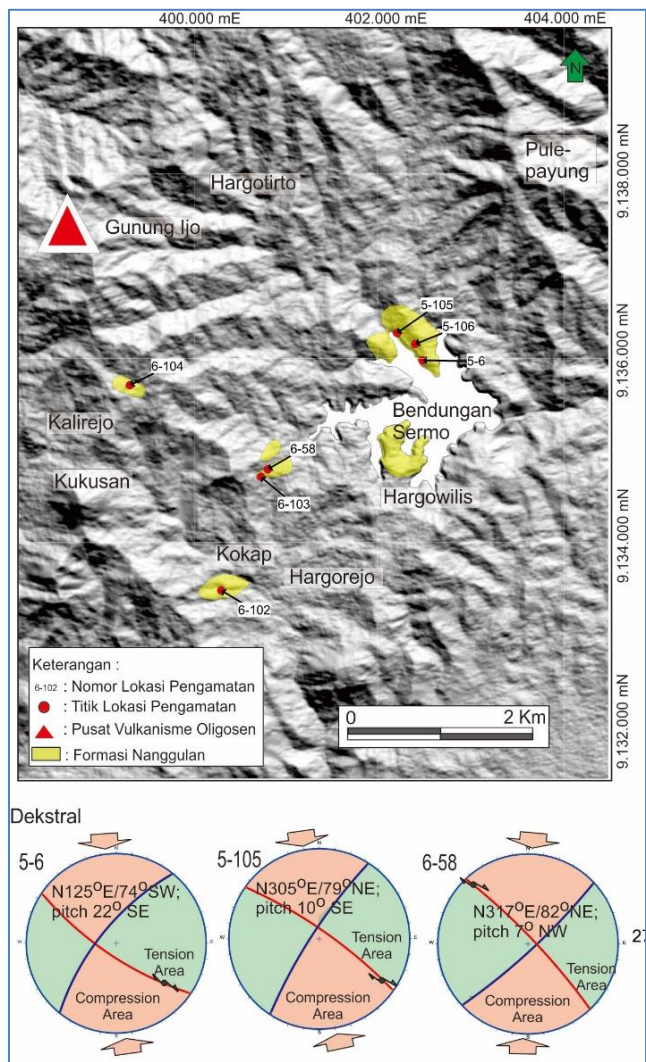
Sebuah sesar *dextral* memiliki berkedudukan N317°E/82°NE, *pitch* 07° membuka ke arah NW (Gambar 2.11). Hasil analisis gores-garis ini menunjukkan nilai σ_1 :01°/183°E, σ_2 :79°/N089°E dan σ_3 :11°/N273°E (Tabel 2.1). Hasil analisis seluruh data gores-garis sesar dekstral menunjukkan pengaruh gaya kompresional berarah Utara-Selatan yang membentuknya. Kombinasi arah gaya-gaya (σ_1 dan σ_3) ini membentuk sesar dekstral NW-SE.



Gambar 2.11. Kenampakan gores-garis pada Pandangan ke baratdaya terhadap bidang sesar dekstral N317°E/82°, *pitch* 7° ke baratlaut.

Tabel 2.1. Hasil analisis struktur sesar sinistral dan dekstral pada batuan Eosen

Lokasi	Strike	Dip	Pitch	Arah pitch	Perge- rakan	σ_1	σ_2	σ_3
5-6	125	74	22	SE	Dekstral	03°/ N174°E	63°/ N270°E	27°/ N082°E
5-105	305	79	10	SE		15°/ N169°E	75°/ N353°E	01°/ N259°E
6-58	317	82	7	NW		01°/ N183°E	79°/ N089°E	11°/ N273°E



Gambar 2.12. Analisis gores-garis sesar dekstral pada batuan Eosen di sebelah barat Yogyakarta menunjukkan gaya kompresional berarah utara-selatan sebagai pembentuknya.

2.5. Sistem Sesar Mendatar Kanan/Geser Kanan

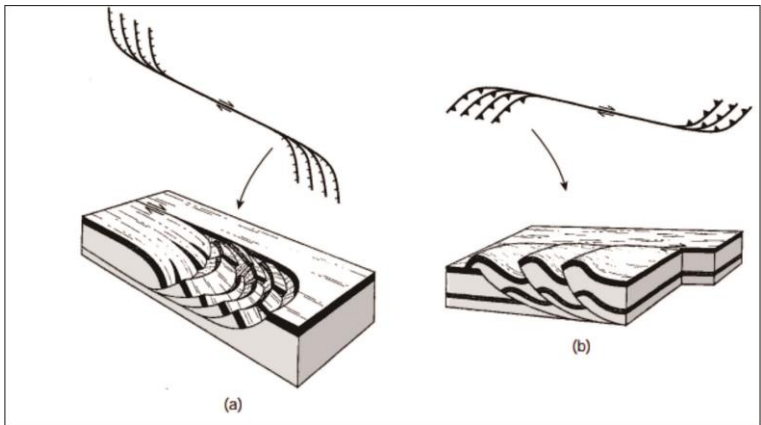
Sesar geser kanan *transcurrent* akan berhenti dan hilang di sepanjang jalur sesar. Ini berarti bahwa pada titik akhir sesar *transcurrent*, sesar tidak berhenti secara tiba-tiba pada sesar lain, tetapi menyebar ke dalam susunan sesar-sesar yang lebih kecil (kadang-kadang disebut ekor kuda), atau menghilang begitu saja ke dalam zona regangan plastis. Biasanya, sesar yang terdiri dari ekor kuda melengkung. Tergantung pada arah kelengkungan sehubungan dengan kecenderungan pergerakan, pergerakan naik atau normal terjadi pada patahan ekor kuda, dan gerakan ini akan disertai dengan lipatan dan pengangkatan dimana ada komponen naik, atau dengan pemiringan dan penurunan di mana ada komponen normal (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

Van Der Pluijm and Marshak (2004) juga menggambarkan sebuah *stepover* sepanjang sesar *strike-slip* menganan. Pada Gambar 2.14.a disajikan sketsa peta yang menunjukkan bagaimana sesar geser dekstral regional dapat didistribusikan sepanjang segmen patahan yang tidak segaris atau sebidang. Slip/pergeseran ditunjukkan dari satu segmen ke segmen lainnya pada bagian ujung/*stepover*. Dalam Gambar 2.14.b pada bagian *restraining stepover*, kompresi dan dorongan terjadi. Dalam Gambar 2.14.c pada bagian *releasing stepover*, terjadi perpanjangan dan penurunan (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

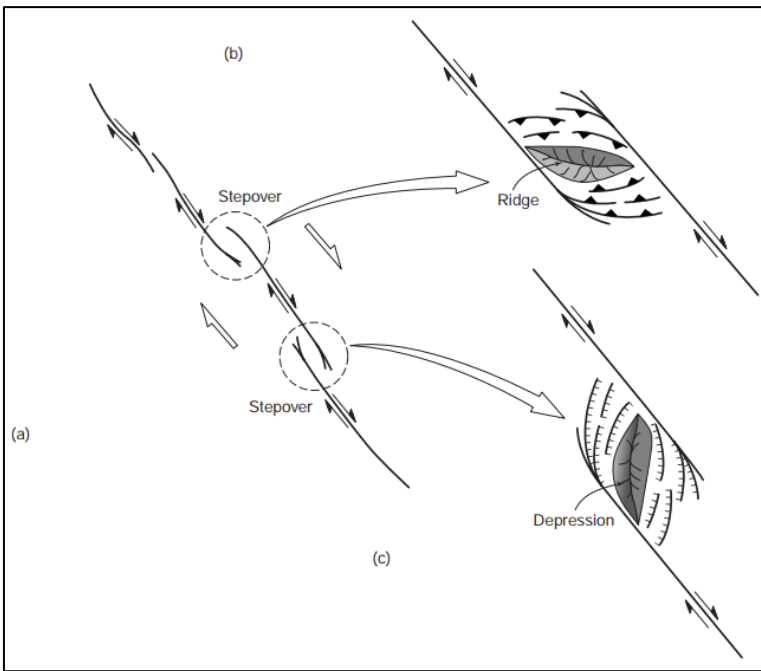
Van Der Pluijm and Marshak (2004) dalam Gambar 2.15. menggambarkan sebuah model laboratorium perkembangan sesar mendatar kanan/dextral. Bagian (a) adalah kondisi sebelum deformasi terjadi, *clay cake*/tanah liat bertumpu pada dua balok kayu yang ditekan bersama. Tanah liat mewakili kerak paling atas yang lemah, dan balok kayu mewakili kerak bawah yang lebih kuat. Batas vertikal antara dua blok merupakan sesar mendatar kanan. Kondisi (b) adalah saat deformasi dimulai, *Riedel shear* berkembang di *clay cake*/tanah liat. Bagian (c) adalah tampilan peta dari permukaan atas *clay cake*/kue tanah liat, menunjukkan tahap deformasi selanjutnya, di mana *Riedel shear* telah dihubungkan oleh rekahan P. Sebuah rekahan yang terus-menerus berkembang. (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

Selanjutnya Van Der Pluijm and Marshak (2004) dalam Gambar 2.16. mengemukakan sebuah model regangan yang menjelaskan asal usul struktur sekunder di sepanjang sesar *strike-slip* menganan. Bagian (a) adalah tampilan peta dari model geser dekstral. Persegi menjadi jajaran-genjang, dan lingkaran di dalam bujur sangkar menjadi elips. Bagian (b) adalah detail pada regangan elips menunjukkan bahwa lipatan dan sesar naik terbentuk tegak lurus terhadap arah pemendekan, sedangkan sesar normal dan urat terbentuk tegak lurus terhadap arah perpanjangan. R dan R' shear terbentuk pada sudut lancip terhadap arah pemendekan. Bagian (c) menunjukkan bahwa R dan R' serupa dengan patahan geser konjugasi

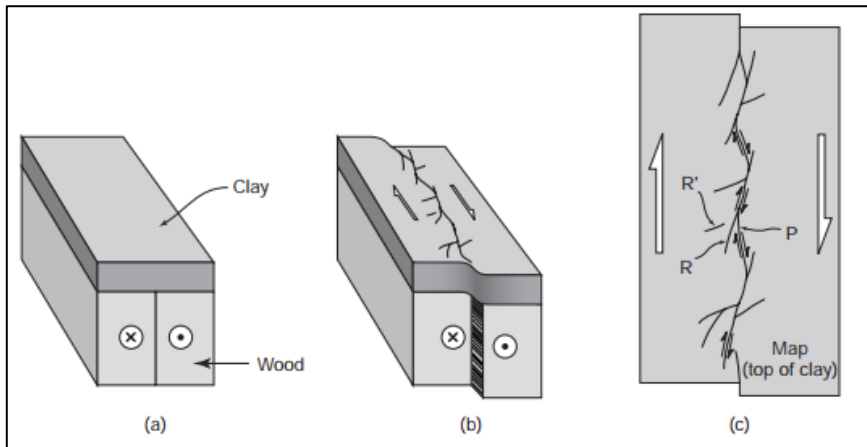
yang terbentuk dalam silinder batuan yang dikenai tegangan aksial. Pada bagian (d) kita dapat mensimulasikan pembentukan lipatan *en-eselon* dengan selembar kertas (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).



Gambar 2.13. Ujung sesar mendatar kanan a) sesar berujung pada struktur horsetail/ekor kuda yang berupa sesar normal b) sesar berakhir pada horsetail berupa sesar naik (Van Der Pluijm and Marshak, 2004)

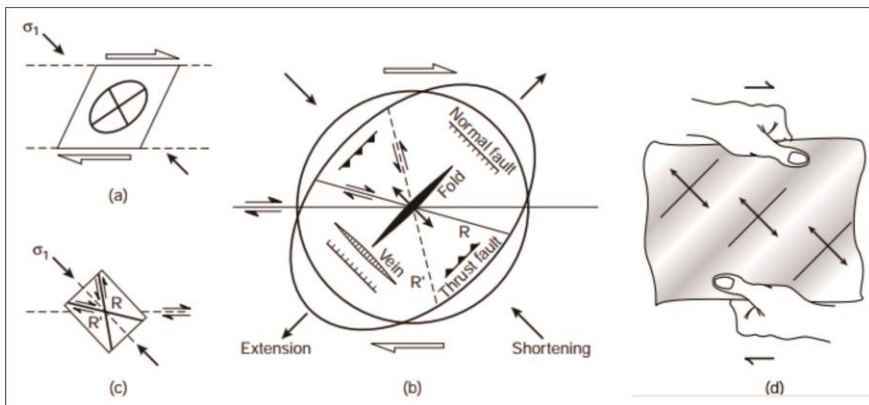


Gambar 2.14. Sebuah *stepover* sepanjang sesar *strike-slip* menganan (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

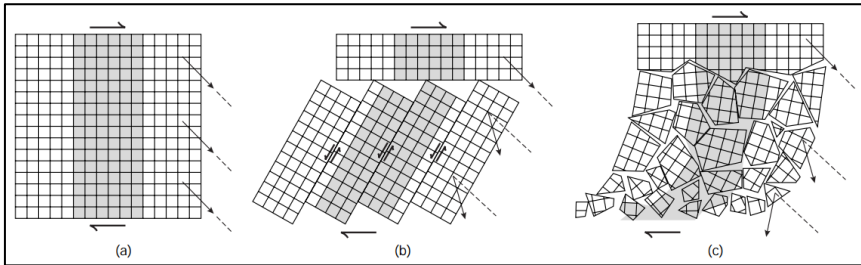


Gambar 2.15. Sebuah model laboratorium perkembangan sesar mendatar kanan. (Van Der Pluijm and Marshak, 2004)

Pada Gambar 2.17. diilustrasikan mekanisme rotasi blok di zona *strike-slip* mengkanan. Pada bagian (a), tampilan peta dari kisi-kisi yang mengalami sesar geser dekstral sederhana. Pada bagian gambar (b), garis kisi-kisi berputar, blok yang dibatasi patahan dapat berputar utuh saat *slip* pada patahan pembatas meningkat (model rak buku). Pada bagian (c), zona patahan dapat pecah menjadi blok-blok yang lebih kecil yang berotasi dengan jumlah yang berbeda. Dalam hal ini, rotasi besar dapat terjadi secara lokal. Jumlah rotasi dapat dilacak oleh deklinasi paleomagnetik di setiap blok (panah padat) relatif terhadap arah referensi (garis putus-putus). (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).



Gambar 2.16. Sebuah model regangan menjelaskan asal usul struktur sekunder di sepanjang sesar strikelip mengkanan. (Van Der Pluijm and Marshak, 2004)



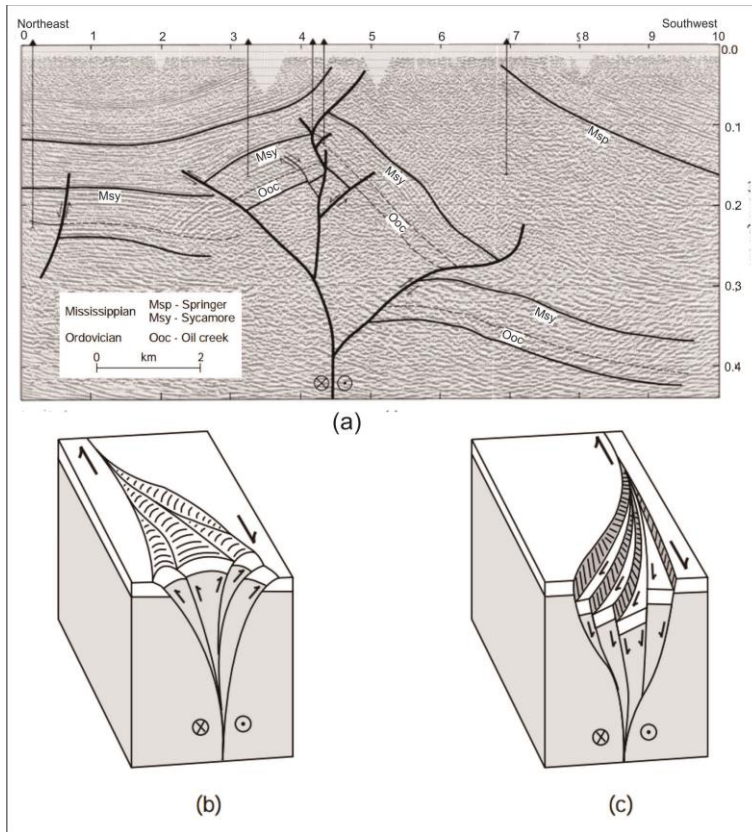
Gambar 2.17. Mekanisme rotasi blok di zona strike-slip mengkanan.
(Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

Studi seismik-refleksi (Van Der Pluijm and Marshak, 2004) dari sesar mendatar besar di area benua menunjukkan bahwa sesar-sesar penyerta di zona *transpressional* atau *transtensional* dalam sistem *strike-slip* cekung ke bawah, dan bergabung menyatu pada kedalaman ke bidang sesar vertikal utama (Gambar 2.18.a). Dengan demikian, pada penampang melintang, sesar mendatar utama akan menyerupai profil sebuah bunga, dengan kelopak terentang keluar dari puncak tangkai. Oleh karena hal itulah konfigurasi sesar ini disebut sebagai struktur bunga (*flower structure*). Di zona *transpressive*, struktur bunga positif berkembang, di mana slip pada sesar penyerta/cabang memiliki komponen pergerakan naik/*thrust-sense* (Gambar 2.18.b); sedangkan di zona *transtensional*, struktur bunga negatif berkembang, di mana slip pada sesar turunan memiliki komponen pergerakan turun atau *normal-sense* (Gambar 2.18.c).

Di banyak lokasi, *transpression* dan *transtension* terjadi di tikungan/kelokan yang berbeda di sepanjang jejak sesar *strike-slip*. Untuk mengetahui alasannya, gambaran sesar secara keseluruhan dengan *strike* timur-barat, sejajar dengan trend vektor perpindahan regional (Gambar 2.19 a dan b). Sepanjang segmen patahan yang memiliki *strike* timur-barat, gerakan pada sesar dapat diakomodasi oleh gerakan *strike-slip* saja, karena bidang patahan sejajar dengan vektor perpindahan regional. Tetapi pada tikungan/kelokan sesar (*fault bend*), di mana *strike* sesar menyimpang dari arah timur-barat, bidang sesar tidak sejajar dengan vektor perpindahan regional, dan harus ada *transpression* atau *transtension*, tergantung pada orientasi tikungan/kelokannya.

Sebuah tikungan (*bend*) di mana *transtension* terjadi disebut tikungan pelepas (*releasing bend*) karena, pada tikungan seperti itu, dinding patahan yang berlawanan saling tarik-menarik (Gambar 2.19.a). Sebagai konsekuensi dari gerakan ini, sesar normal berkembang, dan blok kerak yang berdekatan dengan kelokan/tikungan ambles (*subside*). Pergeseran pada belokan pelepas (*releasing bend*) menghasilkan struktur bunga negatif atau, dalam kasus di mana belokan besar, dan sejumlah

besar ekstensi telah terjadi, disebut cekungan tarik (*pull-apart basin*). Cekungan *pull-apart* adalah cekungan berbentuk belah ketupat, terbentuk di sepanjang tikungan pelepas (*releasing bend*) dan diisi dengan sedimen yang terkikis dari batas/marginnya.



