

Analisa Struktur Geologi

10.1 Pendahuluan

Analisa struktur geologi dapat dilakukan dengan beberapa tahapan dan cara, dimulai dengan *deskripsi geometri*, analisa *kinematika*, yaitu mempelajari sifat gerak dan perubahan yang terjadi pada batuan, sampai pada analisa *dinamikanya*, yaitu mempelajari pengaruh gaya atau tegasan yang menyebabkan terjadinya deformasi pada batuan.

Analisa struktur dapat dilakukan secara langsung, artinya dengan pengamatan secara seksama pada suatu singkapan, atau secara tidak langsung yaitu dengan mempelajari dari peta-peta atau citra yang ada, penampang, dari pemboran atau profil seismik, yang kemudian dilanjutkan dengan menerapkan teori-teori dan konsep-konsep yang berlaku, untuk sampai pada suatu interpretasi.

Pengamatan secara langsung dilapangan merupakan langkah yang sangat fundamental. Pada pengamatan secara langsung, selain analisa yang sifatnya deskriptif geometri, juga dapat dilakukan pengamatan tentang kinematikanya, misalnya, jenis kekar, gejala lipatan seretan (*drag fold*) karena sesar, cermin sesar (*slickensides*), gores-garis (*striation*), stilolit, bidang belahan dan sebagainya. Hasil analisa ini sangat bermanfaat untuk secara langsung dapat memastikan tentang jenis struktur dan menginterpretasikan sifat dari gaya atau tegasan (proses dinamika) yang bekerja pada pembentukan struktur tersebut.

Dalam kenyataan di lapangan struktur geologi seringkali tidak dijumpai dalam keadaan yang baik dan lengkap. Beberapa faktor pembatas, antara lain adalah keadaan singkapan (Soil yang tebal, vegetasi yang lebat, dan lain-lain), dan jangkauan pengamatan. Oleh karena itu pengamatan bentuk bentang alam (Geomorfologi) dan interpretasi foto udara seringkali membantu dalam analisa struktur.

10.2 Penyajian Data

Untuk mempelajari struktur geologi di lapangan lebih terperinci, seringkali dilakukan pengamatan dan pengukuran beberapa jenis unsur struktur dalam jumlah banyak. Hasil pengukuran unsur struktur dilapangan sebelum dianalisa, terlebih dahulu diolah dan disajikan pada peta, penampang terinci dan dilengkapi dengan diagram-diagram.

Penyajian pada diagram merupakan pengelompokkan satu atau beberapa jenis unsur struktur, yang umumnya disajikan dalam bentuk diagram frekwensi/roset atau diagram kontur. Beberapa unsur struktur yang bidang

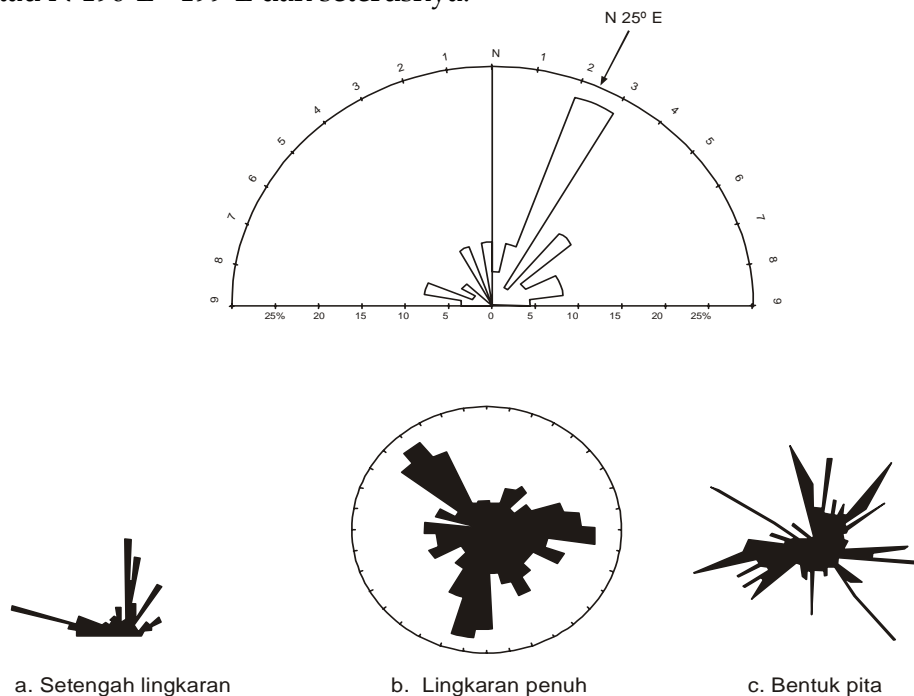
perlapisan atau foliasi, sumbu lipatan, cermin sesar, lineasi mineral, milonit, orientasi fragmen dan sebagainya.

10.2.1. Diagram Roset

Diagram roset dipakai untuk penyajian data hasil pengukuran arah atau jurus, yang ditunjukkan sesuai dengan azimuthnya, dan frekwensinya ditunjukkan dalam besaran persentase dari total pengukuran. Diagram roset digambarkan dalam lingkaran penuh atau setengah lingkaran dengan jari-jari sebagai fungsi dari kerapatan dan busur lingkaran sebagai arahnya. Beberapa bentuk diagram roset ditunjukkan dalam (gambar 10.1 a, b, c).

Pengelompokkan dilakukan pada arah NE dan NW atau SE dan SW dalam interval tertentu dan kerapatannya dinyatakan dalam prosen (%), terhadap jumlah seluruh pengukuran, biasanya jari-jari lingkaran adalah jumlah % terbesar. Pada diagram, sehingga gambar unsur struktur yang disajikan lebih nyata pada peta.

Apabila diagram roset yang dibuat setengah lingkaran, perlu diingatkan bahwa pembuatan interval pada NE dan SW atau NW dan SE harus tidak berimpit, misalnya satu interval yang sama N 0° - 90°E tidak boleh sama dengan N 10°E - 190°E atau N 190°E - 199°E dan seterusnya.