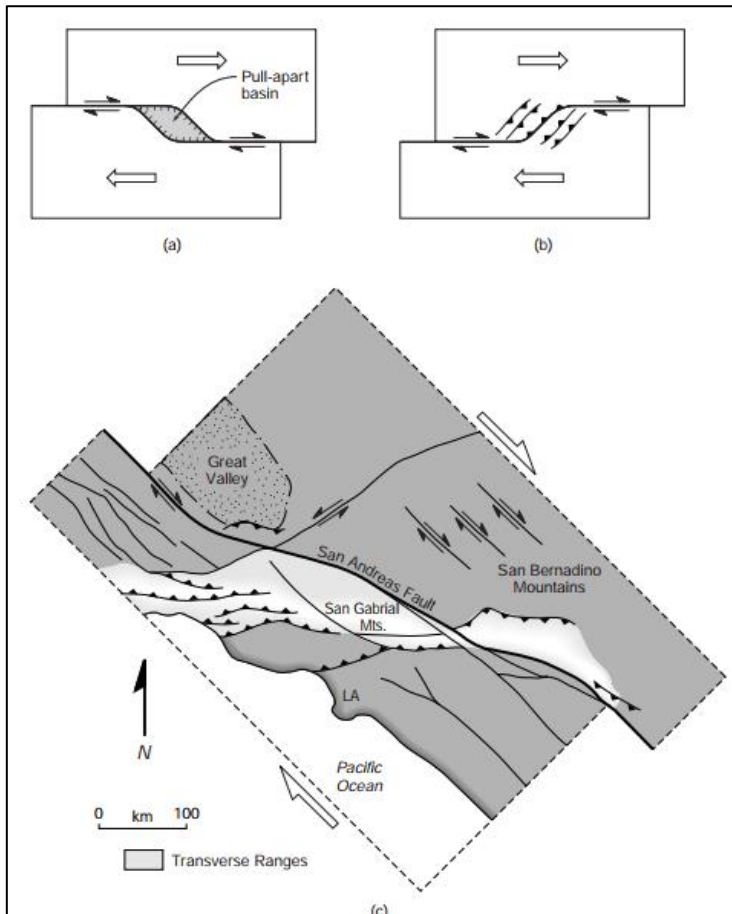
Gambar 2.18. Profil bawah permukaan sesar dextral. (a) Profil seismic refleksi yang memotong sesar dextral dengan struktur bunga positif. (b) Blok diagram model struktur bunga positif. (c) Blok diagram model struktur bunga negatif. (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

Dimensi dan jumlah subsidensi dalam cekungan *pull-apart* tergantung pada ukuran belokan dan jumlah perpanjangan/*extension*. Khususnya, pembentukan cekungan *pull-apart* kecil melibatkan (*brittle-faulting*) patahan getas hanya di kerak atas, tetapi pembentukan cekungan *pull-apart* besar melibatkan penipisan mantel litosfer, sehingga setelah ekstensi berhenti, rantai cekungan secara termal mereda (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

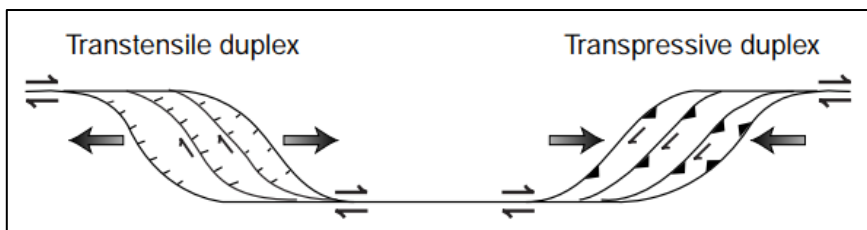
Sebuah tikungan (*bend*) di mana transpresi terjadi disebut tikungan penahan (*restraining bend*), karena segmen sesar di tikungan menghambat gerakan (Gambar 2.19.b). Dengan kata lain, pada belokan penahan, potongan-potongan kerak di sisi berlawanan dari sesar mendorong bersama, menyebabkan pemendekan kerak (*crustal shortening*). Sepanjang tikungan penahan skala regional, sabuk sesar naik-lipatan (*fold-thrust belt*) dapat terbentuk, menyebabkan pengangkatan pegunungan melintang (yaitu, pegunungan yang berarah menyudut ke jalur sesar regional). Misalnya, Transverse Ranges di utara Los Angeles di California selatan berkembang karena pemendekan melintasi tikungan penahan (*restraining bend*) yang luas di sepanjang Sesar San Andreas (Gambar 2.19.c) (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

Baik tikungan penahan (*restraining bend*) dan tikungan pelepas (*releasing bend*) dapat ada secara bersamaan di lokasi yang berbeda di sepanjang sesar yang sama. Akibatnya, daerah kerak yang bergerak di sepanjang patahan pada suatu waktu dapat mengalami transtensi dan kemudian, di lain waktu, mengalami transpresi. Ketika ini terjadi, struktur bunga negatif, atau cekungan tarik yang terbentuk di tikungan pelepas, menjadi terbalik dan berubah menjadi struktur bunga positif, dan sesar normal yang berbatasan dengan cekungan pullapart menjadi *reverse fault*/sesar terbalik/sesar naik. Pembalikan menyebabkan sedimen yang telah diendapkan dalam struktur bunga negatif atau cekungan tarik-pisah bergerak naik ke atas dan melewati batas zona sesar mendatar (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

Sebuah dupleks *strike-slip* (*strike-slip duplex*) terdiri dari susunan beberapa patahan yang sejajar dengan tikungan pada sesar *strike-slip* (Gambar 2.20). Geometri tampilan peta dari *strike-slip duplex* menyerupai geometri penampang dari *thrust-fault duplex* atau *normal-fault duplex*. Dupleks *strike-slip* yang terbentuk pada belokan penahan juga dapat disebut dupleks transpressive, sedangkan dupleks yang terbentuk pada belokan pelepas juga dapat disebut dupleks transtensil (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).



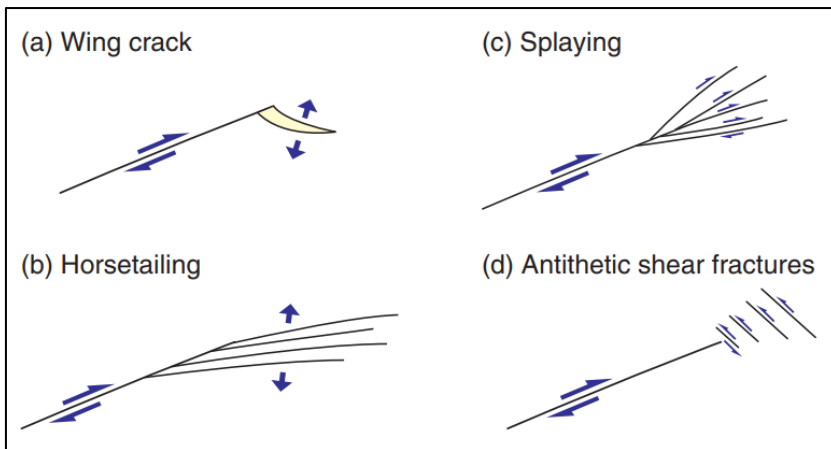
Gambar 2.19. Model tampilan peta dari sesar melengkung di sepanjang sesar *strike-slip*. a) Lekukan pelepas dimana sesar normal dan cekungan pullapart telah terbentuk. (b) Tikungan penahan di mana patahan dorong telah terbentuk. (c) Penerapan model ini pada Sesar San Andreas di utara Los Angeles (LA). (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).



Gambar 2.20. Sketsa tampilan peta dari strike-slip duplex yang terbentuk di sepanjang sesar strike-slip dextral (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

Fossen (2010) menyebutkan bahwa studi tentang ujung sesar geser mengungkapkan bahwa kadang-kadang sesar menjadi dua atau lebih dengan orientasi baru dan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.21, spektrum geometri rekahan yang berbeda dapat ditemukan. Kita telah melihat *wing-crack* (retakan sayap), yang merupakan sesar tarik pada ujung sesar geser (Gambar 2.21.a). *Wing crack* diwakili oleh satu atau beberapa sesar turun pada setiap ujung sesar utama (*strike-slip fault*) dan berhubungan dengan penurunan pergeseran ke arah ujung. Dalam kasus lain, biasanya sesar normal terjadi di zona ujung. Sesar ini terbentuk secara asimetris dengan sesar utama dan disebut sebagai patahan ekor kuda (*horsetail fracture*) (Gambar 2.21. b). Jika rekahan sekunder di zona ujung menunjukkan pelebaran berbentuk kipas dari rekahan utama, maka istilah yang umum digunakan adalah *splay fault*/sesar melebar (Gambar 2.21.c). Sementara sesar *splay fault* adalah sintetik terhadap sesar utama, rekahan antitetik juga dapat terjadi di zona ujung rekahan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.21.d.

Sebagian besar ujung sesar (*tip-zone*) ini menyiratkan bahwa energi rekahan utama didistribusikan ke sejumlah permukaan rekahan. Ini berarti energi pada setiap patahan berkurang, yang menghambat pertumbuhan patahan lanjutan. Evolusi patahan ekor kuda (*horsetail*) yang jelas atau patahan melebar (*splaying*) dapat menahan patahan utama dan menghentikannya atau setidaknya menghentikan perambatan lebih lanjut dari ujung patahan (Fossen 2010).

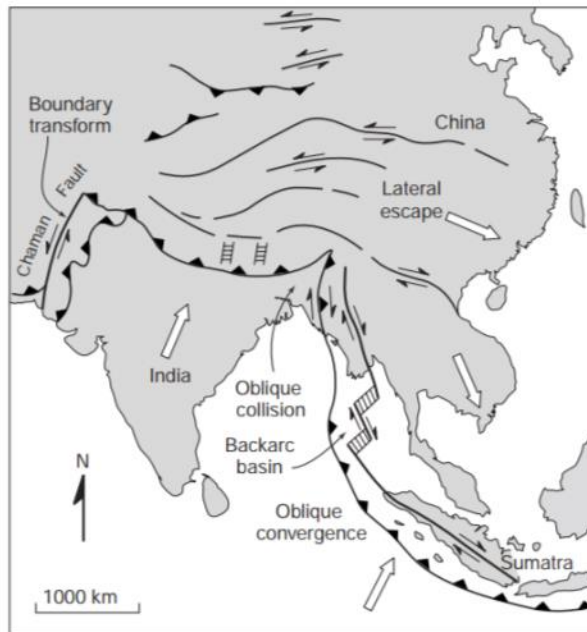


Gambar 2.21. Sesar minor pada ujung sesar dextral (Fossen 2010).

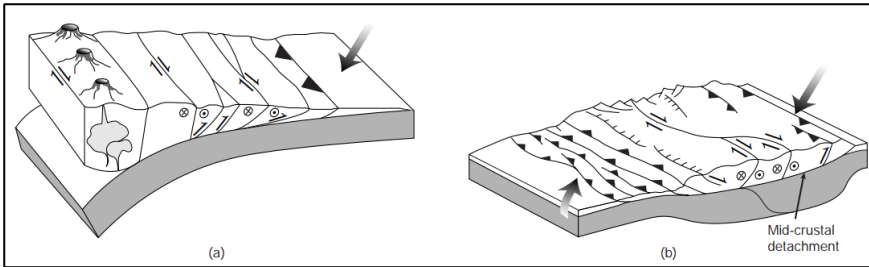
2.6. Tektonik Sesar Mendatar Kanan/Geser Kanan

Sesar *strike-slip* terjadi di sepanjang batas lempeng konvergen di mana vektor yang menggambarkan gerakan relatif antara lempeng subduksi dan lempeng diatasnya tidak tegak lurus terhadap trend batas

konvergen (Gambar 2.22; 2.23a). Pada tepi lempeng konvergen miring tersebut, gerakan relatif antara kedua lempeng dapat dibagi menjadi komponen gerak *dip-slip (thrusting)* tegak lurus terhadap batas lempeng, dan komponen geser horizontal (*strike-slip faulting*) sejajar dengan batas/margin. Contoh-contoh saat ini yang menggambarkan bahwa sesar mendatar dari batas lempeng konvergen yang oblik/miring berkembang di berbagai lokasi melintasi batas, termasuk irisan akresi, busur vulkanik, dan daerah busur belakang. Pemisahan gerakan relatif menjadi komponen *dip-slip* dan *strike-slip* menyertai tumbukan miring/oblik dari dua benua (Gambar 2.23b) (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).



Gambar 2.22. Sketsa peta Asia selatan, menunjukkan tumbukan India benua Eurasia. (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).



Gambar 2.23. Lingkungan tektonik sesar mendatar. (a) Sesar mendatar pada tepi daerah tumbukan penunjaman lempeng subduksi. Perhatikan bahwa sesar terjadi di berbagai lokasi di sepanjang batas tumbukan. Panah besar menunjukkan gerakan relatif dari lempeng samudera ke bawah. (b) Sesar mendatar pada tepi tumbukan miring. Perhatikan bahwa dalam penggambaran ini, patahan berakhir pada kedalaman di kerak tengah. (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

2.7. Potensi Mineralisasi Emas pada Sesar Geser Kanan

Penggunaan mineral logam di dunia makin meningkat terutama emas. Adanya mineralisasi emas (Au) selalu berhubungan dengan aktivitas magmatik atau vulkanik dan dipengaruhi oleh struktur sesar (Song et al, 2018, Fridovsky et al, 2018, Chauvet, 2019). Berger (2016) mengemukakan bahwa secara geometri, urat (rekahan jalur emas epitermal) dapat dijumpai pada zona ekstensional ataupun kompresional dari sistem sesar mendatar yang bertampalan.

Kajian struktur geologi oleh Widagdo (2008) dan mineralisasi (Idrus, dkk., 2015, Herman, 2006, Sutarto dkk, 2016, Rahmadani dkk., 2021) telah dilakukan di daerah contoh kasus ini. Daerah contoh kasus berada di Bukit Tumbu-Bukit Randu Kuning dan sekitarnya, Desa Jendi, Kecamatan Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah (Gambar 2.24). Lokasi contoh kasus ini terletak sekitar 50 km sebelah timur kota Yogyakarta atau sekitar 30 km kearah selatan dari kota Surakarta. Secara geologi regional, daerah contoh kasus ini masuk dalam Pegunungan Selatan Jawa bagian timur, berbatasan dengan fisiografi dataran Solo di sebelah utara.



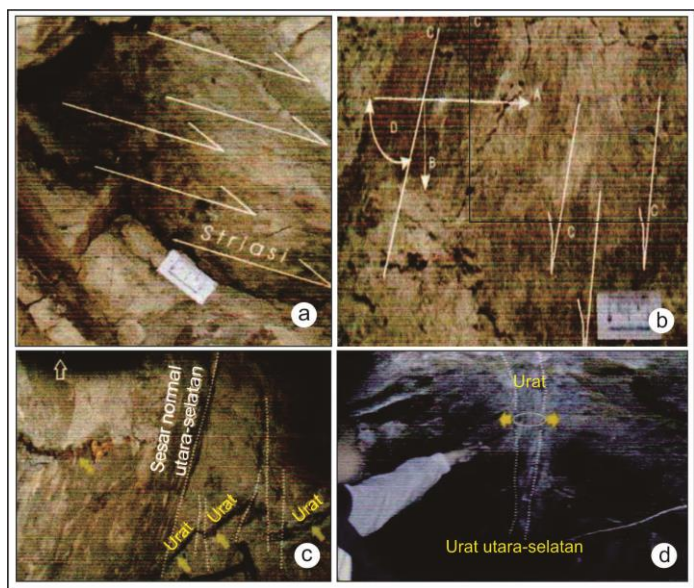
Gambar 2.24. Lokasi daerah contoh kasus di Pegunungan Selatan Jawa bagian Timur (peta google earth)

Terdapat 2 (dua) jenis pergerakan sesar/gores-garis yang dijumpai di lapangan menunjukkan jenis sesar mendatar kanan/dekstral (sebagai sesar utama/major fault) dan sesar turun/sesar normal (sebagai sesar penyerta) seperti disajikan pada Gambar 2.25a dan 2.25b. Gores-garis dengan sudut *pitch* kurang dari 45° ($< 45^\circ$) menunjukkan pergerakan mendatar (Gambar 2.25 a). Jenis pergerakan sesar mendatar kanan atau *right slip fault* diperoleh dari pengamatan struktur *step* atau struktur tangga pada bidang sesar, dimana terdapat cekukan yang bisa dijadikan indicator gerak. Gores-garis dengan sudut *pitch* hampir vertikal atau lebih besar dari 45° ($> 45^\circ$) di daerah penelitian merupakan sesar turun (Gambar 2.25 b).

Hasil pengukuran gores-garis di daerah Gunung Tumbu sisi barat laut daerah studi kasus (Gambar 2.26), dijumpai bidang sesar dengan kedudukan *strike/dip* sebesar N 339° E/ 83° NE; N 349° E/ 86° NE dan N 320° E/ 89° N. Gores-garis pada ke tiga bidang sesar ini memiliki sudut *pitch* sebesar 25° membuka ke arah barat laut, 19° ke arah selatan, dan 5° ke arah tenggara. Pengamatan struktur *step/tangga* menunjukkan pergerakan mendatar kanan atau *right lateral strike-slip fault* (dekstral) (Tabel 2.2).

Pengukuran sesar di daerah Kampung Bulu, bagian tengah daerah contoh kasus, dijumpai bidang sesar dengan orientasi *strike/dip* : N 135° E/ 77° SW dan N 159° E/ 78° W. Sudut *pitch* 9° dan membuka ke arah tenggara dan 4° dan membuka ke arah utara. Pengamatan struktur tangga menunjukkan jenis pergerakan mendatar kanan atau dekstral atau *right*

lateral strike-slip fault (Tabel 2.2). Pengukuran bidang sesar di daerah kampung Sukamerta, bagian sebelah barat daerah penelitian, memiliki kedudukan *strike/dip* : N 313° E/63° NE. Sudut *pitch* sebesar 23° membuka ke arah tenggara. Kenampakan struktur tangga menunjukkan jenis pergerakan mendatar kanan atau dekstral atau *right lateral strike-slip fault* (Tabel 2.2). Pengukuran bidang sesar di daerah kampung Nglenggong, memiliki orientasi arah *strike/dip* : N 140° E/64° SW. Besar sudut *pitch* pada sesar ini adalah sebesar 5° membuka ke arah baratlaut. Jenis pergerakan sesar ini adalah mendatar kanan atau *right lateral strike-slip fault* (Tabel 2.2).



Gambar 2.25. Sesar dan urat di daerah Selogiri-Wonogiri. a). Gores-garis sesar dextral, b). Gores-garis sesar turun, c). Urat utara-selatan terpotong sesar normal, dan d). penggalian emas mengikuti arah utara-selatan/arrah umum urat.