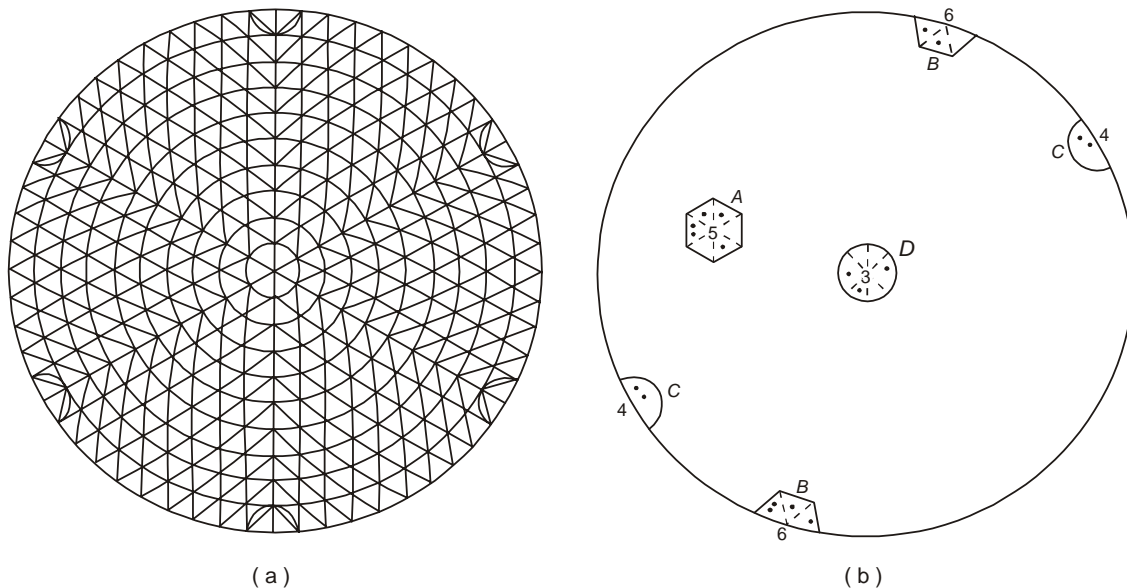


Gambar 10.1 Diagram roset dan beberapa jenis cara penyajiannya

10.2.2. Diagram Kontur

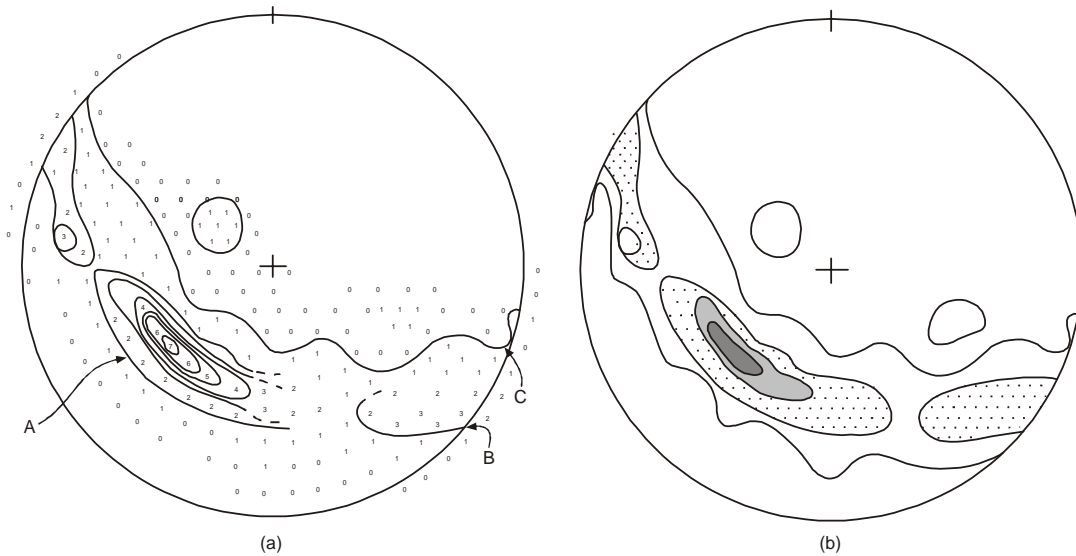
Diagram kontur ini dipakai untuk data hasil pengukuran unsur struktur, arah atau jurus dan besar penunjaman atau kemiringan. Dasar yang dipakai adalah proyeksi kutub suatu bidang. Diagram kontur dibuat untuk mendapatkan distribusi dan kerapatan dari hasil pengukuran dalam suatu area lingkaran proyeksi. Oleh karena itu jaring yang digunakan adalah jaring Schmidt (equal area).

Untuk mendapatkan diagram ini, semua hasil pengukuran di lapangan digambarkan dalam proyeksi kutub, kemudian kerapatannya dihitung dengan jaring penghitung (*Kalsbeek Net*), yang hasilnya merupakan angka kerapatan (gambar 10.2 a). Untuk menghitung kerapatan dalam diagram, hasil proyeksi seluruh pengukuran dibentangkan diatas jaring penghitung. Cara perhitungannya ditunjukkan pada gambar 10.2 b. Perhitungan dilakukan pada setiap titik ujung segitiga dan angka yang didapat adalah jumlah titik proyeksi yang tercakup dalam 6 buah segitiga yang melingkupinya. Beberapa perkecualian ialah apabila titik proyeksi dipinggir, maka perhitungan akan dilakukan bersama dengan titik proyeksi yang terletak berhadapan.



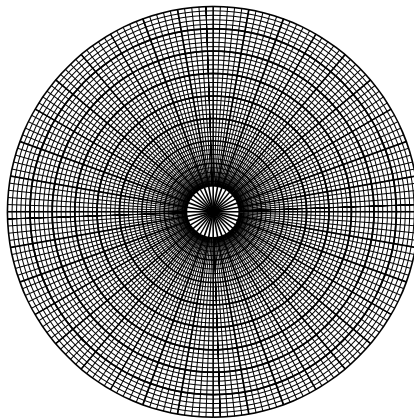
Gambar 10.2.a Jaring penghitung Kalsbeek
b. Cara perhitungan kerapatan

Tahap selanjutnya adalah pembuatan kontur yang sesuai dengan distribusi dan harga kerapatannya. Prinsip pembuatan kontur ditunjukkan dalam gambar 10.3. (A = garis kontur berharga 1) harga kontur merupakan harga persentase dari seluruh pengukuran.



Gambar 10.3 Cara pembuatan kontur (Ragan, 1979)

Selain menggunakan Schmidt net ada cara lain yang lebih praktis untuk memperoleh proyeksi kutub, yaitu dengan *Polar Equal Area Net* akan tetapi jaring ini hanya dapat dipakai untuk mendapatkan proyeksi kutub (gambar 10.4).



Gambar 10.4 Polar Equal Area Net

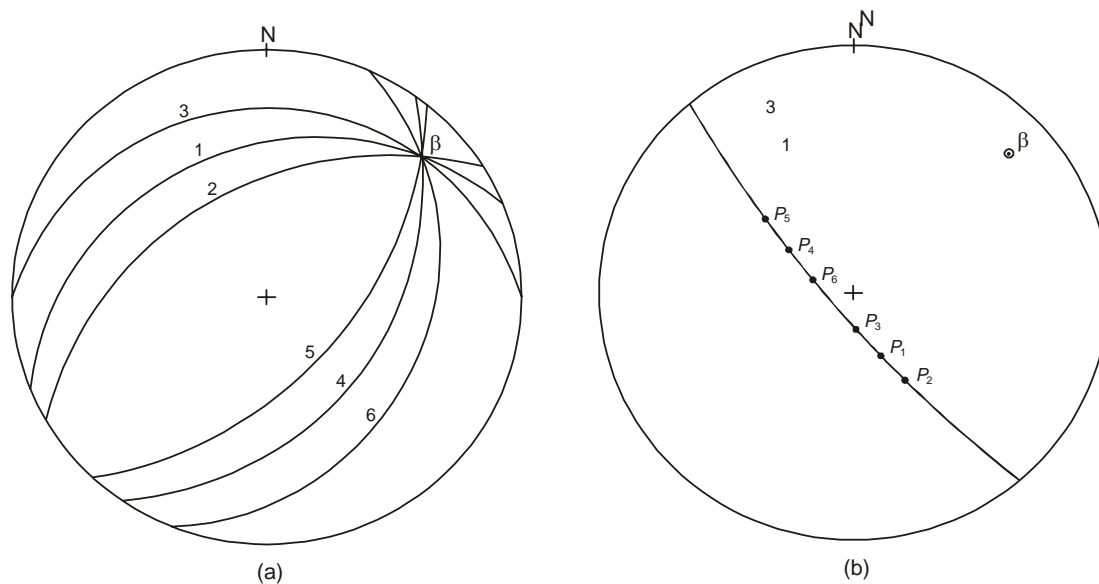
10.3. Analisa Lipatan

Didalam analisa struktur lipatan, hubungan sudut antara garis dan bidang dapat diselesaikan dengan deskripsi geometri. Cara yang lebih praktis adalah dengan menggunakan jaring stereografi, terutama bila kita berhadapan dengan struktur yang kompleks.

10.3.1 S-Pole.Pi(π) dan Beta (β) Diagram

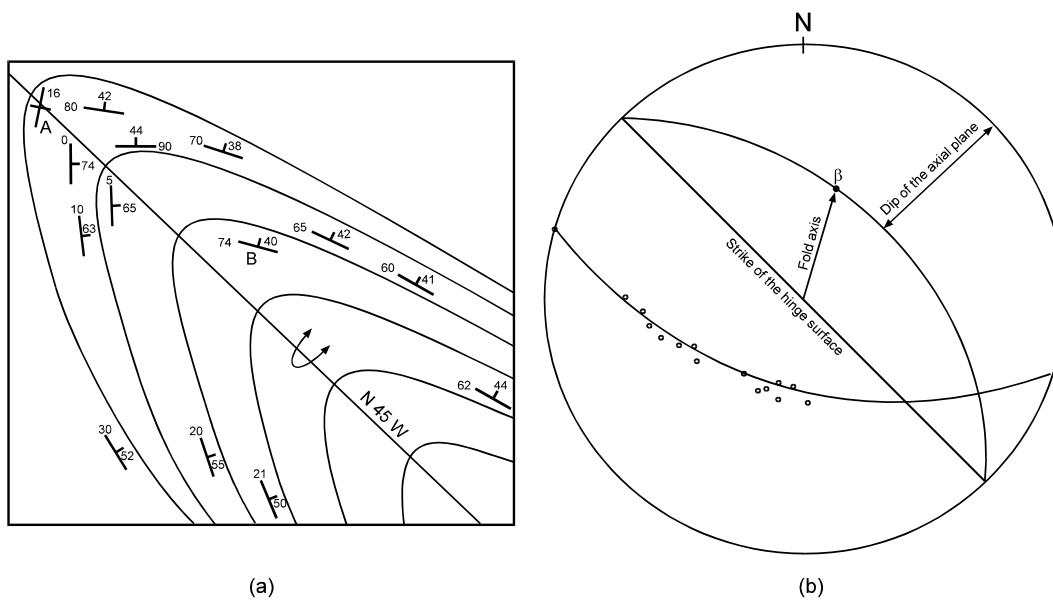
Suatu hasil pengukuran kedudukan bidang-bidang perlapisan diplot pada jaring stereografi. Hasil perpotongan dari proyeksi-proyeksi tersebut akan mengumpul pada satu titik yang disebut Diagram Beta (β), yang menunjukkan kedudukan sumbu lipatan (gambar 10.5 a).