Tabel 2.2. Hasil pengukuran bidang sesar dan striasi serta analisis gaya-gaya utama sesar

No	Lokasi	Batuan	Strike/Dip	Pitch	Gerak	σ_1	σ_2	σ_3
1	Tumbu	andesit	N339°E/83	25° NW	dekstral	03/203	86/072	03/293
2	Tumbu	andesit	N349°E/86	19° S	dekstral			
3	Tumbu	andesit	N320°E/89	5° SE	dekstral			
4	Bulu	andesit	N135°E/77	9° SE	dekstral	08/012	76/247	11/103
5	Bulu	andesit	N159°E/78	4° N	dekstral			
6	Suka merta	Andesit	N313°E/63	23° SE	dekstral	35/171	55/001	05/264
7	Ngle nggong	Mikro diorit	N140°E/64	5° NW	dekstral	21/001	64/220	15/097
8	Tumbu	andesit	N14°E/86	68° S	normal	45/262	22/016	37/123
9	Janggleng	andesit	N189°E/67	75° S	normal	64/124	14/003	21/268

Penempatan data sesar di atas pada peta, menunjukkan adanya 2 sesar mendatar kanan dan 2 sesar normal di daerah contoh kasus (Gambar 2.26). Sesar geser/mendatar ini adalah sesar geser/mendatar di sisi utara dan di sebelah selatan. Sesar turun/normal dapat digambarkan sebagai sesar normal di sisi barat dan di sisi timur.

Sesar geser/mendatar di utara ini terbentuk oleh gaya utama terkuat (σ_1) dengan *trend* N012°E (Bulu) dan N203°E (Gunung Tumbu) atau dari arah utara-selatan (N-S). Gaya kompresional utama ini memiliki nilai *plunge* yang relatif datar/horizontal yakni sebesar 8° dan 3°. Sesar di utara ini terbentuk oleh gaya utama terlemah (σ_3) yang juga horisontal (11°/N103°E dan 03°/N293°E) seperti pada Tabel 2.2 dan Gambar 2.26. Berdasar hasil analisis data striasi/gores-garis, gaya kompresional utama maksimum (σ_1) juga relatif horisontal (8° dan 3°) atau terbentuk dengan arah gaya utama terkuat relatif mendatar. Gaya utama minimum/terlemah (σ_3) memiliki nilai penunjaman atau *plunge* yang juga kecil/horisontal (11° dan 03°) dengan arah barat-timur. Kombinasi gaya-gaya utama ini akan membentuk sesar mendatar/sesar geser. Dengan bidang sesar berarah baratlaut-tenggara maka akan terbentuk sesar mendatar kanan/dekstral.

Sesar geser/mendatar di selatan dijumpai di daerah kampung Sukamerta dan kampung Nglenggong. Sesar geser/mendatar di selatan ini terbentuk oleh gaya utama terkuat/maksimum (σ_1) dengan *trend* N171°E (di daerah kampung Sukamerta) dan N001°E (di kampung Nglenggong) atau relatif berarah utara-selatan (N-S). Gaya kompresional terkuat/maksimum ini memiliki *plunge* yang relatif horizontal/datar yakni sebesar 35° dan 21°. Sesar ini terbentuk oleh gaya utama terlemah/minimum (σ_3) yang juga berarah horizontal/datar (05°/N264°E; 15°/ N097°E) seperti disajikan pada Tabel 2.2 dan Gambar 2.26. Gaya kompresional utama terlemah/minimum (σ_3) memiliki nilai penunjaman/*plunge* yang juga kecil atau horisontal dengan arah barat-timur. Kombinasi gaya-gaya utama ini akan membentuk sesar mendatar/sesar geser kanan (dextral).

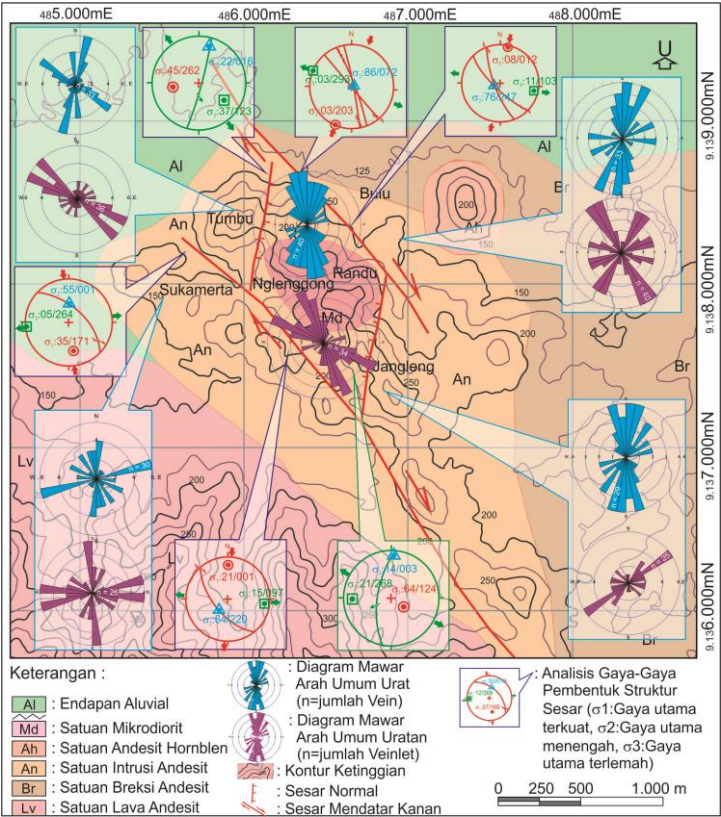
Publikasi oleh Bari dkk. (2020) menyebutkan bahwa keterdapatan struktur geologi akan berbanding lurus dengan intensitas mineralisasi logam terutama emas. Mineralisasi di daerah conto kasus ini hanya di zona ekstensi dan sekitar sesar utama yang membentuk *vein* dan *veinlet*.

Sesar mendatar kanan/dekstral di daerah penelitian sangat aktif pada masanya, sehingga melahirkan berbagai batuan dari lingkungan pembentukan yang makin dalam. Batuan-batuan in adalah batuan ekstrusif-eksplusif (lava-breksi yang terbentuk di permukaan pada Miosen Awal), batuan intrusi dangkal (andesit pada Miosen Tengah) hingga batuan intrusi dalam (mikrodiorit pada Miosen Akhir) pada fasies pusat gunung api Misen. Pada fase akhir, sesar geser utama ini menyebabkan semua batuan tersebut terdeformasi hingga terbentuk rekahan *shear fracture* dan *extension fracture* (yang kemudian menjadi

urat emas). Magmatisme/intrusi lebih dalam menghasilkan larutan hidrotermal bergerak ke atas dan mengisi rekahan batuan yang ada membentuk *vein* dan *veinlet* (Song, et al, 2018).

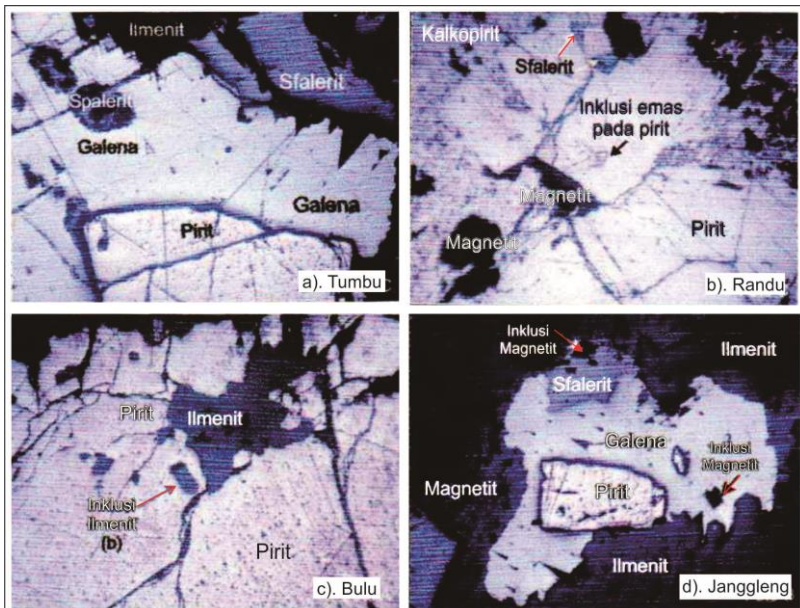
Deformasi multi fase atau tektonik berkali-kali pada daerah mineralisasi emas dilaporkan oleh penelitian Fridovsky et al. (2018). Adanya urat yang terpotong oleh urat lain yang muda di daerah contoh kasus mendukung adanya beberapa kali mineralisasi dan deformasi ini. Juga adanya urat/uratan yang terpotong sesar turun/sesarnormal. Retakan pada mineral pirit yang kemudian terisi mineral logam lain pada analisis mineragrafi/asahan poles mendukung hal ini.

Orientasi urat/*vein* mengikuti orientasi kekar tarik yang sebelumnya terbentuk oleh sesar mendatar/dekstral. Kekar-kekar gerus/shear joint akibat sesar ini kemudian membentuk uratan atau *veinlet* baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Tuduri et al. (2018) yang menyebutkan adanya *tectono-magmatic* yang mengontrol endapan mineral logam.



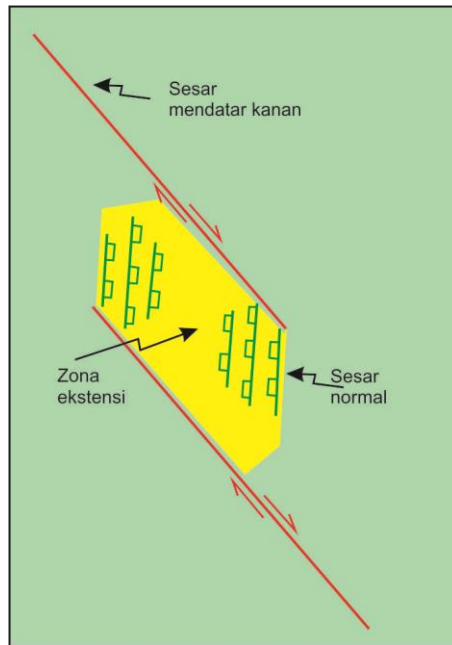
Gambar 2.26. Arah dan pola sesar serta arah umum urat dan uratan di daerah contoh kasus.

Analisis kedudukan tegasan tektonik utama sangat penting dalam menentukan evolusi struktur pada suatu daerah (Wahyudiono, dkk., 2011). Gaya tektonik utama maksimum (σ_1) berarah utara-selatan (N-S) yang bekerja di Pulau Jawa menjadi kontrol utama orientasi urat/*vein* dan uratan/*veinlet* di daerah ini.



Gambar 2.27. Kenampakan mineral logam pada urat kuarsa dari berbagai lokasi di daerah contoh kasus. Gambar diambil dengan mikroskop bijih dengan perbesaran 25x

Publikasi oleh Mc Clay (2007) menjelaskan hubungan sesar mendatar kanan atau dekstral dengan pembentukan sesar normal dan zona ekstensi, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.28. Model ini menjelaskan konstelasi sesar dekstral di daerah Selogiri. Sesar mendatar di utara dan di selatan pad peta membentuk pola *en-echelon right stepping*. Dimana terdapat area overlap diantara kedua sesar dekstral ini. Zona overlapping ini kemudian membentuk sesar turun/normal di bagian tengah daerah kasus. Sesar normal/turun sebelah barat (daerah kampung Nglenggong) memiliki kemiringan ke arah timur (east dipping) dan di sebelah timur (daerah Kampung Janggleng) memiliki kemiringan ke arah barat (west dipping).

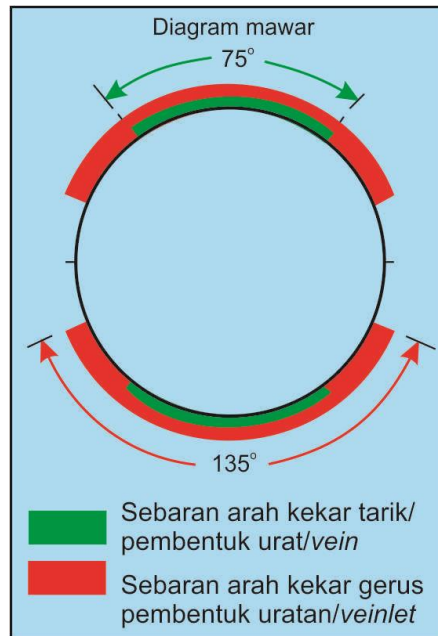


Gambar 2.28. Sesar dekstral *en-echelon right stepping* barat-laut-tenggara membentuk zona ekstensi (Mc Clay, 2007).

Zona ekstensional pada daerah pertampalan kedua sesar mendatar/dekstral ini menjadi area mineralisasi utama di daerah kasus. Pada daerah ekstensi ini dijumpai urat/vein kuarsa dengan ketebalan dan kerapatan yang tinggi. Urat halus/uratan/*Veinlet* juga intensif dijumpai di area ini. Vein/Urut berarah utara-selatan (N-S) dari zona ekstensi ini juga menunjukkan kandungan unsur emas yang cukup tinggi (Gambar 2.27 b). Publikasi oleh Van Der Pluijm and Marshak (2004) menyebutkan bahwa kekar/joint adalah sintektonik karena joint sejajar dengan arah σ_1 yang terkait dengan perkembangan struktur tektonik. Disamping itu, vein/urat secara lokal mengandung isian mineral yang terbentuk pada temperatur dan tekanan fluida pada kedalaman beberapa kilometer. Vein emas berarah utara-selatan (N-S) di daerah contoh kasus memiliki arah sejajar dengan arah kompresi regional (σ_1) yang berasal dari selatan atau arah penunjaman lempeng (Patria and Aulia, 2020, Shulgin et al, 2011) samudera Hindia dibawah Pulau Jawa. Kompresi horizontal utara-selatan ini membentuk tarikan ke barat-timur saat kekar pembentuk urat tercipta (Gambar 9a).

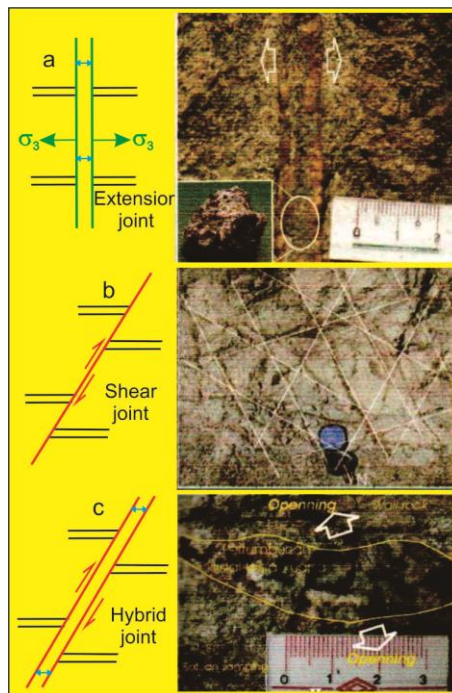
Vein utara-selatan yang terbentuk dari gaya kompresional utama utara selatan memiliki rentang arah yang lebar. Rentang sebaran arah vein ini pada diagram bunga berada diantara N325°E dan N35°E. Menurut penelitian Singhal and Gupta (2010), hal ini masih memungkinkan

(Gambar 2.29). Akibat gayakompresi σ_1 berarah utara-selatan (N-S) akan terbentuk kekar tarik sebagai ruang pembentukan urat pada rentang 75° ($32,5$ derajat ke kiri dan ke kanan dari arah utara). Analisis diagram mawar (rosette diagram) terhadap urat kuarsa di daerah penelitian menunjukkan arah umum urat masih berada dalam rentang arah ini.



Gambar 2.29. Rentang arah sudut strike urat dan uratannya kuarsa hasil gaya utara-selatan (Singhal and Gupta, 2010).

Uratannya kuarsa (*Veinlet*) dengan arah sekitar timurlaut-baratdaya (NE-SW), baratlaut-tenggara (NW-SE) dan barat-timur (E-W) dimungkinkan hadir berhubungan dengan rentang kekar gerus sebesar 135° (Gambar 2.29) sebagai hasil kompresi dari arah σ_1 utara-selatan yang sama dengan pembentuk kekar tarik (Singhal and Gupta, 2010). Kekar gerus (shear fracture) sebagai hasil kompresi regional (σ_1) utara-selatan pembentuk sesar dekstral di utara dan selatan daerah kajian memiliki rentang 135° (Gambar 2.29). Pada awalnya mulanya, kekar-kekar ini bersifat rapat/tertutup (Gambar 2.30 b) sehingga tidak memungkinkan bagi pengaliran dan pengendapan larutan hidrotermal pembentuk urat/uratan. Namun demikian kekar-kekar gerus ini dapat terbuka bila mengalami reaktivasi akibat tektonik yang lebih muda (Widagdo, 2008). Rekahan gerus/gunting yang rapat ini akan menjadi rekahan *hybrid*, dimana ia awalnya hanya rekahan namun kemudian ia bergeser dan terbuka (Mc Clay, 2007), seperti dalam Gambar 2.30 c).



Gambar 2.30. Jenis-jenis kekar (Mc Clay, 2007) dan contoh di daerah kasus.

Urut/*vein* ekstensi di daerah kasus umumnya memiliki ketebalan tinggi (1-20 cm). Makin tebal urat, maka ia akan memiliki dimensi/ukuran panjang yang tinggi/menerus. Urat/*vein* yang tebal juga menerus secara vertical dengan tingkat kemenerusan yang tinggi. Ini memungkinkan larutan hidrotermal dari intrusi dalam sebagai pembawa mineral logam emas (Tabel 2.3.) dan lainnya akan melewatinya dengan mudah dari zona tekanan tinggi di kedalaman menuju ke arah permukaan/zona tekanan rendah.

Tabel 2.3. Hasil analisis kandungan logam pada urat kuarsa

No	Lokasi	Arah urat	Kandungan logam (ppm)				
			Emas	Perak	Tembaga	Timbal	Seng
1	Tumbu	NW-SE	--	--	100	63	32
2	Randu	N-S	204	411	57.797	2.311	22.356
3	Bulu	NE-SW	--	350	8.200	--	20.300
4	Jangg leng	N-S	5,2	29	330	1.130	170
5	Suka merta	E-W	9,8	64	100	1.010	690
6	Melik	N-S	2,4	25	330	1.330	2.480

2.8. Sesar-Sesar Mendatar Kanan di Indonesia

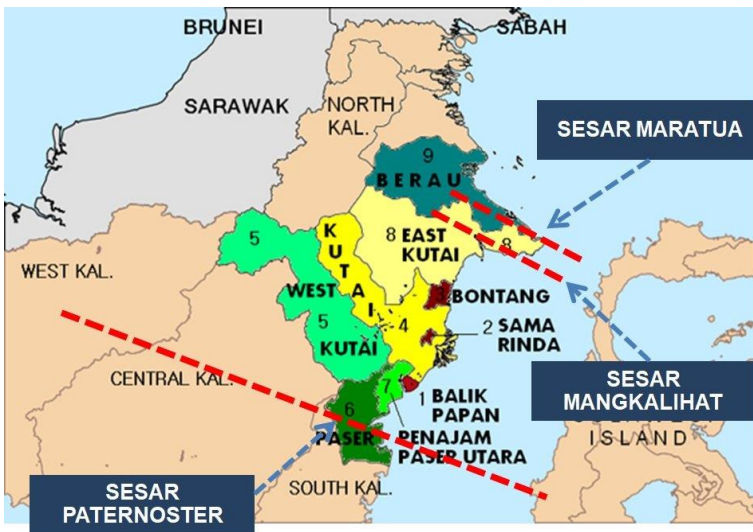
Sebagai Negara yang berada pada zona tektonik aktif akibat interaksi 3 lempeng besar dunia (Hindia, Eurasia dan Pasifik), Indonesia memiliki banyak sesar mendatar kanan (sesar dextral) dalam skala regional maupun lokal. Interaksi Lempeng Samudera Hindia dengan Pulau Sumatra membentuk jalur sesar Sumatra (Gambar 2.31) dari Aceh hingga Lampung. Jalur patahan mengangan ini terkenal sebagai pembentuk bukit barisan yang berderet mengikuti jalur patahan. Gempa-gempa merusak sering terjadi pada jalur patahan ini.