Apabila diplot kutub-kutub dari bidangnya, akan menghasilkan kelompok titik-titik proyeksi yang penyebarannya mengikuti garis lingkaran besar. Titik-titik proyeksi ini disebut Diagram S-Pole (gambar 10.5 b.).



Gambar 10.5 Proyeksi stereografi dari bidang-bidang pada suatu lipatan
a. Diagram Beta b. Diagram Phi

Dari diagram ini akan terbaca kedudukan sumbu lipatan (β) dan besar penunjamannya. Contoh cara melakukan struktur lipatan dengan menerapkan



prinsip diagram ini ditunjukkan pada gambar 10.6.

Gambar 10.6 Kedudukan sumbu dan bidang sumbu dari suatu peta

a. Peta geologi dari suatu lipatan rebah

b. Stereogram yang menunjukkan cara penentuan sumbu dan garis sumbu

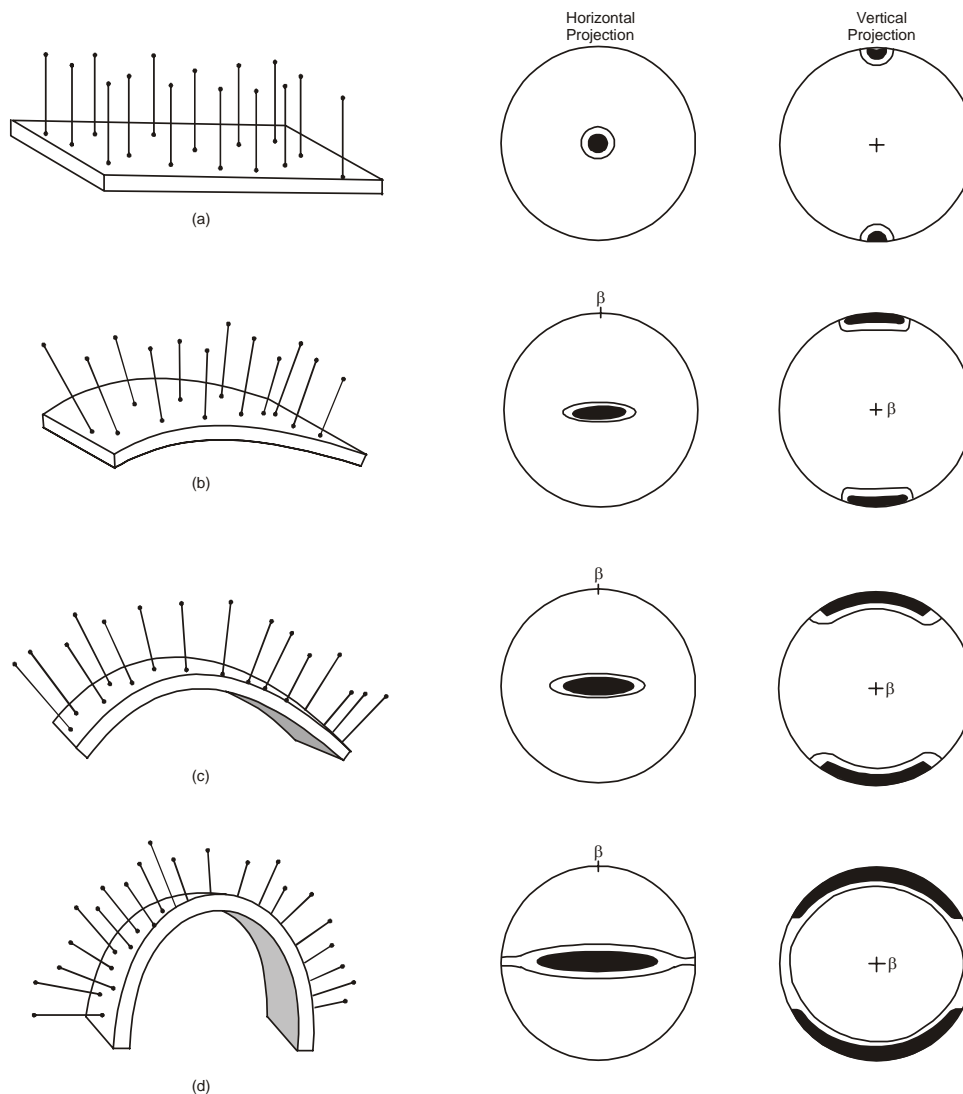
Pada contoh analisa dengan menggunakan S-pole diagram, yaitu contoh pada gambar 11.6, terlihat distribusi proyeksi kutub yang memanjang dan melengkung. Titik-titik tersebut merupakan tempat kedudukan yang dapat ditentukan letaknya dengan menghimpitkan pada garis-garis meridian (lingkaran besar) pada Schmidt Net. Garis jurus N 45⁰W adalah garis puncak lipatan yang dipakai untuk membantu menentukan kedudukan bidang sumbu lipatan, karena pada S-pole tidak ditentukan adanya 2 maxima kutub. Garis sumbu lipatan adalah garis yang tegak lurus bidang lengkung distribusi kutub atau tidak lain adalah beta (lihat gambar 10.5). Bidang sumbu adalah bidang yang memuat garis sumbu dan jurus garis puncak lipatan.

10.3.2 Interpretasi bentuk lipatan

Untuk menganalisa lebih lanjut terhadap arah lipatan, bidang sumbu, garis sumbu, penunjaman dan bentuk lipatan, perlu dilakukan pengukuran secara menyeluruh pada suatu daerah dimana terdapat gejala lipatan. Hasil pengukuran yang cukup banyak, disamping disajikan di dalam peta, juga dianalisa dengan menggunakan diagram kontur. Penggunaan diagram ini pada dasarnya sama dengan prinsip S-Pole.

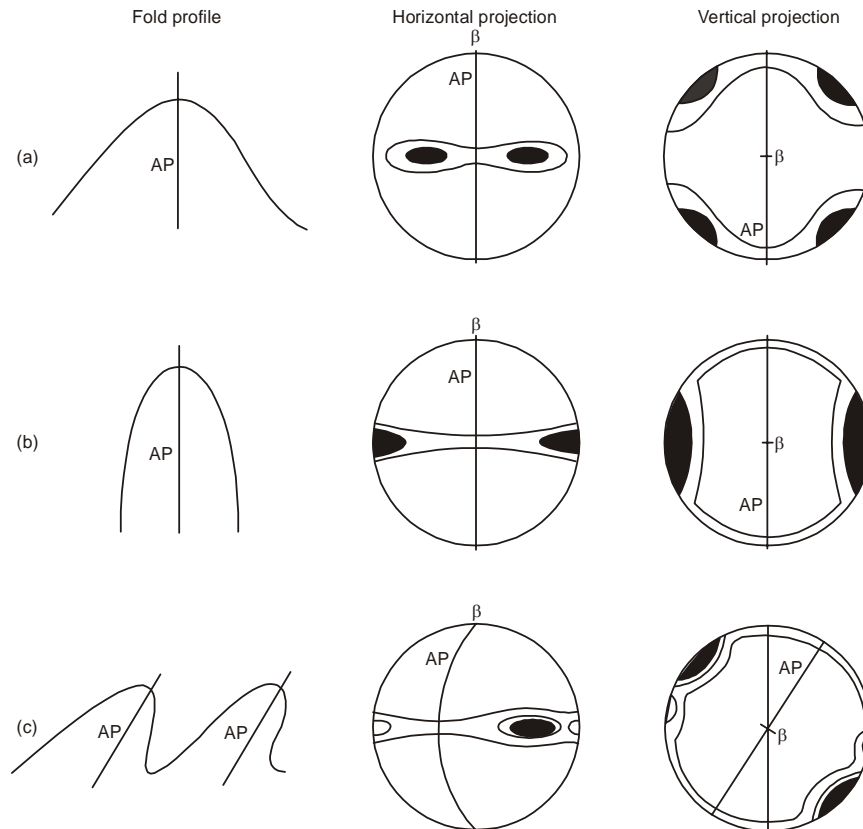
Hasil pengukuran unsur struktur bidang perlipatan atau foliasi secara menyeluruh, kemudian disajikan dalam diagram kontur. Bentuk umum suatu lipatan dalam diagram kontur adalah penyebaran garis kontur atau distribusi titik-titik yang memanjang, dengan dua kutub maxima yang merupakan pencerminan dua kemiringan yang berbeda.