Interaksi Lempeng Samudera Hindia dengan Pulau Jawa menghasilkan sesar dextral Cilacap-Pamanukan (Gambar 2.33) di daerah antara Jawa Tengah-Jawa Barat. Patahan ini mengontrol persebaran batuan berumur Tersier di daerah ini baik batuan sumber hidrokarbon maupun batuan reservoir. Pada jalur patahan ini banyak dijumpai rembesan hidrokarbon yang perlu untuk dieksplorasi lebih lanjut.



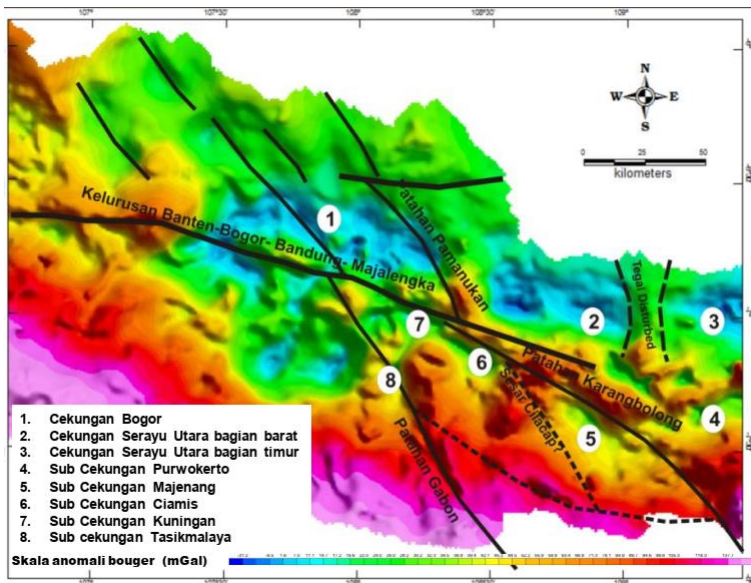
Gambar 2.31. Sesar Sumatra dan Mentawai terbentuk akibat subduksi Lempeng Samudera Hindia di bawah Pulau Sumatra.

(Sumber : <https://www.viva.co.id/berita/nasional/856992-pemerintah-harus-larang-pemukiman-di-jalur-gempa>)

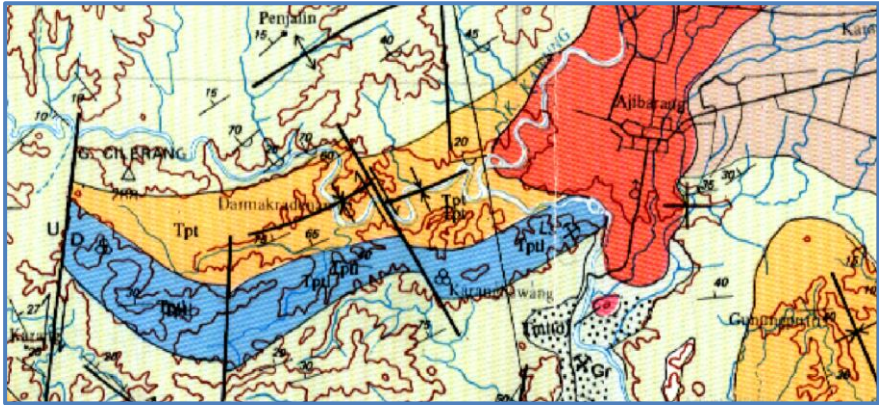


Gambar 2.32. Sesar mendatar kanan di Kalimantan

(Sumber : <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fpbs.twimg.com%2Fmedia%2FEC4T-VgUUAAAG6BQ.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Ftwitter.com%2Finfohumasbmkg%2Fstatus%2F116589132522215680&tbid=2QdAHCfZvMYFrM&vet=12ahUKEWjQ6Kqf4uP3AhVJktgFHfrBWcQMygDegUIARC9AQ..i&docid=aw9p65EVrI4-fM&w=950&h=671&q=sesar%20kalimantan&hl=id&ved=2ahUKEWjQ6Kqf4uP3AhVJktgFHfrBWcQMygDegUIARC9AQ>)



Gambar 2.33. Sesar utama di antara Jawa Tengah Jawa Barat, sesar baratlaut-tenggara merupakan sesar dextral, sesar barat timur merupakan sesar naik (Permana, 2010)



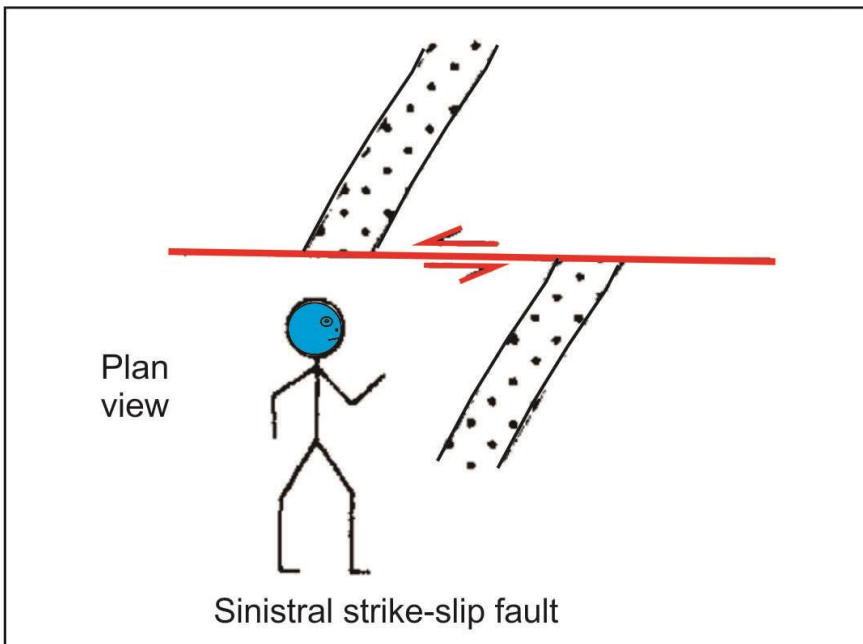
Gambar 2.34. Zona sesar mendatar kanan di daerah Ajibarang-Banyumas, Jawa Tengah (Djuri, 1996).

BAB III

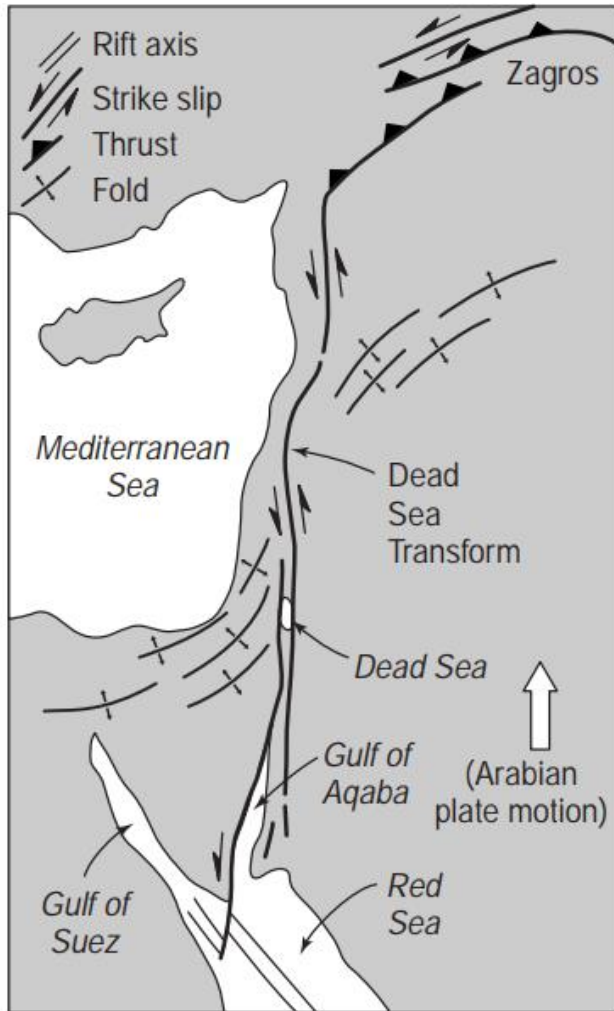
SESAAR MENDATAR KIRI ATAU PATAHAN SINISTRAL

3.1. Pengertian Sesar Mendatar Kiri/Geser Kiri

Sesar mendatar kiri sering disebut juga sesar geser kiri, sesar sinistral dan juga *left lateral strike-slip fault* adalah sesar di mana semua perpindahan terjadi dalam arah yang sejajar dengan *strike* sesar dimana bila pengamat berada di satu sisi blok, bagian blok di depan pengamat bergerak ke arah kiri (Gambar 3.1) atau bila pengamat berdiri di garis sesar maka blok sebelah kiri akan bergerak ke pengamat. Perpindahan *left lateral strike-slip* ini tidak menghasilkan pengangkatan atau penurunan batuan.



Gambar 3.1. Sinistral strike-slip atau sesar mendatar kiri dalam pandangan datar. Seperti yang terlihat oleh pengamat yang berdiri di blok sesar terdekat, blok sesar di sisi lain bidang patahan telah bergerak ke kiri (McClay, 2007).



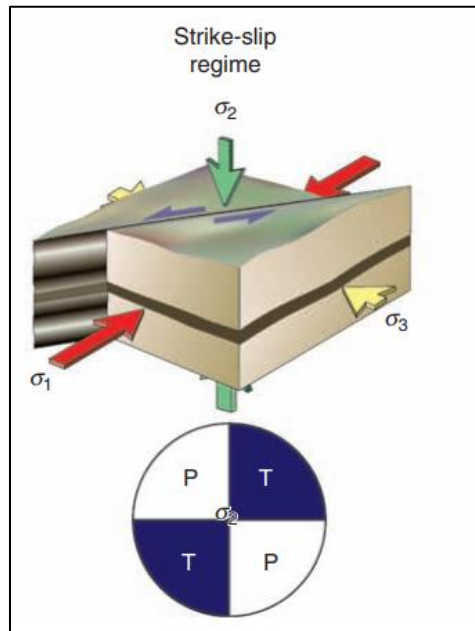
Gambar 3.2. Sesar mendatar kiri Laut Mati (Dead Sea transform / DST) membentang dari Teluk Aqaba utara ke ujung barat Pegunungan Zagros. Ini mengakomodasi pergerakan ke utara Lempeng Arab (Van Der Pluijm and Marshak, 2004).

Salah satu sesar geser kiri/sinistral yang terkenal adalah Sesar *Dead Sea Transform* atau Sesar mendatar kiri Laut Mati (Dead Sea transform / DST). Sesar ini membentang dari Teluk Aqaba utara ke ujung barat Pegunungan Zagros di Turki. Grakan sesar ini mengakomodasi pergerakan ke utara Lempeng Arab (Van Der Pluijm and Marshak, 2004). Jenis sesar ini di Indonesia antara lain sesar geser kiri Palu-Koro di Sulawesi Tengah, Sesar Sorong di Papua, Sesar Opak di Yogyakarta dan Sesar Grindulu di Pacitan.

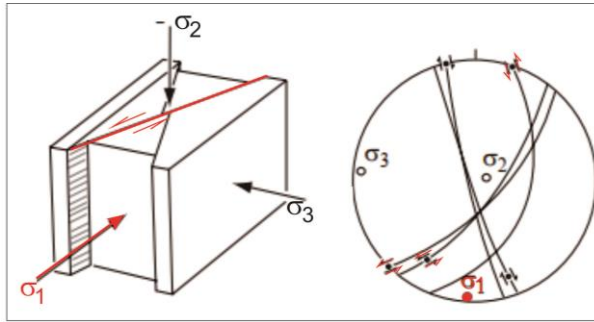
3.2. Genesa Sesar Mendatar Kiri/Geser Kiri

Sesar geser kiri/sinistral umum berpasangan dengan sesar mendatar kanan akibat gaya pembentukan yang arahnya sama. Fossen (2010) menggambarkan area gaya kompresi (σ_1) dan gaya tarik (σ_3) pada system *sinistral*/mendatar kiri dalam stereonet (Gambar 3.3). Pada hasil penggambaran dalam stereonet, daerah gaya utama (stress terkuat atau P) atau area gaya σ_1 berada di area tepi lingkaran stereonet. Daerah tarikan atau area gaya terlemahnya juga dalam arah horizontal di tepi lain lingkaran stereonet. Gaya menengah pembentuk sesar atau σ_2 berada pada area tengah lingkaran stereonet atau berarah vertikal. Ketiga gaya utama ini saling tegak lurus atau membentuk sudut 90 derajat.

Rowland et al (2007) memberikan contoh penggambaran blok diagram sesar sinistral yang berpasangan pada stereonet (Gambar 3.4). Sesar sinistral dengan strike baratdaya-timurlaut (NE-SW) dan *dipping* atau kemiringan hampir vertikal digambarkan bersama pasangannya.



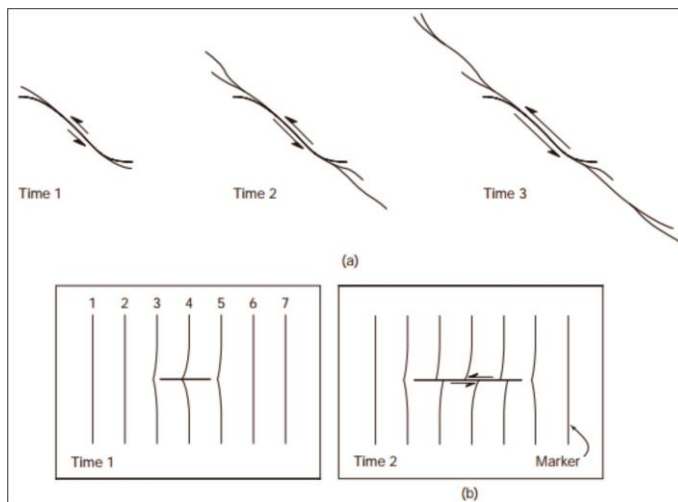
Gambar 3.3. Hubungan antara orientasi tegangan utama (rezim tegangan) menurut Anderson (1951) dalam Fossen (2010). Stereonet menunjukkan area kompresi (P) dan area tarikan (T).



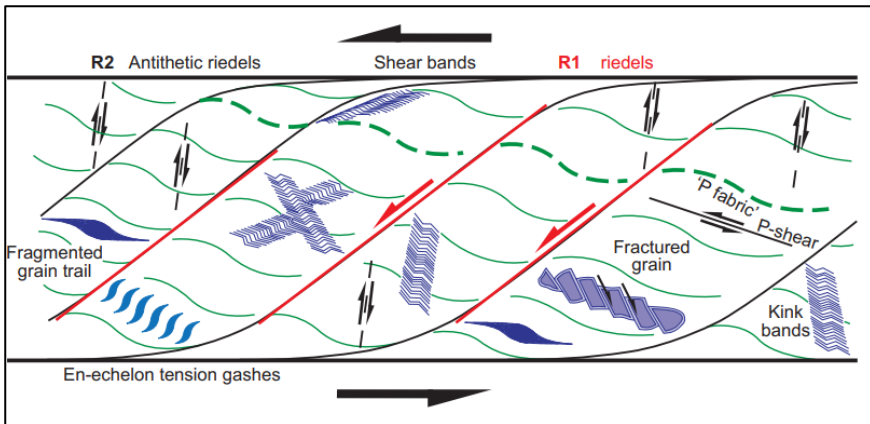
Gambar 3.4. Pembentukan sesar geser kiri dan penggambaran bidang sesar pada stereonet (Rowland et al, 2007)

3.3. Kenampakan Sesar Mendatar Kiri/Geser Kiri

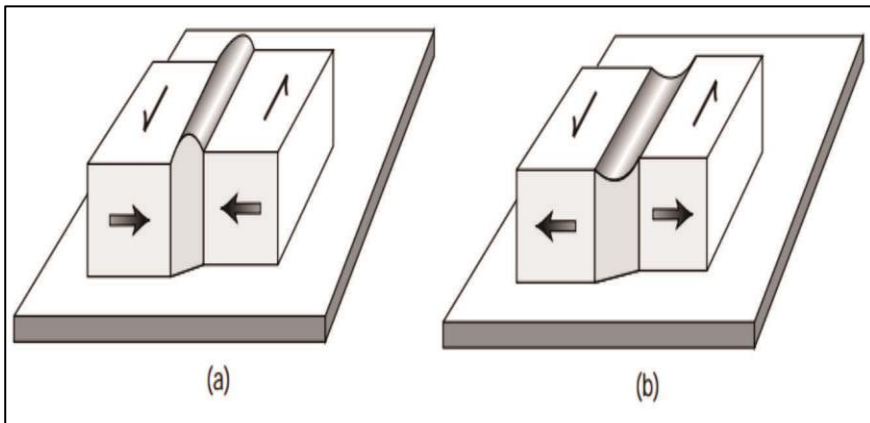
Pada Gambar 3.5. dijelaskan bagaimana pertumbuhan sesar geser kiri (a) pertumbuhan *transcurrent fault*. Seiring berjalannya waktu, panjang sesar dan perpindahan pada sesar meningkat. Dalam prosesnya, beberapa jalur ekor kuda ditinggalkan. (B) Sketsa peta yang mengilustrasikan bagaimana perpindahan sepanjang *transcurrent fault* (struktur ekor kuda tidak ditampilkan). Garis yang lebih tebal adalah sesar, dan garis tipis adalah garis penanda. Pada waktu 1, sesar itu pendek dan hanya memotong penanda 4. Pada waktu 2, sesar telah tumbuh, dan sekarang menciptakan *offset* pada 3, 4, dan 5. Perhatikan bahwa penanda tepat di luar ujung sesar mulai menekuk, sebelum patah. (van Der Pluijm and Marshak, 2004)



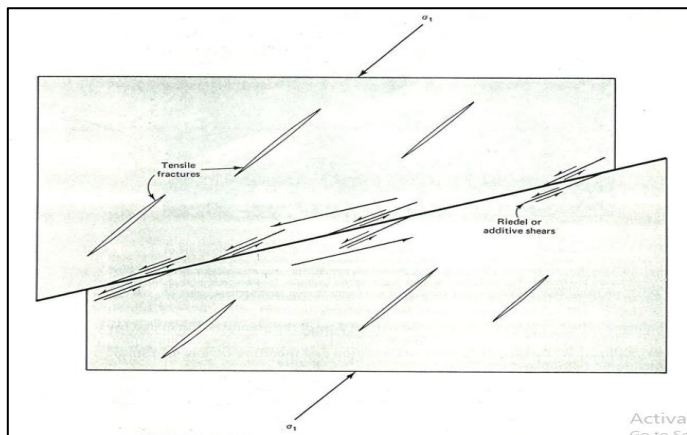
Gambar 3.5. Pertumbuhan sesar geser kiri. (van Der Pluijm and Marshak, 2004)



Gambar 3.6. Beberapa fitur dalam zona sesar geser kiri yang lebih luas yang dapat digunakan untuk mendiagnosis pergeseran (*Riedel fractures, antithetic Riedel fractures, gouge fabrics, broken clasts*), Coe, 2010.