Pada gambar 10.7 ditunjukkan perkembangan bentuk diagram kontur S-Pole dari pengukuran berbagai posisi bidang. Suatu lapisan mendatar, diagram konturnya merupakan satu kutub yang berada di pusat lingkaran (gambar a). gambar b, c dan d, berturut-turut adalah lipatan yang membentuk kearah sudut 45, 90 dan 180.



Gambar 10.7 Perkembangan diagram S-Pole pada suatu perlipatan

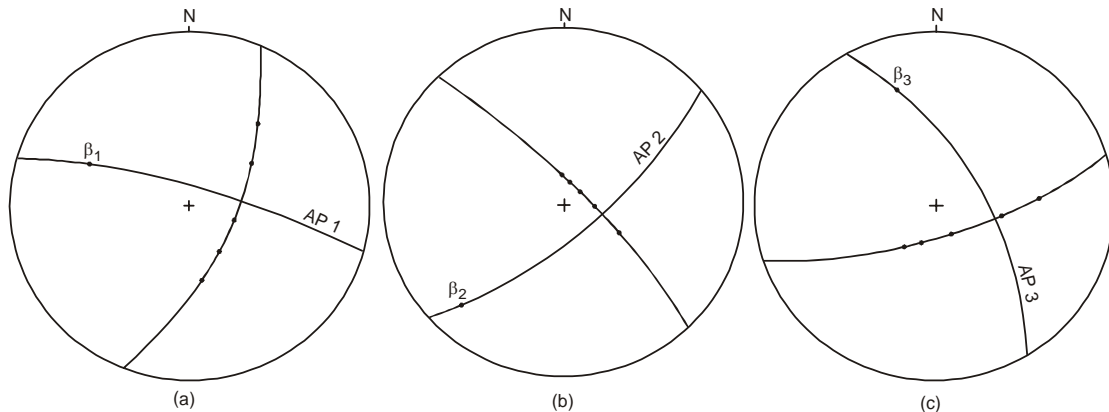
Bila lapisan berupa lipatan yang simetri distribusinya akan menyebar ke arah masing-masing kemiringan (gambar 10.8 a,b). Kemiringan yang tidak sama (asimetri) akan ditunjukkan oleh kedudukan maxima yang tidak sama terhadap pusat lingkaran (gambar C). Bidang sumbu lipatan digambarkan sebagai bidang miring yang melalui tengah kedua maxima.



Gambar 10.8 Pola lipatan (a) simetri terbuka, (b) simetri isoklin dan (c) asimetri dengan bidang sumbu miring

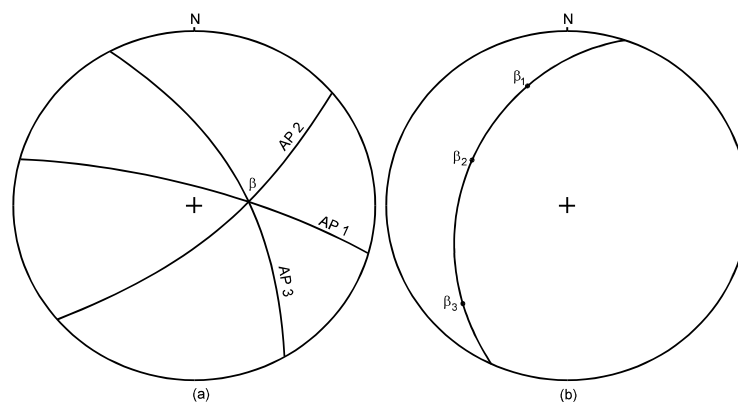
Lipatan yang menunjam (gambar 10.9) dibagian konturnya akan membentuk lengkungan. Untuk menentukan kedudukan jurus bidang sumbu, bentuk kelengkungan dihipitkan dengan salah satu garis lingkaran besar sehingga dapat ditentukan pada arah mana kelengkungan tersebut berkedudukan. Bidang sumbu adalah bidang yang jurusnya tegak lurus jurus kedudukan lengkungan tersebut, dan melalui tengah maxima dari kutub. Sedangkan kedudukan garis sumbunya merupakan pembalikan 90° dari titik tengah maxima (beta).

Cara analisisnya adalah dengan membagi menjadi daerah yang lebih kecil, yang mempunyai kesamaan bentuk lipatan. cara pembagian dapat dilakukan dengan mencoba-coba, tetapi dalam hal ini diambil batasan lokasi yang tercakup didalam garis sumbu lipatan. Didapatkan lokasi 1, 2 dan 3. Kemudian masing-masing diplot dalam diagram kutub dan beta, seperti pada gambar 10.11.



Gambar 10.11 Stereogram dari data orientasi dari lokasi 1, 2 dan 3

Perubahan dari lokasi satu ke yang lain ditentukan dengan membandingkan ketiga diagram ini. Bidang-bidang sumbu diplot pada satu diagram, perpotongan ketiganya (beta) disebut sebagai sumbu lipatan yang kedua (gambar 10.12 a). Bila beta 1, beta 2 dan beta 3 digabungkan akan membentuk lengkung tunggal yang menunjukkan kedudukan bidang sumbu atau struktur lenear yang sudah ada pada waktu terjadi deformasi (perubahan akibat gaya) yang kedua (gambar 10.12b).



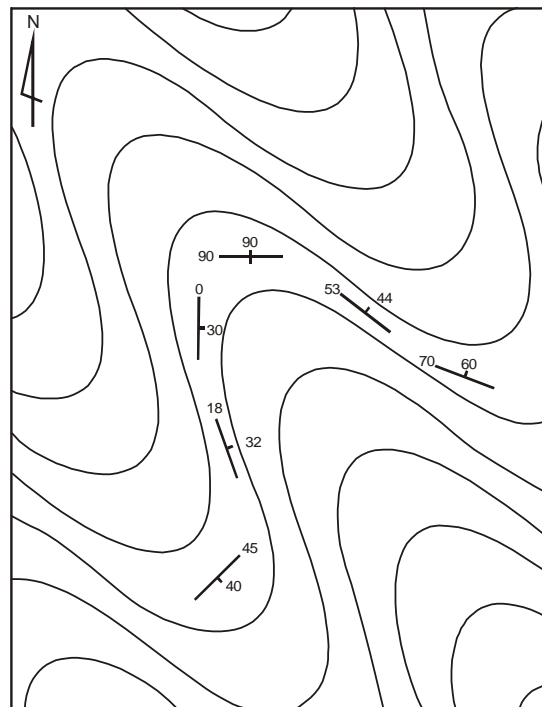
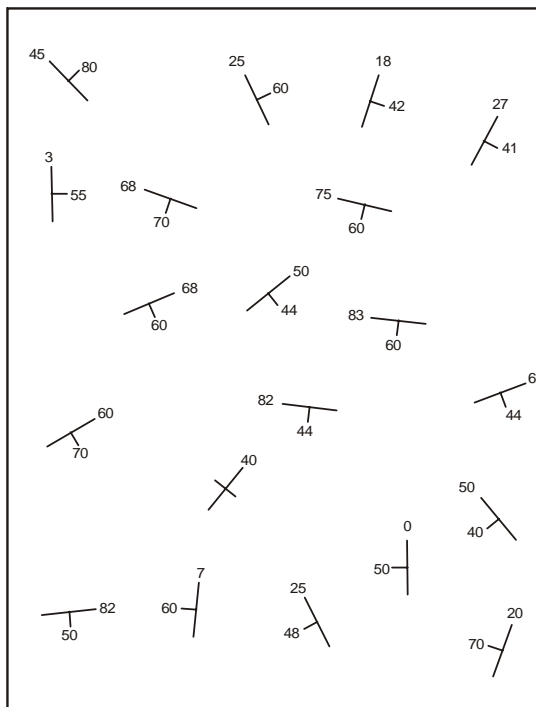
Gambar 10.12 Diagram sinopsis a) bidang sumbu, b) garis sumbu

Lipatan merupakan salah satu gejala struktur geologi yang amat penting. Struktur lipatan sangat menentukan distribusi batuan dan struktur bawah permukaan. Selain itu lipatan berhubungan erat dengan pola tegasan atau gaya yang berpengaruh di daerah tersebut dan gejala struktur yang lain, misalnya sesar.

Mekanisme pembentukan lipatan bisa disebabkan oleh "buckling" atau "bending". Pada gejala buckling atau melipat, gaya yang menyebabkan terbentuknya lipatan arahnya sejajar dengan permukaan bidang yang terlipat, sedangkan pada bending atau pelengkungan, gaya yang menyebabkannya berarah tegak lurus dengan permukaan yang terlipat.

Soal Latihan

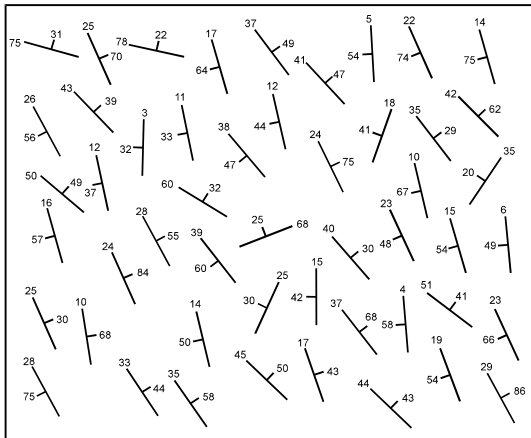
1. Dengan data kedudukan lapisan yang tercantum pada peta 1, konstruksikan diagram beta dan diagram kutub (S-pole). Berapa arah dan penunjaman sumbu lipatan ?
2. Dengan menggunakan peta 2, tentukan orientasi dari sumbu lipatan pada peta. Tegaskan dengan membuat diagram kutub.



3. Dengan menggunakan data pada peta 3, konstruksikan dalam kontur dari kutub. Tentukan hal-hal berikut ini :
 - a. Arah dan penunjaman sumbu lipatan
 - b. Kedudukan bidang sumbu
 - b. Perikan bentuk lipatan (sket pada peta dan bentuk 3 dimensi)

c. Perikan besar sudut antar sayap

d. Harga perpotongan beta (plot kedudukan-kedudukan lingkaran besar)



4. Suatu lipatan dibuat ke arah selatan memotong seri batuan dengan jurus $N90^{\circ}E$. Data berikut adalah pengamatan sepanjang lintasan dari utara ke selatan. Skala 1 : 50.000.

Jarak dalam meter	Kemiringan
0	$45^{\circ}S$
2300	$25^{\circ}N$
3500	$30^{\circ}S$
5300	$45^{\circ}N$
7000	$30^{\circ}S$

- rekonstruksi lipatan ini bila diperkirakan merupakan lipatan paralel.
- bila mana singkapan di titik awal pada ketinggian 500 m, berapa meter dalam atau tinggi singkapan tersebut di titik terakhir ?
- singkapan di titik 5300 adalah sama dengan di titik 7000. Tentukan interpolasi dip antara jarak 5300 dan 7000.

5. Di bawah ini adalah pengukuran sumbu perlipatan mikro pada batuan filit di pinggir jalan lintas Sumatra Tengah. Data berupa \dots° , $N\dots^{\circ}E$ adalah besarnya penunjaman dan arah sumbu perlipatan.

21,271	24,241	32,165	16,242	36,200	23,190	21,240	14,243	27,245	17,270
	22,215								
36,207	15,220	13,225	5,265	11,27	21,173	21,207	45,208	22,231	17,263
	25,235								
19,242	17,217	24,235	35,265	30,250	36,231	19,242	25,200	21,322	16,227
	15,245								
20,250	24,243	24,260	8,200	31,239	14,243	16,200	28,280	22,220	27,236
	18,202								
12,267	19,255	26,213	26,219	30,265	12,170				

- a. Tentukan sumbu perlipatan dan besar penunjamannya
 - b. Tentukan arah gaya utama yang mempengaruhi lipatan tersebut
6. Data di bawah ini adalah hasil pengukuran di lapangan pada bidang perlipatan dari suatu daerah yang mengalami perlipatan. Data pengukuran pada bidang perlipatan sebagai berikut (Data berupa N...^oE/...^o).
- | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 330/43 | 334/46 | 358/34 | 343/42 | 332/40 | 334/45 | 331/40 | 321/31 | 294/77 | |
| | 287/59 | | | | | | | | |
| 230/80 | 303/62 | 298/70 | 305/40 | 303/60 | 330/33 | 332/35 | 334/23 | 330/29 | |
| | 327/35 | | | | | | | | |
| 355/24 | 357/25 | 358/30 | 300/80 | 324/52 | 312/58 | 332/50 | 318/60 | 308/54 | |
| | 307/35 | | | | | | | | |
| 338/44 | 331/40 | 333/39 | 330/30 | 328/57 | 320/53 | 336/42 | 343/36 | 350/65 | |
| | 350/26 | | | | | | | | |
| 348/30 | 360/25 | 338/41 | 341/32 | 347/40 | 342/25 | 343/42 | 358/30 | 357/48 | |
| | 270/72 | | | | | | | | |
| 276/67 | 297/75 | 27/40 | 27/30 | 32/30 | 85/80 | 15/20 | 13/29 | 13/32 | 14/32 |
| | 44/45 | | | | | | | | |
| 7/57 | 2/37 | 26/33 | 52/49 | 29/40 | 32/30 | 15/23 | 8/42 | 355/25 | |
- a. buat diagram konturnya
 - b. jelaskan bentuk simetri dari lipatan-lipatan tersebut
 - c. tentukan plunge rata-ratanya

10.4 Analisa Struktur Sesar

Sesar adalah struktur rekahan yang telah mengalami pergeseran. Sifat pergeserannya dapat bermacam-macam, mendatar, miring (oblique), naik dan turun. Didalam mempelajari struktur sesar, disamping geometrinya yaitu, bentuk, ukuran, arah dan polanya, yang penting juga untuk diketahui adalah mekanisme pergerakannya.

10.4.1 Sesar dan Struktur Penyerta

Gejala sesar seringkali disertai dengan gejala struktur yang lain, misalnya kekar, lipatan, drag fold (lipatan seretan), breksiasi akibat sesar, milonit, filonit dan sebagainya. Struktur-struktur ini sangat penting untuk membantu didalam analisis tentang pergerakan sesar.

Kekar dan Urat (Vein)

Kekar adalah gejala yang umum terdapat pada batuan. Kekar dapat terbentuk karena tektonik (deformasi) dan dapat terbentuk juga secara non tektonik (pada saat diagenesa, proses pendinginan dsb). Dalam hal ini kita membatasi pada jenis kekar yang terbentuk secara tektonik.

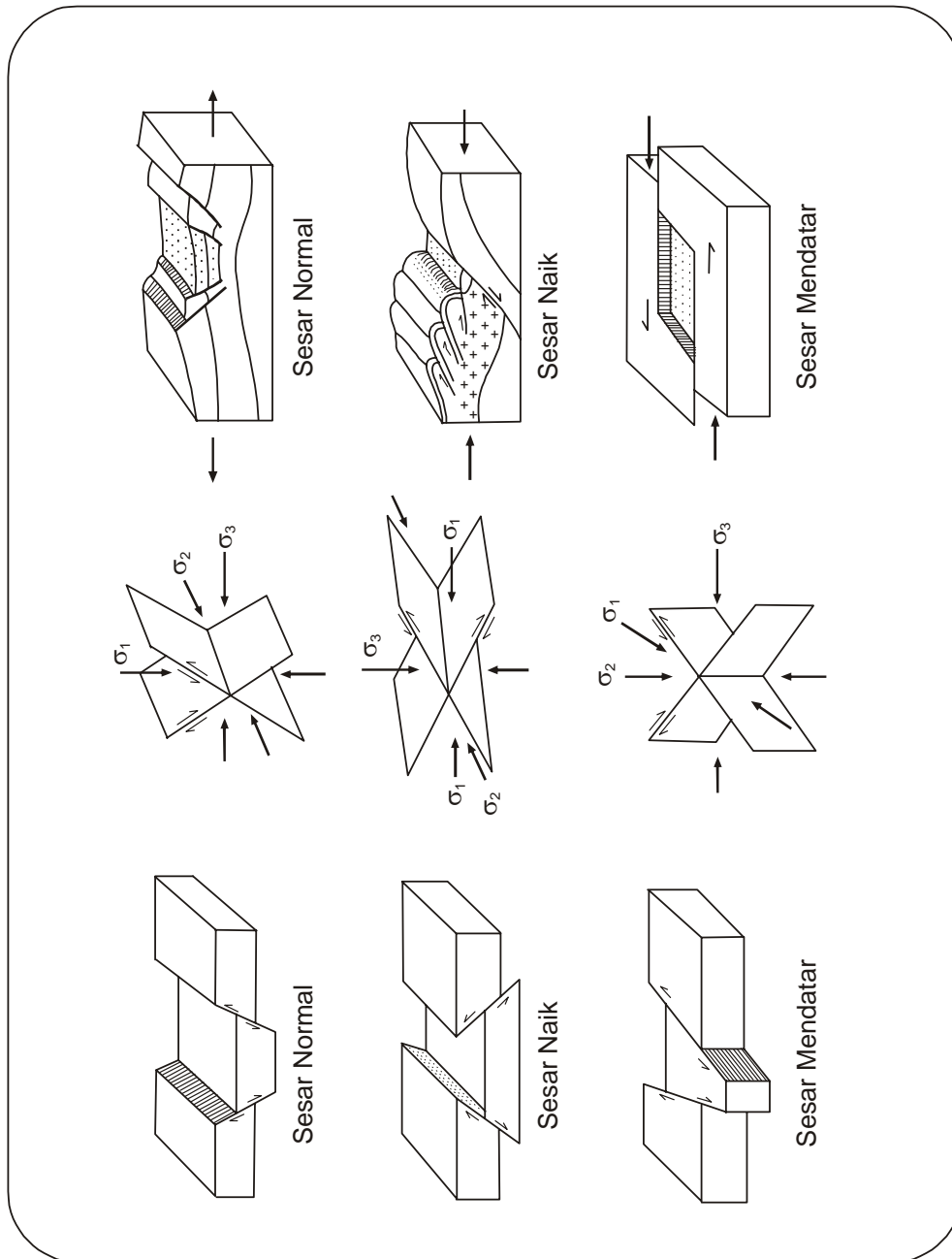
Kekar merupakan salah satu struktur yang sulit untuk diamati, sebab kekar dapat terbentuk pada setiap waktu kejadian geologi, misalnya sebelum terjadinya suatu lipatan, atau terbentuknya semua struktur tersebut. Hal ini yang juga merupakan kesulitan adalah tidak adanya atau relatif kecil pergeseran dari kekar, sehingga tidak dapat ditentukan kelompok mana yang terbentuk sebelum atau sesudahnya.