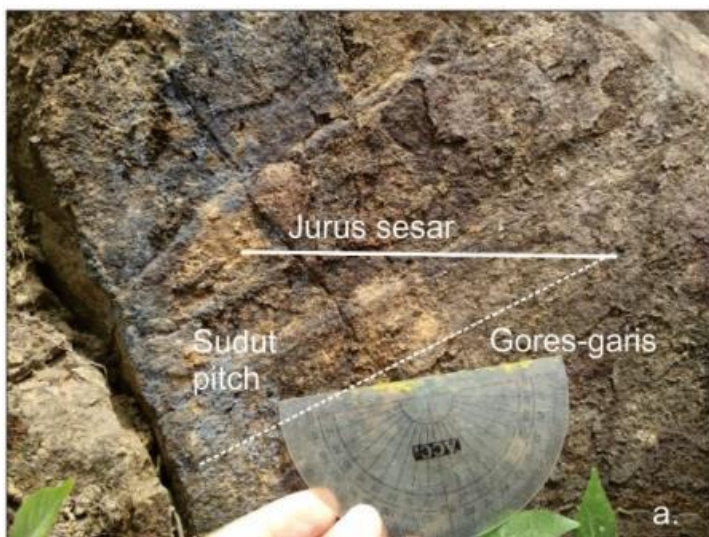
Gambar 3.7. Model balok kayu sederhana yang menggambarkan konsep transpression dan transtension. (a) Ketika balok-balok digeser dan diremas bersama-sama (transpression), pasir terdorong ke atas; (b) Ketika balok digeser dan ditarik (transtension), pasir melorot. (van Der Pluijm and Marshak, 2004)



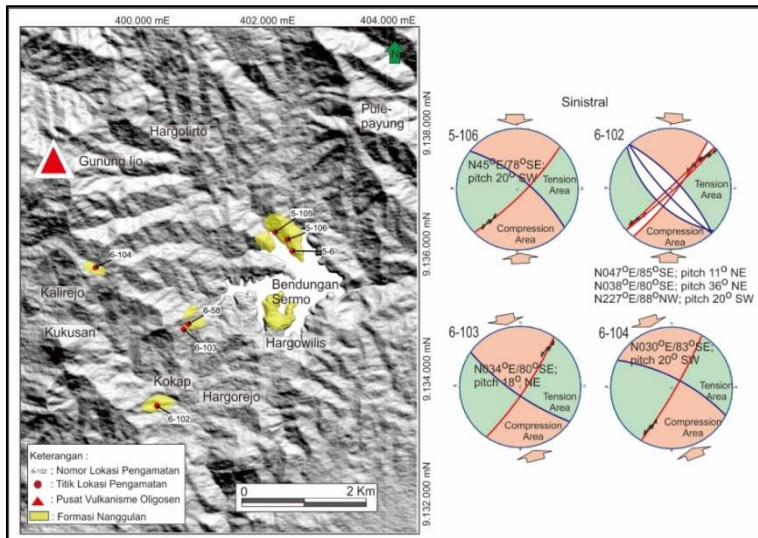
Gambar 3.8. Hubungan sesar geser kiri dan orientasi kekar tarik atau urat kuarsa di lapangan (Suppe, 1985)

3.4. Analisis Sesar Mendatar Kiri/Geser Kiri

Lokasi pada Gambar 3.9 dijumpai data gores-garis sesar sinistral dengan kedudukan N047°E/85°SE, *pitch* 11° ke NE; N038°E/80°SE, *pitch* 36° ke NE dan N227°E/88°NW, *pitch* 20° membuka ke SW. Hasil analisis gores-garis ini menunjukkan nilai σ_1 :10°/N002°E, σ_2 :80°/N196°E dan σ_3 :02°/N093°E.



Gambar 3.9. Kenampakan gores-garis sesar pada batuan Eosen di Kulonprogo-Yogyakarta. a) Pandangan ke baratlaut terhadap sesar sinistral N227°E/88, *pitch* 20° membuka ke baratdaya.

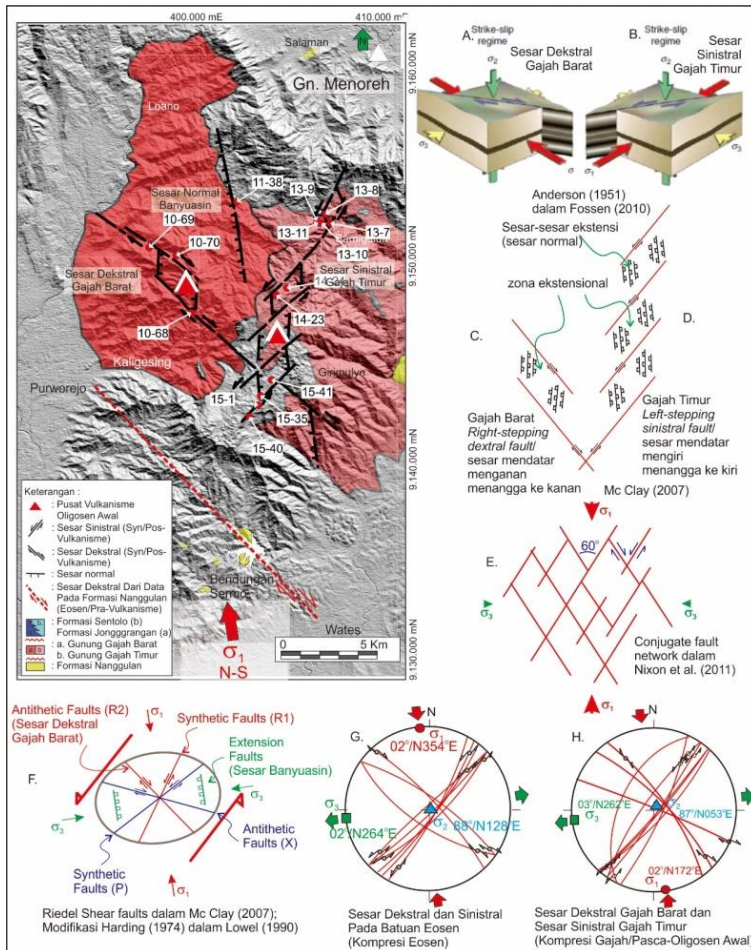


Gambar 3.10. Analisis gores-garis sesar sinistral pada batuan Eosen di Kulonprogo-Yogyakarta

Tabel 3.1. Hasil analisis struktur sesar sinistral dan dekstral pada batuan Eosen

Lokasi	Strike	Dip	Pitch	Arah pitch	Pergerakan	σ_1	σ_2	σ_3
5-106	45	78	20	SW	Sinistral	06°/ N177°E	66°/ N074°E	23°/ N269°E
	47	85	11	NE		10°/ N002°E	80°/ N196°E	02°/ N093°E
6-102	38	80	36	NE		20°/ N349°E	69°/ N187°E	06°/ N081°E
	227	88	20	SW		09°/ N162°E	69°/ N048°E	19°/ N255°E
6-103	34	80	18	NE				
6-104	30	83	20	SW				

Hasil analisis seluruh data gores-garis sesar sinistral pada batuan Eosen di daerah Kokap, menunjukkan pengaruh gaya kompresional berarah Utara-Selatan yang membentuknya (Gambar 3.10; Tabel 3.1.). Struktur sesar pada batuan Eosen terbentuk oleh gaya utama terkuat (σ_1) dari arah 02°/N354°E dan gaya utama terlemah (σ_3) dari arah 02°/N264°E. Kombinasi arah gaya-gaya ini membentuk sesar dekstral NW-SE dan sinistral NE-SW pada Kala Eosen.



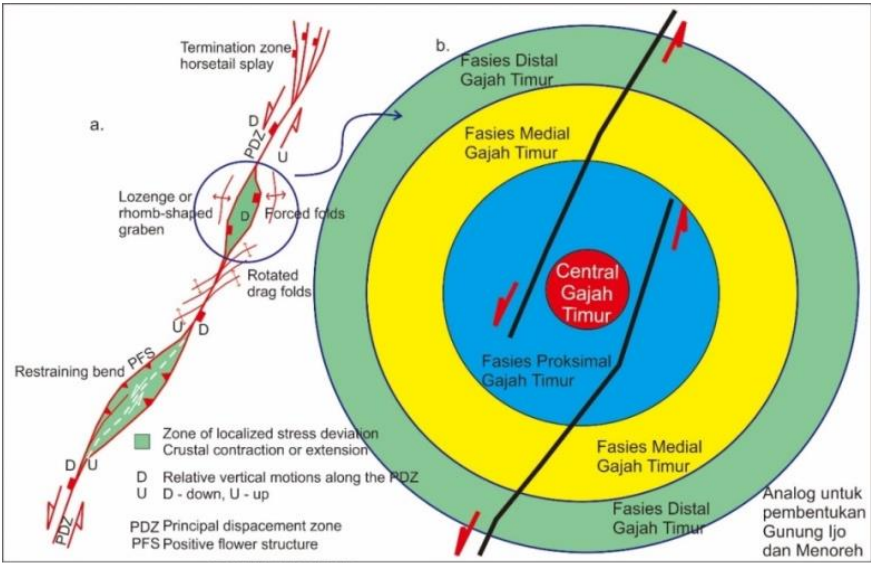
Gambar 3.11. Hubungan struktur sesar mendatar dengan kompresi Utara-Selatan di Gunung Gajah Barat dan Gajah Timur.

3.5. Sistem Sesar Mendatar Kiri/Geser Kiri

Gambar 3.12. menjelaskan zona sesar mendatar mengiri yang tidak lurus (berkelok) hingga tersegmentasi menurut Christie-Blick and Biddle (1985) dalam Dooley and Schreurs (2012). Di alam, sesar mendatar umumnya membentuk garis lurus dan sistem yang menerus. Segmentasi sepanjang zona sesar menghasilkan zona *extension/transtension* atau zona *contraction/transpression*. Bends atau sidesteps (*jog*) pada sistem sesar mendatar utama (*principal displacement zone/PDZ*) akan menghasilkan zona *extension (pull-apart basins)* bila arah menangga sesar sama dengan pergerakan sesar utama pada *principal displacement zone (PDZ)*. Sesar Sinistral Gajah Timur terbentuk pada jalur sesar mendatar mengiri dengan sifat menangga ke kiri hingga

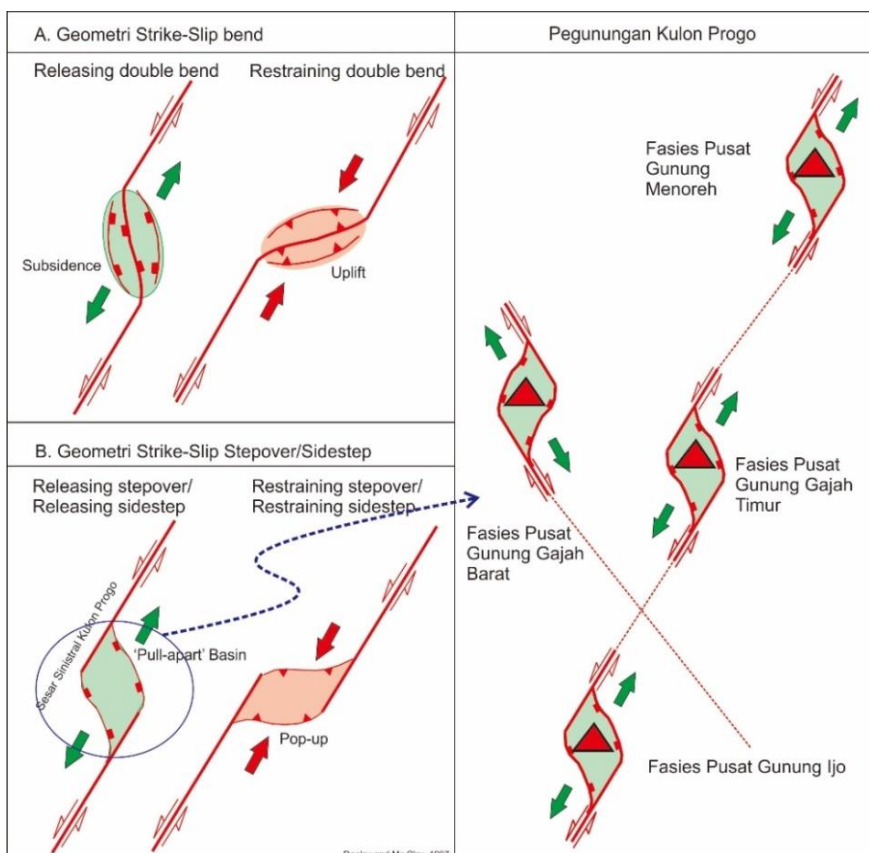
terbentuk zona transtensi dimana kemudian menjadi lokasi pertumbuhan Gunung Gajah Timur (demikian pula Gunung Ijo dan Menoreh di barat Yogyakarta).

Gambar 3.13. menjelaskan berbagai geometri sesar mendatar mengiri berarah selatan baratdaya-utara timurlaut yang kemungkinan dapat terbentuk di lapangan. Dooley and Mc Clay (1997) menggambarkan terdapat dua jenis geometri sesar mendatar, yaitu *strike-slip bend* dan *strike-slip stepover* yang dapat terbentuk. Pada geometri *strike-slip bend* dapat membentuk pola *releasing double bend* yang akan membentuk *subsidence* serta pola *restraining double bend* yang akan membentuk *uplift*.



Gambar 3.12. Berbagai jenis struktur sepanjang zona sesar mendatar mengiri a) Model menurut Christie-Blick and Biddle (1985) dalam Dooley and Schreurs (2012); b) Kemunculan fasies pusat Gunung Gajah Timur di barat Yogyakarta.

Geometri sesar mendatar kiri jenis *strike-slip stepover* dapat membentuk pola *releasing stepover* yang akan membentuk *pull-apart basin* serta pola *restraining stepover* yang akan membentuk *pop-up*. Berdasarkan interpretasi kelurusan sesar pada peta *hill-shade*, hasil pengamatan lapangan serta analisis data lapangan, sesar mendatar kiri Gajah Timur (juga sesar sinistral Ijo dan Menoreh) merupakan jenis sesar mendatar mengiri dengan pola *releasing stepover*. Dengan demikian fasies pusat Gajah Timur (juga fasies pusat Ijo dan Menoreh) terbentuk pada daerah tarikan atau *pull-apart*.



Gambar 3.13. Berbagai karakter sesar mendatar mengiri pada pandangan peta (Dooley and Mc Clay, 1997) dan aplikasinya di Pegunungan Kulon Progo.

3.6. Contoh Kasus Kontrol Sesar Sinistral pada Mineralisasi Emas

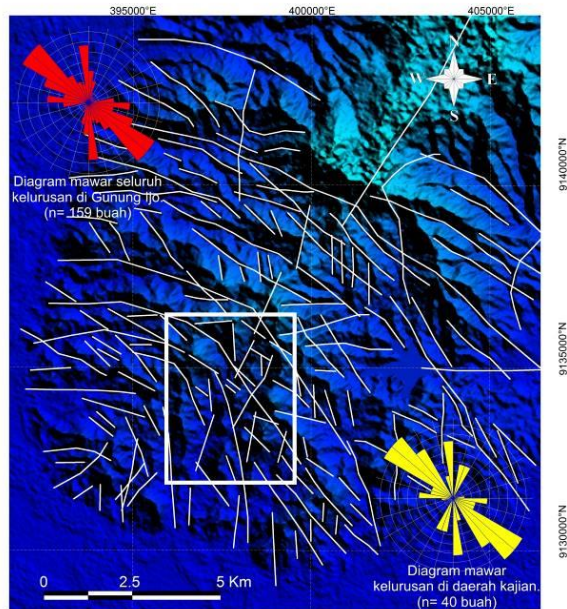
Daerah contoh kasus mineralisasi emas yang berhubungan dengan sesar sinistral terletak di Gunung Ijo daerah Kecamatan Kokap, Kulonprogo-Yogyakarta (Gambar 3.14). Di area ini terdapat fenomena mineralisasi emas yang telah diupayakan oleh masyarakat dengan adanya penggalian urat dan pengolahan emas. Publikasi mengenai struktur geologi, mineralisasi emas atau alterasi dan geologi lainnya di daerah ini dilakukan oleh Widiasmoro (1994), Setiabudi (2005), Bronto (2006), Ansori dan Hastria (2013) dan Widagdo, dkk, (2017). Publikasi oleh Setiabudi (2005), menyebutkan bahwa di daerah Sangon-Kulonprogo secara litologi didominasi oleh batuan andesit porfiri, sebagian andesit mengalami breksiasi, silisifikasi dan alterasi propilitik sampai alterasi filik. Geologi daerah kasus disajikan dalam Gambar 3.15.

Sesar sinistral timurlaut-baratdaya (NE-SW) yang dijumpai di daerah contoh kasus diantaranya adalah Sesar Sinistral Plampang, Sesar Sinistral Kukusan dan Sesar Sinistral Gunung Telu (Widagdo, dkk, 2017). Analisis kekar gerus pada Sesar Sinistral Plampang bagian barat (Gambar 3.16) menunjukkan arah-arahan dominan NNE-SSW (*Shear fracture* 1: N190°E/82°) dan NW-SE (*Shear fracture* 2: N142°E/82°). Kekar gerus pada Sesar Plampang bagian tengah menunjukkan arah-arahan dominan NNE-SSW (*Shear fracture* 1: N031°E/75°) dan NW-SE (*Shear fracture* 2: N136°E/79°). Kekar-kekar gerus ini terutama dijumpai pada batuan lava andesit-breksi andesit (Gambar 3.15). Di beberapa lokasi, kekar gerus terisi mineral dengan ketebalan tipis (kurang dari 1 cm atau membentuk veinlet/uratan). Kekar gerus atau shear fracture pada Sesar Kukusan menunjukkan arah dominan NE-SW (N226°E/87°). Kekar tarik atau gash fracture menunjukkan arah dominan NNE-SSW (N20°E/86°). Pada gambar 3.15, kekar-kekar gerus dan kekar tarik ini terutama dijumpai pada batuan lava andesit-breksi andesit. Analisis diagram kipas breksiasi menunjukkan arah dominan NE-SW (N55°E). Arah ini merupakan arah strike dari sesar sinistral Kukusan. Kekar-kekar gerus pada Sesar Gunung Telu menunjukkan arah dominan NNW-SSE (N341°E/79°) dan N-S (N196°E/79°). Kekar-kekar gerus ini terutama dijumpai pada batuan lava andesit (Gambar 3,15). Analisis diagram kipas arah breksiasi menunjukkan arah dominan NE-SW (N35°E). arah ini merupakan arah strike sesar Gunung Telu (Gambar 3.16).