Secara kejadiannya (genetik), kekar dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu :

- a. *Kekar gerus (shear fracture)* : adalah rekahan yang bidang-bidangnya terbentuk karena adanya kecenderungan untuk saling bergeser (shearing) lihat gambar 10.14 (b) dan 10.15 (a dan b).
- b. *Kekar tarik (extention fracture)* : adalah rekahan yang bidang-bidangnya terbentuk karena adanya kecenderungan untuk saling menarik (meregang), lihat gambar 10.14 (a dan b) dan 10.15 (c dan d).

Extension fracture dapat dibedakan sebagai :

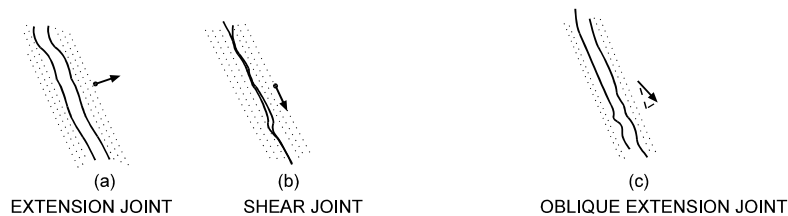
- *Tension fracture* : ialah kekar tarik yang bidang rekahnya searah dengan arah tegasan, lihat c pada gambar 10.15.
- *Release fracture* : ialah kekar tarik yang terbentuk akibat hilangnya atau pengurangan tekanan dan tegak lurus terhadap gaya utama, lihat d pada gambar 10.15.



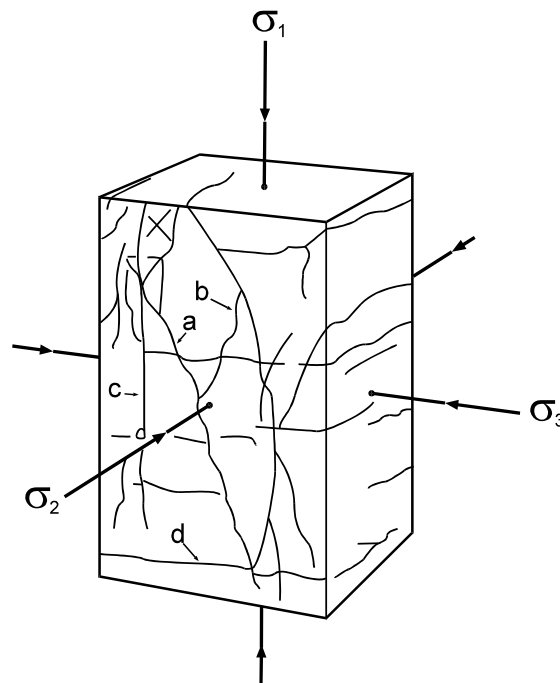
Gambar 10.13 : Hubungan antara pola tegasan dan jenis-jenis sesar yang terbentuk

Pembedaan kedua jenis kekar ini terutama didasarkan pada sifat pergerakannya. Banyak kriteria untuk menentukan jenis-jenis kekar ini, misalnya sifat permukaan, orientasi pada pola regional (daerah yang lebih luas), dan hubungan dengan struktur lain, tetapi seringkali tidak mungkin membedakannya di lapangan. Dihubungkan dengan prinsip tegasan utama (pelajari prinsip kekandasan batuan), pola kekar-kekar ini akan mengikuti prinsip tegasan (σ_1 , σ_2 , σ_3) seperti ditunjukkan pada gambar 10.15 (Lihat gambar 10.13).

Pada gambar 10.15, pasangan kekar a dan b merupakan "shear fracture". Kekar c adalah "tension" yang terbentuk pada saat penekanan. Kekar-kekar d terbentuk pada saat penghilangan tekanan, seringkali disebut sebagai kekar "release".

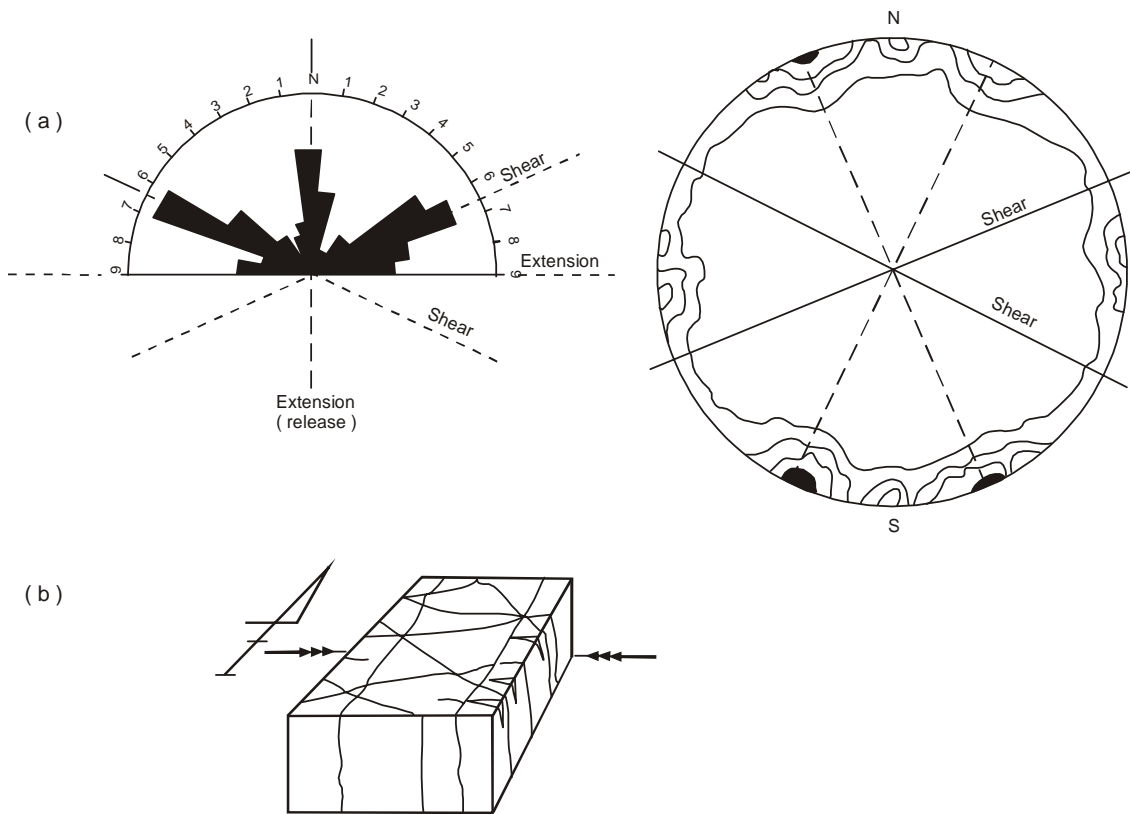


Gambar 10.14 : Jenis-jenis kekar berdasarkan sifat kejadiannya



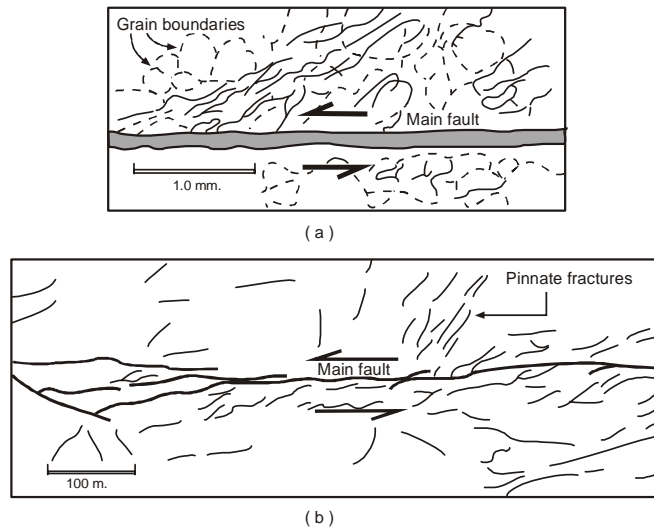
Gambar 10.15 : Hubungan jenis-jenis kekar dengan pola tegasan (stress) utama.