Berdasarkan analisis diagram bunga dan stereografis (Gambar 3.16), kekar tarik pada Sesar Plampang menunjukkan arah-arahan dominan utara-selatan / N-S. Analisis stereografis terhadap Sesar Plampang barat dan tengah, struktur kekar tarik ini terbentuk oleh gaya utama terlemah horisontal berarah barat-Timur (σ_3 : 07°/N076°E; 02°/N262°E). Kekar tarik ini telah terisi mineral hingga membentuk urat karena sifatnya yang terbuka (Widagdo, dkk, 2017).

Analisis diagram kipas data breksiasi Sesar Plampang (Gambar 3.16) menunjukkan arah dominan NE-SW (N45°E dan N55°E). Arah ini merupakan arah strike sesar yang terbentuk di daerah kasus pada kelurusan Sesar Plampang. Analisis Sesar Plampang bagian barat di daerah kasus menghasilkan kedudukan bidang sesar N235°E/87°, net slip 7°/N54°E dan rake/pitch 10° membuka ke arah timurlaut dengan nama sesar *Left slip fault* (sesar mendatar kiri atau sesar sinistral) berdasarkan klasifikasi Richard, 1972. Struktur sesar ini terbentuk oleh gaya utama horisontal berarah N-S (σ_1 : 03°/ N166°E) dan gaya utama terlemah yang juga horisontal berarah E-W (σ_3 : 07°/ N076°E). Hasil analisis Sesar Plampang bagian tengah menghasilkan kedudukan bidang sesar N45°E/71°, net slip 8°/N48°E dan rake/pitch 10° membuka ke arah timur dengan nama sesar *Left slip fault* (sesar mendatar kiri atau sesar sinistral)

berdasarkan klasifikasi Richard, 1972. Struktur sesar ini terbentuk oleh gaya utama horisontal berarah N-S (σ_1 : 20° / N353 $^\circ$ E) dan gaya utama terlemah yang juga berarah horisontal berarah E-W (σ_3 : 02° / N262 $^\circ$ E) atau di bagian tepi lingkaran stereonet (Widagdo, dkk, 2017).

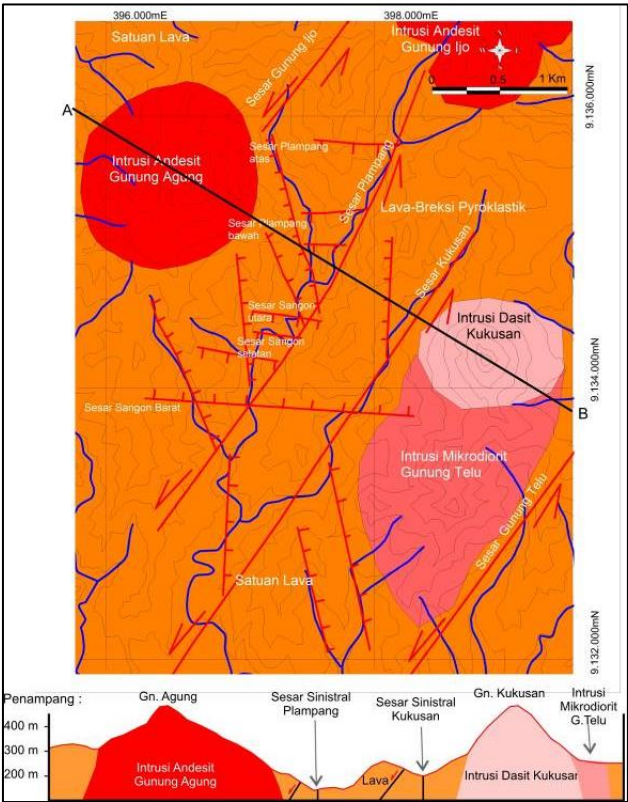


Gambar 3.14. Kelurusan struktur pada citra daerah G. Ijo serta diagram mawarnya. Kelurusan NNE-SSW memanjang hingga G. Gajah dan Menoreh di utara (Widagdo, dkk, 2017).

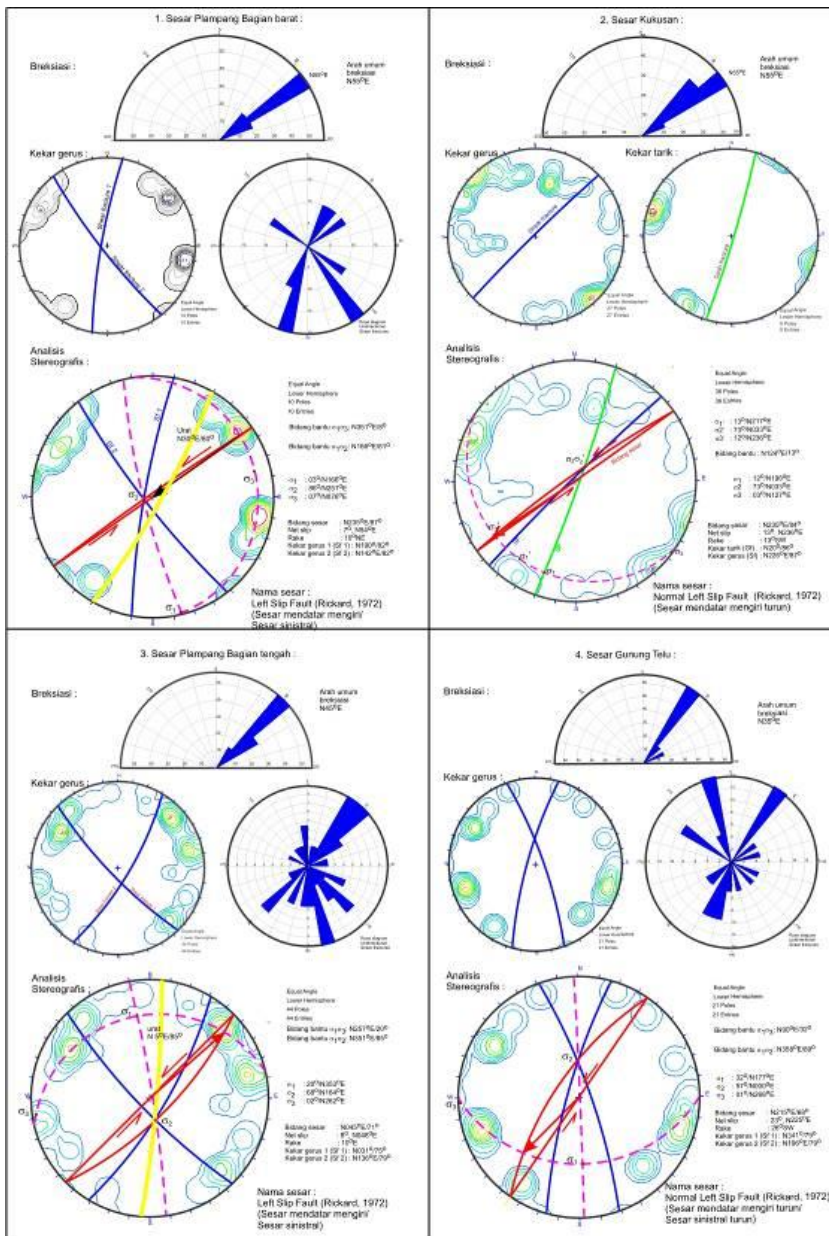
Hasil analisis sesar Kukusan menghasilkan kedudukan bidang sesar N235 $^\circ$ E/84 $^\circ$, netslip 13 $^\circ$ /N236 $^\circ$ E dan rake/pitch 13 $^\circ$ membuka ke baratdaya dengan nama sesar *Normal left slip fault* (sesar mendatar kiri turun) berdasarkan klasifikasi Richard, 1972. Sesar ini terbentuk oleh gaya utama terbesar σ_1 : 13 $^\circ$ / N217 $^\circ$ E dan gaya utama terlemah σ_3 : 03 $^\circ$ / N127 $^\circ$ E. Sesar ini merupakan struktur geologi pengontrol ubahan dan mineralisasi daerah Gunung Ijo. Seperti halnya Sesar Plampang, umur sesar ini juga lebih muda dari Miosen Akhir karena memotong tubuh Gunung Api Ijo, Gajah dan Menoreh (Widagdo, dkk, 2017). Menurut Akmaludin dkk. (2005), Gunung Menoreh terbentuk pada kala Miosen Akhir (12,4 $\pm$ 0,7 Juta tahun yang lalu atau Miosen Atas).

Hasil analisis Sesar Gunung Telu menghasilkan kedudukan bidang sesar N215 $^\circ$ E/68 $^\circ$, netslip 23 $^\circ$ /N225 $^\circ$ E dan rake/pitch 26 $^\circ$ membuka ke baratdaya dengan nama sesar *Normal left slip fault* (sesar

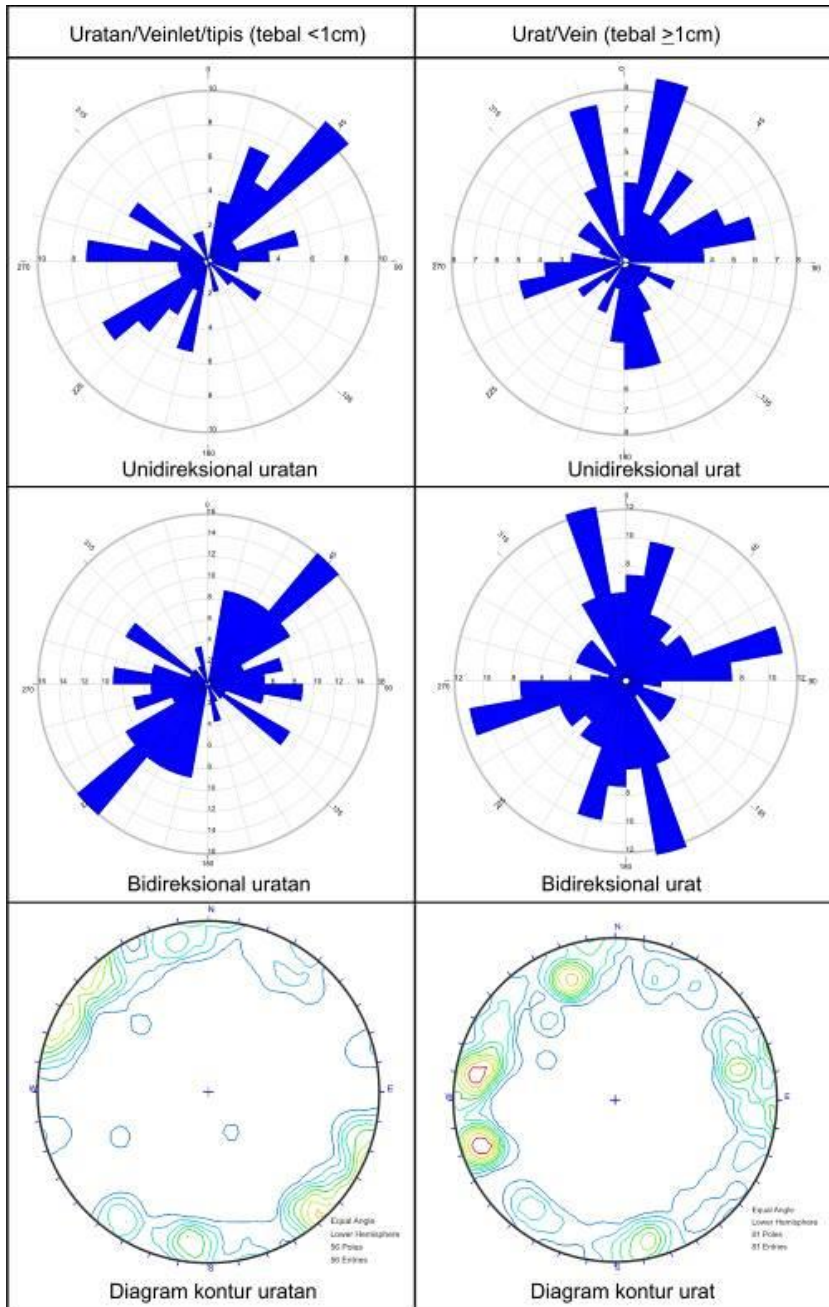
mendatar kiri dengan komponen turun) berdasarkan klasifikasi Richard, 1972. Sesar ini terbentuk oleh gaya utama terbesar σ_1 : 32° / $N177^\circ E$ dan gaya utama terlemah σ_3 : 01° / $N268^\circ E$. Seperti halnya Sesar Plampang dan Kukusan, umur sesar ini juga lebih muda dari Miosen Akhir karena memotong tubuh gunung api Ijo, Gajah dan Menoreh yang terbentuk pada umur Miosen Akhir (Widagdo, dkk, 2017).



Gambar 3.15. Peta dan penampang Geologi. Penampang melintang berarah NW-SE, memotong tubuh Intrusi Andesit Gunung.Agung, Lava, Intrusi Dasit Kukusan, serta Intrusi Mikrodiort G.Telu. Daerah mineralisasi emas berkembang diatara tubuh intrusi andesit, dasit dan mikrodiort. Intrusi andesit, dasit dan mikrodiort muncul pada zona transtensi sesar sinistral NE-SW (Widagdo, dkk, 2017).

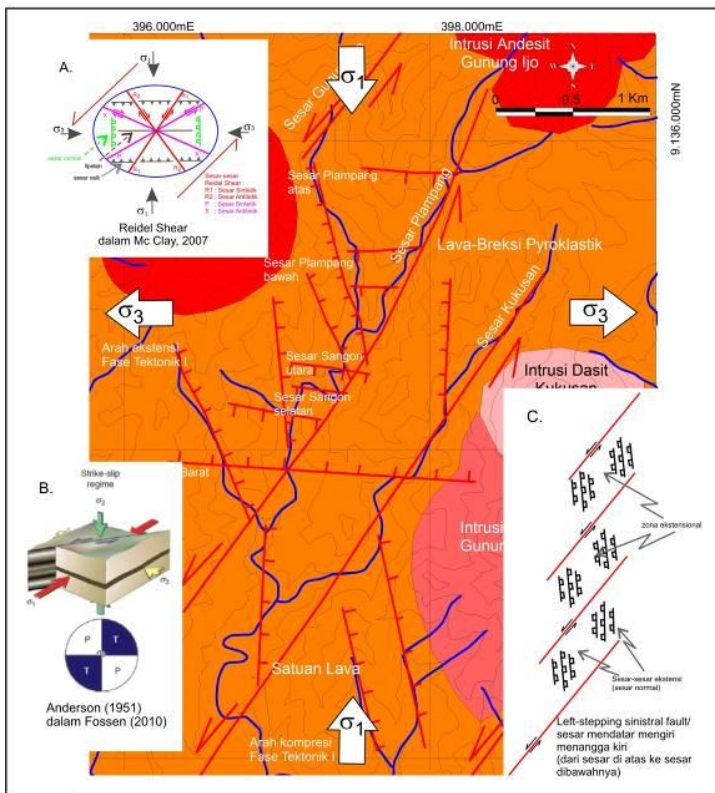


Gambar 3.16. Analisis stereografis sesar mendatar kiri (sinistral) Sesar Plampang, Kukusan dan Gunung Telu. Secara umum, gaya utama maksimum berarah utara-selatan dan relatif horisontal, gaya utama terlemah berarah barat-timur dan juga bersifat horisontal. Hal ini menghasilkan pergerakan sesar mendatar (Widagdo, dkk, 2017).



Gambar 3.17. Analisis diagram mawar uni dan bi-direksional serta diagram kontur data veinlet/uratan (tebal <1cm) dan vein/urat (tebal >1cm) di daerah Gunung Ijo. Urat yang tebal umumnya berarah utara-selatan dan barat-timur (Widagdo, dkk, 2017).

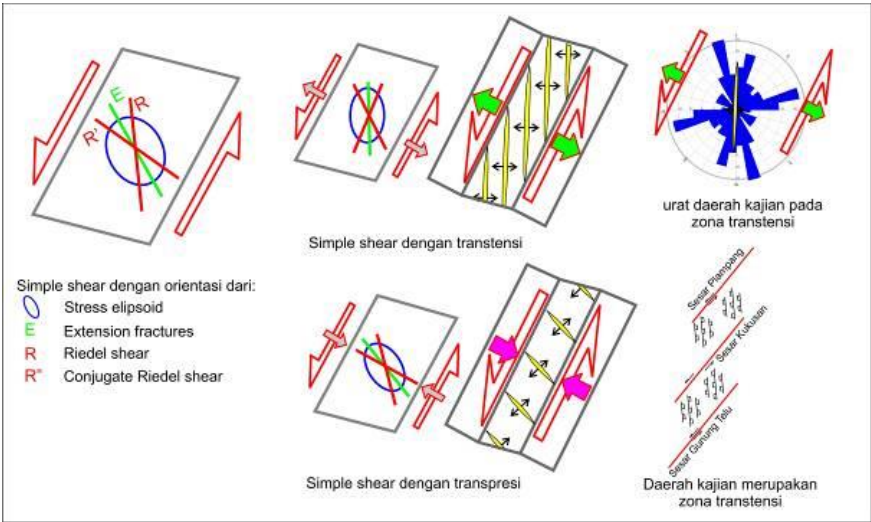
Hasil analisis diagram mawar (Gambar 3.17), urat (tebal lebih dari 1 cm) di daerah Gunung Ijo menunjukkan arah-arah dominan utara-selatan (N-S), barat-timur (E-W) dan utara timurlaut-selatan baratdaya (NNE-SSW). Analisis stereografis urat-urat ini memiliki kemiringan yang cukup tinggi/terjal, umumnya lebih dari 70 derajat. Pada diagram kipas unidireksional, dimana arah kemiringan urat dipertimbangkan, urat-urat terutama pada arah $N15^{\circ}E$, $N75^{\circ}E$, $N165^{\circ}E$, $N255^{\circ}E$ dan $N345^{\circ}E$. Sedangkan pada diagram kipas bidireksional, dimana hanya mempertimbangkan arah strike saja, urat-urat terutama pada arah $N15^{\circ}E$, $N75^{\circ}E$ dan $N165^{\circ}E$. Urat-urat ini terutama dijumpai pada batuan lava andesit sebagai batuan yang terintrusi oleh intrusi andesit, dasit dan mikrodiorit (Widagdo, dkk, 2017).



Gambar 3.18. Hubungan konsep geologi struktur dengan struktur geologi yang terbentuk pada Fase Tektonik I, dengan arah kompresi relatif utara-selatan di daerah contoh kasus. A). Konsep Reidel Shear dalam Mc Clay 2007; B). Konsep Stress dan rezim tektonik Anderson 1951 dalam Fossen 2007; C). Konsep stepping fault dalam Mc Clay 2007 (Widagdo, dkk, 2017).

Uratan/veinlet (tebal kurang dari 1 cm) di daerah penelitian menunjukkan arah-arrah dominan timurlaut-baratdaya (NE-SW). Berdasarkan analisis stereografis uratan-uratan ini memiliki kemiringan yang cukup tinggi/miring tinggi, umumnya lebih dari 75 derajat. Dengan mempertimbangkan arah kemiringan, seperti pada diagram kipas unidireksional, uratan terutama pada arah N25°E, N45°E, N275°E dan N235°E.

Sedangkan pada diagram kipas bidireksional, dimana hanya mempertimbangkan arah strike saja, urat-urat terutama pada arah N45°E (Widagdo, dkk, 2017). Uratan-uratan ini terutama dijumpai pada batuan lava andesit-breksi andesit sebagai batuan yang terintrusi oleh intrusi andesit, dasit dan mikrodiorit.