Didalam analisa, kekar dapat dipakai untuk membantu menentukan pola tegasan, dengan anggapan bahwa kekar-kekar tersebut pada keseluruhan daerah terbentuk sebelum atau pada saat pembentukan sesar (gambar 10.16). Cara ini sangat lemah dan umumnya dipakai pada daerah yang lebih luas (regional) dan data yang dipakai tidak hanya kekar, tetapi juga sesar yang dapat diamati dari peta topografi, foto udara dan citra landsat.



Gambar 10.16 : a. Diagram frekwensi dan diagram kontur dari kekar-kekar yang dapat dipergunakan untuk menentukan tegasan utama
 b. Diagram blok pola-pola kekar dan hubungannya dengan tegasan regional disuatu wilayah

Cara pendekatan lain untuk menganalisa kekar yaitu dengan melihat gejala yang terdapat pada jalur sesar. Mengingat bahwa akibat gerak dari sesar, struktur kekar juga dapat terbentuk. Beberapa contoh gerak sesar dapat menimbulkan pola kekar "pinnate" (struktur bulu ayam), "en echelon" fractures seperti pada gambar 10.17. Kekar-kekar ini umumnya merupakan kekar regangan yang sudut lancip searah dengan gerak sesar.

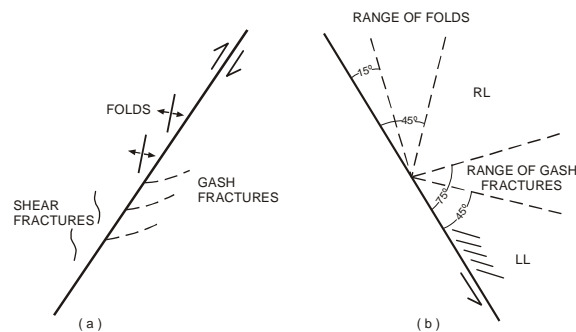


Gambar 10.17 : Pola kekar regangan yang dapat dipakai untuk menentukan gerak sesar.

Dengan dasar ini, Hill (1976) mencoba menyimpulkan bahwa pada setiap gerak sesar terbentuk struktur penyerta yang mempunyai pola seperti ditunjukkan pada gambar 10.18 (a).

Dengan menganggap bahwa gejala atau pola tersebut terbentuk akibat gerak sesar, maka dengan mempelajari gejala disekitar jalur sesar, gerak relatif dari sesar dapat ditentukan.

Tjia (1971), setelah mempelajari lebih lanjut struktur-struktur penyerta pada sesar, menyimpulkan bahwa pola-pola "tension (gash) fracture" (kekar tarik), "shear fracture" (kekar gerus) dan "micro fold" (lipatan mikro), membentuk selang sudut yang mempunyai batasan, seperti ditunjukkan pada gambar 10.18 (b).



Gambar 10.18 : a. Hubungan antara pergerakan sesar dengan struktur penyerta berupa gash fracture, shear fracture dan micro fold
b. Hubungan besarnya sudut yang dibentuk antara struktur penyerta dengan sesar

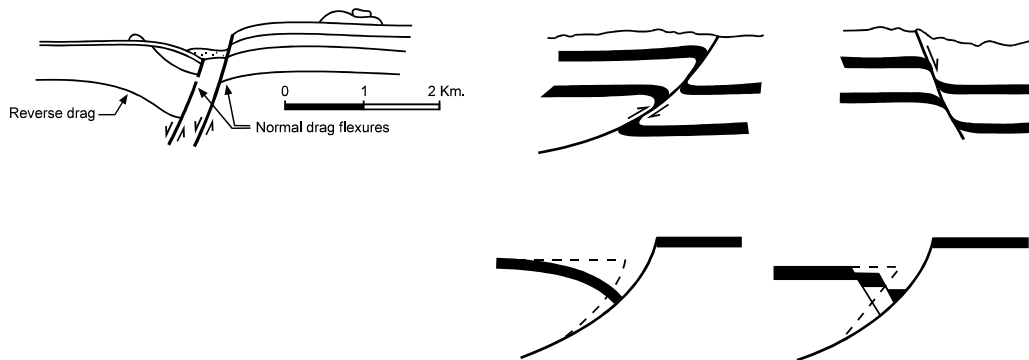
Breksi Sesar dan Milonitt

Bidang sesar biasanya terisi oleh bahan-bahan fragmental yang disebut “Breksi Sesar”. adakalanya bahan ini agak lunak dan hancur yang disebut sebagai “Gouge”, juga pada batuan metamorf menunjukkan lembar-lembar yang berupa struktur aliran. Pada bagian yang sangat intensif tingkat hancurnya (deformasinya), zona sesar dapat berupa serbuk berbutir halus dan lunak yang disebut “Milonit”.

Gejala-gejala ini merupakan bukti-bukti yang dapat dipakai untuk menduga kelurusan atau kemenerusan dari jalur sesar. Arah-arahnya misalnya didapatkan dari orientasi memanjangnya fragmen atau jalur breksiasi, arah bidang-bidang gerusan (shearing) dari milonit dan sebagainya. Arah ini akan membantu untuk menentukan bidang sesar.

Struktur Seretan (drag)

Struktur seretan (*fault drag* atau *drag fold*) adalah gejala penyerta disekitar bidang sesar yang terbentuk akibat pergerakan sesar. Struktur ini dapat menunjukkan gerak relatif sebenarnya. Struktur ini tampak pada perlapisan atau bidang foliasi. Ada 2 macam seretan (drag) yang dapat terbentuk yaitu “seretan normal” (normal drag) dan “seretan naik” (reverse drag). Hubungan dengan gerak relatifnya ditunjukkan pada gambar 10.19.

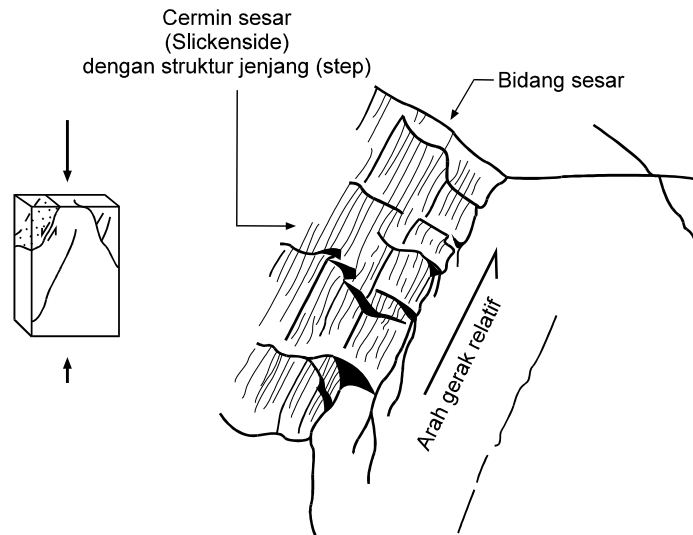


Gambar 10.19 : Bentuk pergeseran sesar dan struktur lipatan seretan serta sifat gerak sesar

Cermin sesar (slickensides) dan Gores-garis (striation)