Gambar 3.19. Konsep simple shear dan pembentukan urat dan kekar tarik pada zona transtensi di daerah penelitian menurut Van Aswagen (2012) dalam Widagdo dkk, 2017.



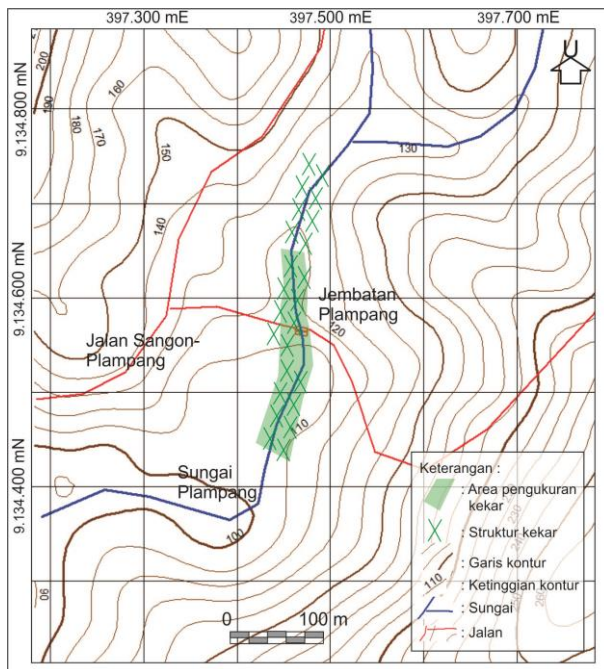
Gambar 3.20. Jalur sesar mendatar kiri yang membentuk breksiasi, kekar tarik, urat kuarsa pada batuan lava andesit (Widagdo, dkk, 2017).

3.7. Contoh Kasus Kontrol Sesar Sinistral pada Kerusakan Jembatan

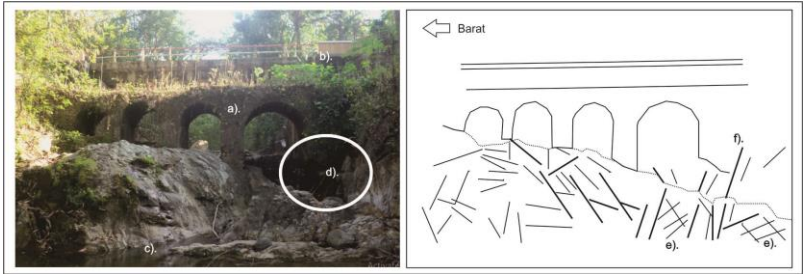
Daerah contoh kasus berada di Jembatan Plampang daerah Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo-Yogyakarta (Gambar 3.21). Di daerah Jembatan Plampang ini dijumpai batuan beku vulkanik andesit sebagai batuan penyusun utama Pegunungan Klonprogo. Batuan ini adalah Formasi Andesit Tua yang merupakan batuan berumur Oligosen menurut Van Bemmelen (1970) dan Soeria-Atmadja dkk (1994). Batuan ini telah mengalami rekahan atau kekar yang intensif (Isjudiarto, 2009). Daerah ini merupakan jalur sesar mendatar kiri berarah timurlaut-barat daya (NE-SW) menurut Widagdo dkk. (2017). Ulasan ini dilakukan guna mempelajari bagaimana kekuatan batuan penopang pondasi jembatan yang ada sekitar jembatan Sungai Plampang di daerah Kokap. Contoh kasus ini juga menjelaskan bagaimana batuan dasar jembatan Sungai Plampang ini dapat tergerus hingga menyebabkan pondasi jembatan di atasnya menjadi menggantung (Widagdo dkk, 2022).



Gambar 3. 21. Lokasi daerah contoh kasus di bagian selatan Pulau Jawa termasuk dalam Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (widagdo dkk., 2022)



Gambar 3.22. Peta topografi sekitar daerah Jembatan Sungai Plampang (widagdo dkk., 2022).



Gambar 3.23. Gangguan pondasi jembatan akibat rekahan intensif pada jalur sesar sinistral, a). Jembatan lama, b). Jembatan baru, c). Sungai Plampang, d). Pondasi jembatan menggantung, e). Kekar gerus, f). Kekar tarik (widagdo dkk., 2022).

Paja jalur sesar sinistral Plampang terdapat kekar gerus (Tabel 3.2) di daerah kajian memiliki kemiringan bidang kekar yang lebih landai dibanding kekar tarik (Tabel 3.3). Hasil pengukuran kekar gerus sebanyak 50 data menunjukkan kemiringan yang bervariasi mulai 20° hingga 86°. Kemiringan terkecil bernilai 20° (Gambar 3.24) dengan kemiringan terbanyak berada pada interval 50° hingga 60°.

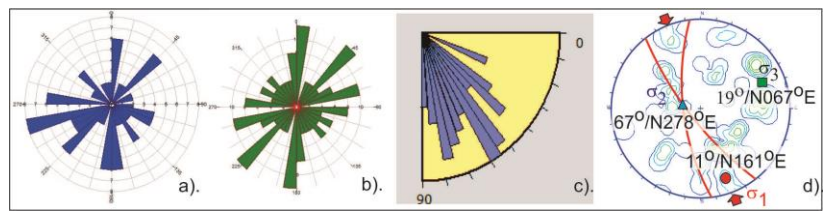
Tabel 3.2. Hasil pengukuran kekar gerus di dasar sungai sekitar Jembatan Plampang

No	Jurus/Strike (N.....°E)	Kemiringan/ Dip (.....°)
1	310	65
2	308	74
3	240	22
4	330	46
5	345	83
6	270	65
7	103	78
8	24	50
9	150	56
10	270	80
11	226	72
12	63	83
13	5	20
14	90	53
15	250	55
16	180	65
17	45	63
18	310	58
19	106	40
20	163	35
21	115	85
22	210	52
23	120	43
24	30	40
25	234	61
26	249	53
27	170	75
28	222	53
29	170	73
30	253	45
31	115	55
32	70	75
33	356	55
34	6	36
35	1	35
36	235	58
37	185	74
38	138	75
39	170	66
40	206	52
41	225	40
42	144	77
43	250	74
44	290	53
45	270	60
46	47	57
47	144	78
48	250	86
49	182	56
50	45	42

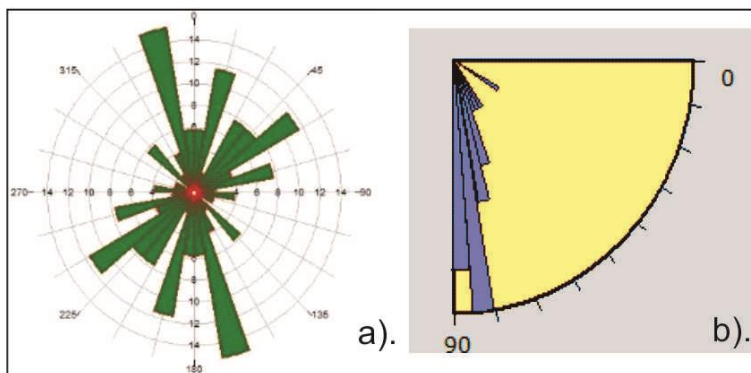
Hasil pengukuran kemiringan/dipping kekar tarik (Tabel 3.3) menunjukkan nilai kemiringan yang lebih tinggi dibandingkan kekar gerus di daerah kajian. Kemiringan kekar yang bersifat terbuka dan umumnya terisi mineral kuasa, kalsir dan pirit ini secara dominan antar 80°-85° (Gambar 3.25).

Tabel 3.3. Hasil pengukuran kekar tarik didasar sungai sekitar Jembatan Plampang

No	Jurus/ Strike (N...°E)	Kemiri- ngan/ Dip (.....°)	Lebar (cm)	No	Jurus/ Strike (N...°E)	Kemiri- ngan/ Dip (.....°)	Lebar (cm)
1	75	81	2	27	110	70	2
2	163	74	2	28	150	78	2
3	44	85	1	29	10	82	1
4	50	62	2	30	30	87	0,3
5	50	68	1	31	273	83	0,2
6	240	30	0,5	32	170	76	14
7	235	80	2	33	20	74	2
8	75	85	0,5	34	185	82	1
9	60	86	1	35	47	86	1
10	70	76	2	36	45	58	0,5
11	315	80	1	37	11	82	1
12	160	80	2	38	310	79	5
13	235	75	3	39	30	80	1
14	70	77	5	40	10	82	1
15	230	82	0,5	41	148	72	3
16	218	80	0,5	42	150	82	1,5
17	227	85	0,4	43	340	85	4
18	195	80	0,5	44	355	82	1
19	82	85	0,5	45	342	85	2
20	35	86	0,6	46	17	80	1,5
21	55	82	0,8	47	345	82	2,7
22	170	85	2	48	5	86	1
23	195	84	1,5	49	342	82	2
24	130	80	1	50	163	75	3
25	280	82	0,7	51	2	86	2,5
26	345	85	2,3	52	92	85	0,2



Gambar 3.24. Analisa kekar gerus daerah studi kasus, a). Diagram bunga uni-direksional, b). Diagram bunga bi-direksional, c). Diagram kipas kemiringan/dip kekar gerus, d). Diagram kontur kekar gerus dan gaya-gaya pembentuk kekar gerus.



Gambar 3.25. Analisa kekar tarik daerah studi kasus, a). Diagram bunga bi-direksional kekar tarik, b). Diagram kipas kemiringan/dip kekar tarik,

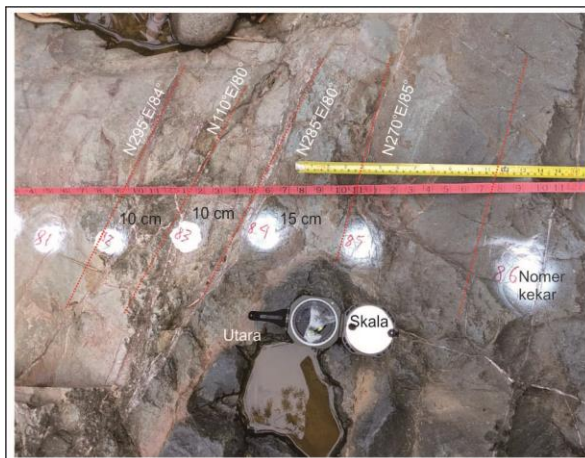
Kekar merupakan hasil deformasi batuan yang bersifat deformasi rapuh yang umum dijumpai pada lava andesit di daerah ini. Zona pembentukan kekar yang intensif merupakan zona lemah yang rentan terhadap erosi aliran sungai. Pembentukan kekar terutama kekar gerus menyebabkan hilangnya ikatan antar bagian batuan yang telah retak. Sehingga batuan yang mengalami kekar gerus umumnya akan mudah tergerus dan terlepas dari batuan di sekitarnya. Kekar tarik umumnya terisi mineral kuarsa atau kalsit dan mineral ubahan (Harjanto, 2010; Setiabudi, 2005; Pramumijoyo dkk 2017; Verdiansyah, 2019 dan Sugarbo, 2019) di sekitarnya, memiliki sifat yang mudah tergerus oleh aliran air (Gambar 3.26). Batuan yang mengalami kekar tarik dengan kemiringan umum vertikal umumnya akan mudah tergerus secara vertikal pula.

Pada Gambar 3.23 dan 3.26 ditunjukkan erosi dasar sungai di mana pondasi jembatan dibangun. Pondasi jembatan ini kini pada posisi menggantung, akibat erosi batuan di bawah pondasi. Batuan beku andesit di bawah jembatan ini mengalami kekar yang intensif dan dengan arah rekahan yang bervariasi (Gambar 3.24 dan 3.25). Sepasi kekar yang rapat menyebabkan batuan pecah dalam ukuran kecil sehingga mudah terlepas dari ikatan dengan batuan di sekelilingnya. Pada akhirnya erosi vertikal mengikuti kekar tarik berkemiringan tinggi/hamper tegak dan erosi lateral berlangsung secara intensif mengikuti bidang kekar gerus yang lebih landai.



Gambar 3.26. Jalur sesar sinistral di bawah pondasi yang menjadi tempat munculnya air tanah pada musim kemarau.

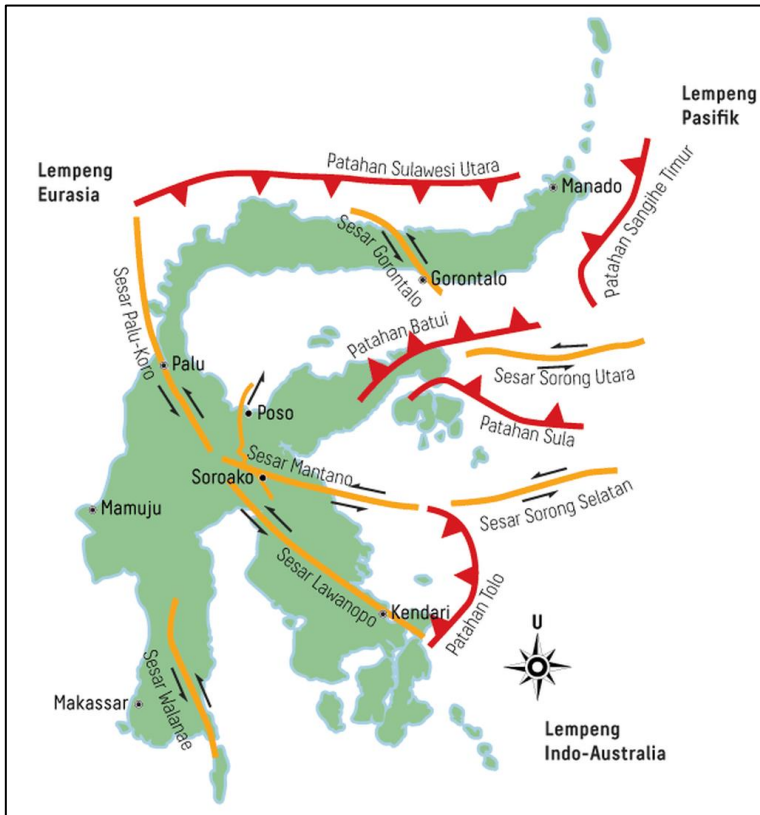
Tubuh sungai di daerah kajian umumnya mengalir mengikuti jalur kekar tarik atau ekstensi yang merupakan jalur lemah. Pada jalur ini batuan beku andesit yang awalnya sangat kompak dan keras kemudian mengalami ubahan dan terjadi pembentukan mineral sekunder yang membuat batuan menjadi lebih rapuh. Jalur lemah ini bersama dengan kekar gerus/*shear joint* di sekitarnya membentuk zona yang lebih lebar sebagai zona lemah yang memanjang searah aliran sungai. Pada akhirnya batuan dasar jembatan akan mudah tergerus hingga mengganggu stabilitas jembatan di atasnya.



Gambar 3.27. Spasi kekar tarik atau kekar terbuka terisi mineral sekunder dengan kerapatan populasi yang tinggi akibat sesar sinistral yang membentuk zona transtensional.

3.8. Jalur Sesar Mendatar Kiri Regional di Indonesia

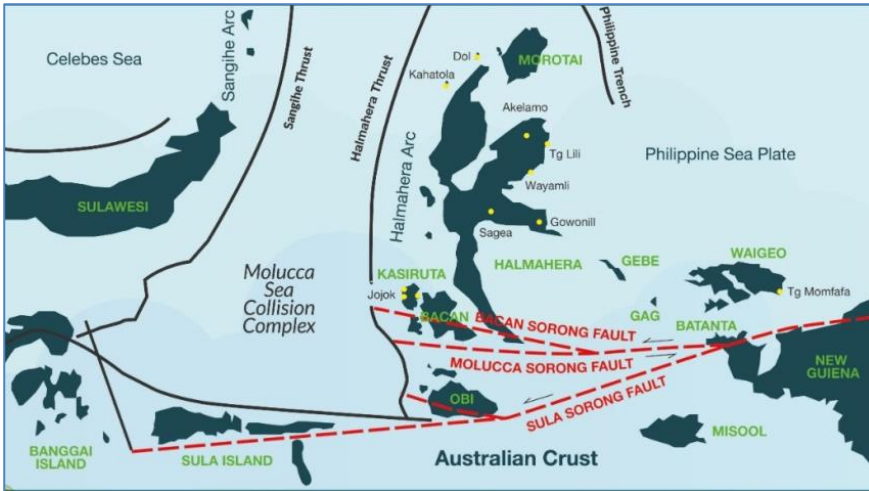
Sesar-sesar sinistral di Pulau Sulawesi (Gambar 3.28) terbentuk akibat gaya utama hasil interaksi dengan Kepulauan Maluku, Papua dan Samudera Pasifik di sebelah timur. Sesar sinistral utama di Sulawesi adalah Sesar Palu-Koro, Sesar Matano, Sesar Lawanopo, Sesar Walanae, dan Sesar Gorontalo. Sesar Palu Koro terletak di sepanjang lembah Palu Koro yang membentang dari Teluk Palu ke arah barat laut dan tenggara. Sesar ini merupakan struktur geologi utama di Provinsi Sulawesi Tengah.



Gambar 3.28. Sesar mendatar kiri di Pulau Sulawesi.

Diakses dari :

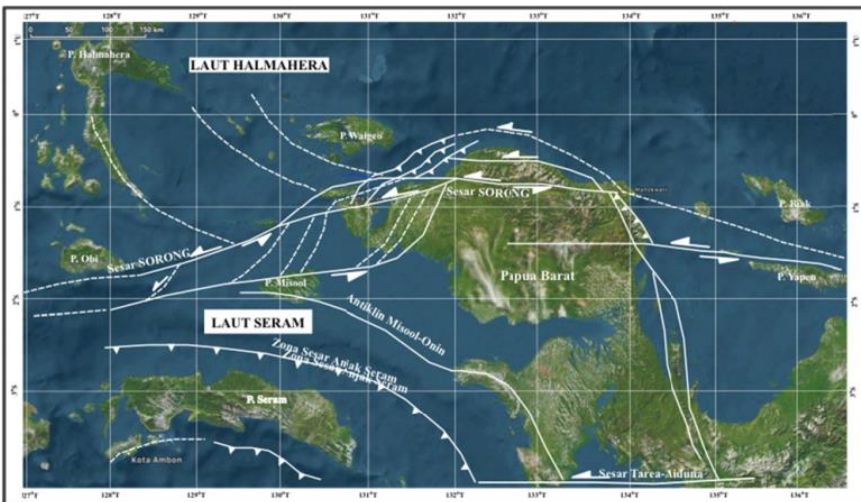
<https://www.kompas.id/baca/nusantara/2018/10/02/mendesak-pemetaan-jalur-sesar-sebagai-langkah-mitigasi/>



Gambar 3.29. Sesar sinistral di Maluku Utara.

Sumber: <https://siagabencana.com/infografik/post/sesar-sorong-bacan>

Sesar sinistral di Kepulauan Maluku Utara (Gambar 3.29) merupakan kelanjutan/*splay* dari Sesar Sorong yang melintas dari timur, membelah bagian atas kepala burung di Papua Barat (Gambar 3.30). Jalur sesar di selatan Pulau Halmahera ini meliputi Sesar Sorong-Bacan, Sorong Maluku dan Sorong-Sula.



Gambar 3.30. Sesar sinistral Sorong di Papua Barat.

Patahan Sorong merupakan zona sesar yang membentuk kelurusan lembah yang dalam dan sempit, berarah hampir barat-timur yang memotong bagian utara Kepala Burung. Sesar tersebut memanjang 400 km mulai dari barat laut Manokwari, memotong bagian utara Kepala Burung, sampai dengan Kota Sorong dan meneruskan ke Selat Sagewin di selatan Pulau Batanta. Sesar Sorong diyakini sebagai sesar geser mengiri, walaupun tidak cukup bukti kuat untuk hal ini. Aktivitas Sesar Sorong ditunjukkan oleh adanya kegempaan dangkal di kawasan ini.

Sesar Sorong merupakan kelanjutan dari zona sesar geser aktif mengiri Yapun-Sorong diduga aktif sejak Akhir Miosen dengan panjang mencapai lebih dari 1000 km. Zona Sesar Sorong merupakan kompleks *mélange* yang terbentuk pada sistem subduksi pra-Pliosen. Zona sesar ini sering ditafsirkan sebagai sesar geser atau kemungkinan sebagai suatu *suture* atau sesar transform, yang mengandung komponen sesar geser (sinistral) yang menghubungkan Lempeng Pasifik di sisi utara dan Lempeng Australia di sisi selatan. Di sisi utara sistem Sesar Sorong ditempati batuan berasosiasi dengan Lempeng Laut Filipina sedangkan di sisi bagian selatan sesar didominasi batuan Kerak Benua Australia yang ditutupi oleh batuan dari Zona Tektonik Buru-Salawati.



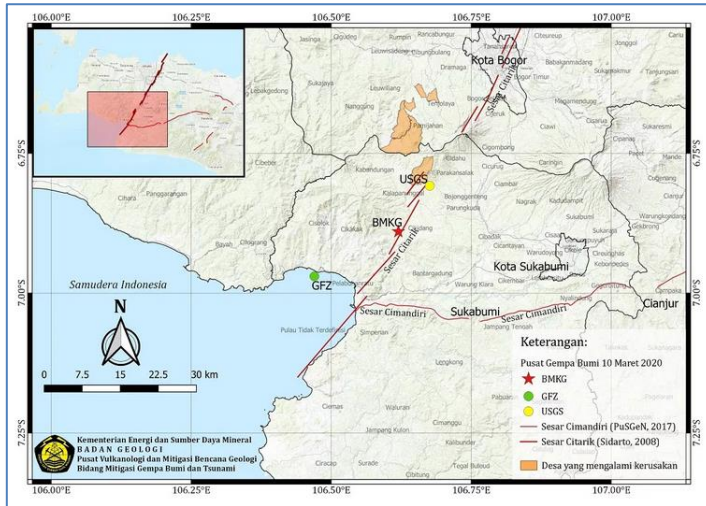
Gambar 3.31. Sesar sinistral Sorong di utara Papua
<https://distamben.papua.go.id/pr011111.htm>



Gambar 3.32. Sesar Opak di sebelah timur Kota Yogyakarta.

Sesar Opak merupakan sesar yang berada di sekitar Sungai Opak, di Daerah Sleman dan Bantul-Yogyakarta. Sungai Opak sendiri berhulu di Gunung Merapi, lalu mengalir ke selatan dengan muara menghadap ke langsung ke Samudra Hindia di Pantai Samas, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Sesar mendatar kiri Opak ini berarah timur laut-barat daya, searah relatif dengan Sungai Opak.

Sesar tersebut bukan hanya hadir sebagai batas daerah dengan morfologi rendah Yogyakarta di sebelah barat dengan tinggian Wonosari (Gunung Sewu) di timur, tetapi Sesar Opak adalah patahan yang juga merusak serta dianggap pemicu Gempa Bumi 6,3 SR yang mengguncang Yogyakarta pada 27 Mei 2006.

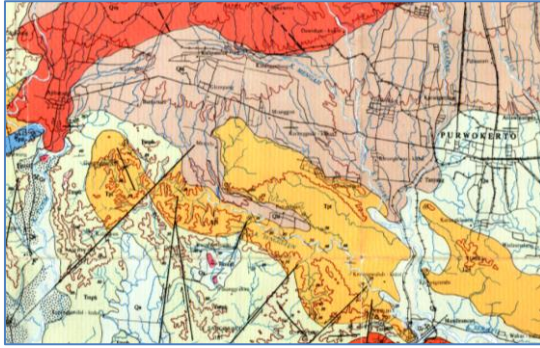


Gambar 3.33. Sesar Citarik dari Teluk Pelabuhan Ratu di Sukabumi hingga Jakarta utara

<https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/gempa-bumi-kalapanunggal-sukabumi-satu-bukti-aktivitas-sesar-citarik>.

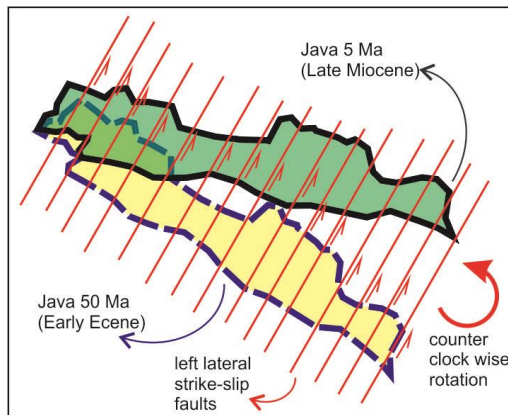
Sesar Citarik (Gambar 3.33) mempunyai orientasi utara timur laut-selatan barat daya (NNE-SSW), memanjang namun tersegmentasi melalui daerah Pelabuhan Ratu, Bogor, hingga Bekasi dan Jakarta. Sesar ini diperkirakan telah aktif sejak belasan juta tahun lalu dan masih aktif hingga saat ini dengan mekanisme sesar geser/mendatar mengiri (sinistral strike slip fault).

Beberapa kejadian gempa bumi merusak yang pusatnya berada di sekitar Sesar Citarik, diantaranya terjadi pada 23 Juli 1962 (M5,0), 26 November 1973 (M4,9), dan 4 Juni 2012 (M6,1). Pada bulan Agustus 2019, terjadi pula rangkaian gempa bumi pada jalur patahan ini dengan kekuatan bervariasi antara M2,0-M4,2.



Gambar 3.34. Sesar sinistral di sebelah barat Kota Purwokerto-Banyumas, Jawa Tengah yang memotong batuan muda (Djuri, dkk., 1996).

Konstelasi Pulau Jawa telah berubah sepanjang periode waktu geologi. Ia berputar 20° berlawanan arah jarum jam dari Eosen (50 juta tahun lalu) sampai Miosen Akhir (5 juta tahun lalu). Arah Pulau Jawa $N60^\circ W$ pada Eosen Awal menjadi $N80^\circ W$ pada Miosen Akhir. Hal ini dapat terjadi karena pergerakan beberapa patahan dengan kecepatan pergerakan yang berbeda. Sesar sinistral sebelah timur harus lebih aktif daripada yang di sebelah barat untuk membuat rotasi seperti itu (Gambar 3.35).



Gambar 3.35. Rotasi/perputaran Pulau Jawa dari Eosen ke Miosen akibat sesar sinistral.

BAB IV

KESIMPULAN

1. Sesar mendatar/strike-slip fault atau patahan geser terdiri atas sesar mendatar kanan/dextral dan kiri/sinistral yang terbentuk oleh gaya kompresional terkuat dan terlemah dari arah horizontal atau datar.
2. Jalur patahan mendatar dapat mengalami pembelokan-pembelokan arah atau pertampalan yang memungkinkan pembentukan zona ekstensi dan zona kompresi.
3. Struktur penyerta seperti kekar, lipatan, sesar turun, sesar naik umum dijumpai pada jalur sesar mendatar.
4. Sesar mendatar memiliki arti penting dalam eksplorasi sumberdaya mineral, hidrokarbon, infrastruktur, kebencanaan dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmaluddin, Setijadji, D.L., Watanabe, K., and Itaya, T., 2005. New Interpretation on Magmatic Belts Evolution During the Neogene-Quaternary Periods as Revealed from Newly Collected K-Ar Ages from Central-East Java, Indonesia. Proceedings Joint Convention Surabaya-HAGI-IAGI-PERHAPI, The 30th HAGI, The 34th IAGI, and The 14th PERHAPI Annual Conference and Exhibition, Surabaya.
- Ansori, C dan Hastria, D., 2013. Studi Alterasi dan Mineralisasi di Sekitar Gunung Agung Kabupaten Kulon Progo-Purworejo. Buletin Sumberdaya Geologi, volume 8 no 2.
- Bari, A., Rosana, M.F. dan Haryanto, I., 2020. Kontrol Struktur Geologi Pada Alterasi dan Mineralisasi di daerah Cibaliung Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten. Buletin Sumberdaya Geologi, vol. 15, no. 1 : 73-87
- Bronto, S., 2006. Fasies Gunungapi dan Aplikasinya. Jurnal Geologi Indonesia, vol. 1 no. 2.
- Berger, B.R., 2016. The 3D Fault and Vein Architecture of Strike-Slip Releasing and Restraining Bends: Evidence from Volcanic-Centre-Related Mineral Deposits. Geological Society, London, Special Publications, vol. 290, pp. 447–471.
- Chauvet, A., 2019. Structural Control of Ore Deposits: The Role of Pre-Existing Structures on the Formation of Mineralised Vein Systems. Journal Minerals, vol. 9, no. 56, pp. 5-26.
- Coe, A.L., 2010. Geological Field Techniques. Milton Keynes, United Kingdom.
- Davis, G.H. and Reynolds, S.J., 1996. Structural Geology of Rock and Regions. 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc. , New York.
- Djuri, M., Samodra, H., Amin, T.C. dan Gafoer, S., Peta Geologi Lembar Purwokerto Tegal-Jawa. Skala 1:100.000. Direktorat Geologi Lingkungan Bandung, 1996.
- Dooley, T.P. and McClay, K., 1997. Analogue Modelling of Pull-Apart Basins. AAPG Bulletin, vol. 81, p.1804-1826.
- Dooley, T.P. and Schreurs, G., 2012. Analogue Modelling of Intraplate Strike-Slip Tectonics: A Review and New Experimental Results. Tectonophysics, pp. 574–575
- Fossen, H., 2010. Structural Geology. Cambridge University Press, New York.

- Fridovsky, V.Y., Kudrin, M.V. and Polufuntikova, L.I., 2018. Multi-Stage Deformation of the Khangalas Ore Cluster (Verkhoyansk-Kolyma Folded Region, Northeast Russia): Ore-Controlling Reverse Thrust Faults and Post-Mineral Strike-Slip Faults. *Journal Minerals*, vol. 8, no. 270, pp. 2-18.
- Harjanto, A., 2010. Alterasi Akibat Proses Hidrotermal di Daerah Kulon Progo dan Sekitarnya-Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Kebumihan Teknologi Mineral*, vol. 23, no. 3.
- Herman, D.Z., 2006. Model Fasies Gunung Api Dalam kaitannya Dengan Ubahan Hidrotermal dan Mineralisasi Di Daerah Selogiri, Kabupaten Wonogiri-Jawa Tengah. *Buletin Sumberdaya Geologi*, vol 1, no. 1: 43-53.
- Idrus, A., Fatimah, D.Y., dan Hakim, F., 2015. Karakteristik Alterasi dan Mineralisasi Emas Pada Sistem Epitermal Prospek Randukuning, Kecamatan Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan Ke-8, Teknik Geologi-UGM, Yogyakarta*.
- Isjudiarto, A., 2009. Hubungan Tektonik Pembentukan Kubah Kulon Progo Dengan Terdapatnya Endapan Mineral Logam Di Daerah Kokap, Kulon Progo. *Seminar Nasional Ke-4, Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi, STTNAS, Yogyakarta*.
- McClay, K.R., 2007. *The Mapping of Geological Structures*. John Wiley and Sons, London.
- Patria, A. and Aulia, A.N., 2020. Structural And Earthquake Evaluations Along Java Subduction Zone, Indonesia. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, vol. 30, no. 1: 65-79.
- Permana, H., Putram P.S., Ismayanto, A.S., Setiawan, I., dan Hendrizan, M., 2010. Studi Pendahuluan Evolusi Cekungan Laut Dalam Busur Belakang di bagian barat laut Pulau Jawa. *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI*, hal. 185-199.
- Pramumijoyo, P., Idrus, A., Warmada, I.W., and Yonezu, K., 2017. Geology, Geochemistry and Hydrothermal Fluid Characteristics of Low Sulfidation Epithermal Deposit in the Sangon Area, Kokap, Special Region of Yogyakarta. *Journal of Applied Geology*, vol. 2, no. 1 pp. 48-58.
- Rahmadani, V.B., Bahar, H., Yuwanto, S.H., dan Utamakno, L., 2021. Studi Alterasi dan Mineralisasi Daerah Keloran dan Sekitarnya, Kecamatan Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan ITATS Surabaya*, vol. 3, no. 1, hal. 482-486.
- Ragan, D.M., 2009. *Structural Geology, an Introduction to Geometrical Techniques*. 4th edition, Cambridge, New York.

- Rowland, S.M., Deubendorfer, E.M. and Schiefelbein, I.M.S., 2007. Structural Analysis and Synthesis, a Laboratory Course in Structural Geology. 3rd edition, Blackwell Publishing.
- Setiabudi, B.T., 2005. Penyebaran Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emas Di Daerah Sangon, Kabupaten Kulon Progo, Propinsi D.I. Yogyakarta. Kolokium Hasil Lapangan, Direktorat Inventarisasi Sumberdaya Mineral/DIM.
- Shulgin, A., Kopp, H., Meller, C., Planert, L., Lueschen, E., Flueh, E.R., and Djajadihardja, Y., 2011. Structural architecture of oceanic plateau subduction offshore Eastern Java and the potential implications for geohazards. *Geophysical Journal Internasional*, vol. 184, hal. 12-28.
- Singhal, B.B.S., and Gupta, R.P., 2010. *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Springer Science Business Media.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C., Bellon, H., Pringgopawiro, H., Polves, M., and Priadi, B., 1994. Tertiary Magmatic Belts In Java, *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*. vol 9, no.1.
- Song, Y, Yang, C, Wei, S., Yang, H., Fang, X. and Lu, H., 2018. Tectonic Control, Reconstruction and Preservation of the Tiegelongnan Porphyry and Epithermal Overprinting Cu (Au) Deposit, Central Tibet, China. *Journal Minerals*, vol. 8, no. 398, pp. 1-17.
- Sugarbo, O., 2019. Tinjauan Awal Hubungan Vulkanostratigrafi Dengan Tipe Mineralisasi Daerah Kokap, Kulon Progo, Yogyakarta. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIV Tahun 2019 (ReTII), pp. 338-346.
- Suppe, J., 1985. *Principles of Structural Geology*. 1st ed, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Sutarto, Idrus, A., Harijoko, A., Setijadi, L.D., Meyer, F.M., Sindern, S., dan Putranto, S., 2016. Hydrothermal Alteration and Mineralization of the Randu Kuning Porphyry Cu-Au and Intermediate Sulphidation Epithermal Au-Base Metals Deposits in Selogiri, Central Java, Indonesia. *Journal of Applied Geology*, vol. 1, no. 1, pp. 1-18.
- Tuduri, J., Chauvet, A., Barbanson, L., Bourdier, J.L., Labriki, M, Ennaciri, A., Badra, L., Dubois, M., Leloix, C.E., Sizaret, S. and Maacha, L., 2018. The Jbel Saghro Au(-Ag, Cu) and Ag-Hg Metallogenetic Province: Product of a Long-Lived Ediacaran Tectono-Magmatic Evolution in the Moroccan Anti-Atlas. *Journal Minerals*, vol. 8, no. 592, pp. 1-48.
- Van Aswagan, G. and Stander, M. (2012). Origins of some fractures around tabular stopes in deep South African mines, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, vol 112.

- Van Bemmelen, R.W., 1970, The Geology of Indonesia, Vol. 1A, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelago, 2nd Edition, Martinus, Nilhoff, The Hague, New York.
- Van Der Pluijm, B.A. and Marshak, S., 2004. Earth Structure, an Introduction to Structural Geology and Tectonics. 2nd edition, WW Norton Company, New York.
- Verdiansyah, O., 2019. A Desktop Study to Determine Mineralization Using Lineament Density Analysis at Kulon Progo Mountains, Yogyakarta and Central Java Province, Indonesia. Indonesian Journal of Geography, vol. 51 no. 1, pp. 31 - 41.
- Wahyudiono, J., Abdullah, C.I., dan Abidin, H.Z., 2011. Kontrol Sesar Terhadap Pola Sebaran Urat Kuarsa Dan Mineralisasi Emas Daerah Kutawaringin, Jawa Barat. Jurnal Sumber Daya Geologi, vol. 21, no. 3, hal. 163-175.
- Widagdo, A., 2008. Fasse-Fase Tektonik Pembentuk Ruang Mineralisasi Emas Di Daerah Selogiri, Wonogiri. Jurnal Dinamika Rekayasa, vol. 4, no. 1, hal. 22-29.
- Widagdo, A., Pramumijoyo, S. dan Harijoko, A., 2017. Kontrol Struktur Geologi Daerah Gunung Ijo Di Pegunungan Kulonprogo Yogyakarta Berdasar Sebaran Kekar, Sesar dan Urat Kuarsa. Proceeding Seminar Nasional Kebumian Ke-10, Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, hal. 1072-1090.
- Widagdo, A., Pramumijoyo, S., dan Harijoko, A., 2022. Struktur Kekar sebagai Pengganggu Stabilitas Bangunan Jembatan di Daerah Plampang-Kokap, Yogyakarta. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, vol. 13, no. 1, hal. 13-23.
- Widiasmoro, 1994. Evolusi Magma pada Kala Oligosen di Daerah Prambanan-Patuk-Imogiri-Parangtritis Daerah Istimewa Yogyakarta. Preceedings Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa Sejak Akhir Mesozoik Hingga Kuarter, Yogyakarta.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 27 Agustus 1976 di Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pendidikan sekolah dasar (SD) diselesaikannya di SD Negeri Karangasem-Sidomulyo-Pengasih-Kulonprogo antara tahun 1982-1988. Pendidikan SMP diselesaikan di SMP Negeri 2 Wates, di Pengasih-Kulonprogo antara tahun 1988-1991. Pendidikan SLTA diselesaikannya di SMA Negeri 1 Wates-Kulonprogo antara tahun 1991-1994. Penulis menyelesaikan program Sarjana Strata 1 di Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada-Yogyakarta pada tahun 2000. Pendidikan S-2 di perguruan tinggi yang sama diselesaikan pada tahun 2006. Pada tahun 2008 penulis bergabung dengan Universitas Jenderal Soedirman sebagai staf pengajar pada Program Studi Teknik Geologi. Jenjang S-3 ditempuhnya antara tahun 2015-2020 di Universitas Gadjah Mada (UGM)-Yogyakarta.



UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
Gd. UNSOED Press
Jalan Prof. Dr. H.R. Boenyamin 708 Purwokerto
Kode Pos 53122 Kotak Pos 115
Telepon (0281) 626070
Email: unsoedpresspwtt@gmail.com

ISBN 978-623-465-012-9



9 786234 650129