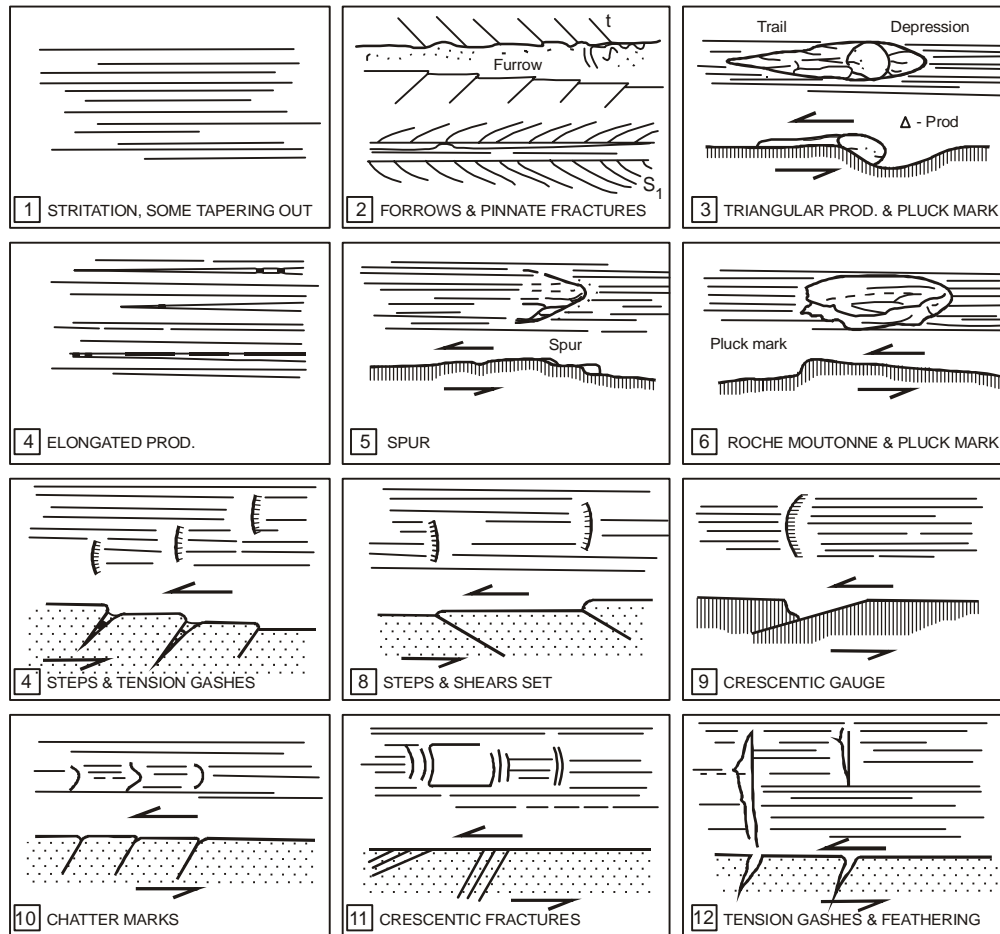
Slickensides atau cermin sesar adalah gejala yang tampak pada permukaan bidang-bidang yang tergeser. Dapat terbentuk pada bidang sesar atau bidang-bidang kekar yang menyertainya. Struktur tersebut merupakan bidang-bidang

halus, dengan goresan-goresan (striations) yang seolah-olah dipoles. Seringkali disertai dengan jenjang-jenjang (steps), yang merupakan kekar yang terbentuk akibat gerak relatif dari bidang itu. Beberapa contoh diperlihatkan pada gambar 10.20 dan gambar 10.21.



Gambar 10.20 : Struktur slickensides dan sifat pergeseran relatif sebenarnya pada bidang sesar

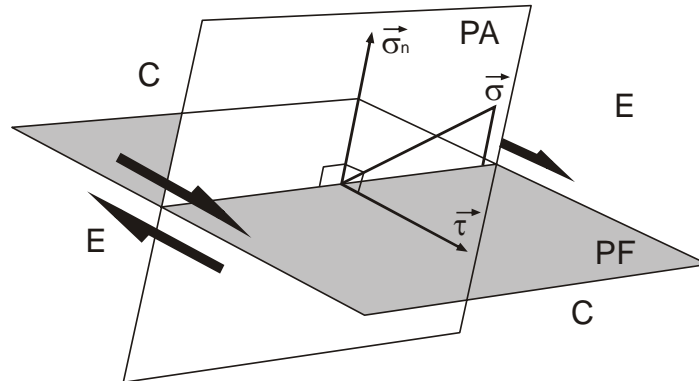
Tjia (1972) mencoba menentukan arah pergerakan sesar berdasarkan jenis-jenis slickenside atau struktur penyerta lainnya (gambar 10.17). Blok yang hilang bergerak relatif ke arah kiri dan blok yang tergambar bergerak relatif ke arah kanan.



Gambar 10.21 : Jenis-jenis parameter untuk menentukan pergeseran relatif pada bidang sesar (Tjia, 1972)

10.4.2 Metoda hukum dihedral (dièdres droits)

Setiap bidang sesar dapat dibagi oleh bidang bantu (plan auxiliaire) menjadi empat dihedral (dièdres droits). Bidang bantu (berwarna putih pada gambar 10.22) adalah bidang yang tegak lurus kepada tegasan gerus (τ) dan gores-garis serta mengandung tegasan normal (σ_n).



Gambar 10.22 : Definisi dihedral tarikan (E) dan dihedral tekanan (C) untuk sebuah sesar.

PF adalah bidang sesar;
 PA adalah bidang bantu;
 Panah hitam adalah gerak sesar
 σ adalah tegasan
 τ adalah tegasan gerus
 σ_n adalah tegasan normal

Dua dihedral yang berlawanan disebut domain tekanan (compression) dan dua yang lainnya disebut domain tarikan (extension) sebagai fungsi dari arah pergerakan sesar seperti yang diperlihatkan pada gambar 10.28. Dinyatakan secara jelas sebagai dihedral pemendekan (shortening) di mana terdapat σ_1 dan dihedral pemanjangan (lengthening) dimana terdapat σ_3 .

Istilah-istilah tersebut sangat umum dalam seismologi terutama pada perhitungan mekanisme pusat gempa (focal mechanism). Dalam menyajikan metoda tersebut telah diterangkan dan dibenarkan penggunaan hukum-hukum dihedral (dièdres droits) pada aplikasi penelitian tentang kondisi mekanik yang sesuai dengan satu proses gempa bumi (seismik).

Metodologi dan Prinsip

Sesar-sesar teramati pada sebuah material dengan bidang-bidang rekahan yang telah ada dan mempunyai episode tektonik yang sama, diduga mempunyai fungsi gerak dan fungsi keadaan pada tegasan rata-rata. Kemungkinan juga dapat diterapkan pada skala daerah teruji dengan tiga tegasan juga dapat diterapkan pada skala daerah teruji dengan tiga tegasan utama yang disebut σ_1 (tegasan maksimal), σ_2 (tegasan intermedier) dan σ_3 (tegasan minimal) dimana $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Kadang-kadang keadaan tegasan bervariasi sebagai fungsi heterogenetis dan diskontinuitas material serta juga sebagai fungsi gelinciran sepanjang bidang sesar.

Sebuah bidang sesar yang belum mengalami pergerakan berada di bawah pengaruh tegasan tangensial hanya dapat menghasilkan rekahan gunting (kekar gerus). Seperti dikemukakan oleh beberapa penulis dan secara tegas oleh Bott (1959) bahwa pergerakan sesar akan mengikuti arah rekahan gunting. Setiap gerakan sesar dipengaruhi oleh tegasan maksimal (σ_1) dalam dihedral tekanan dan tegasan minimal (σ_3) dalam dihedral tarikan.

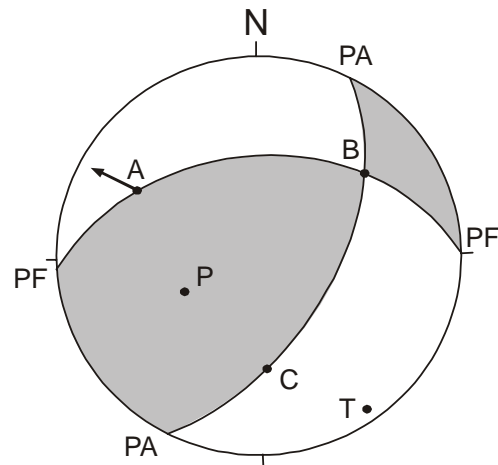
Dihedral-dihedral memiliki sifat-sifat yang layak mendapat pertimbangan, jika sesar bergerak mengikuti arah tegasan tangensial (τ) yang ditimbulkan oleh sistem tegasan σ_1 , σ_2 , σ_3 (hipotesa Bott, 1959). Setiap sesar mempunyai dihedral tekanan dimana terdapat σ_3 . Jika semua sumbu-sumbu s_1 dan s_3 adalah sama untuk semua gerak sesar-sesar teramati, bagian dari irisan dihedral tekanan mempunyai σ_1 dan irisan dihedral tarikan mempunyai σ_3 .

Interpretasi Geologi

a. Kasus sesar

Pengukuran-pengukuran bidang-bidang sesar dan gelinciran atau gores-garis dapat dinyatakan secara numerik berupa jurus, kemiringan, arah gelinciran, penunjaman, dan pitch. Pada gambar 11.23 memperlihatkan penapilan kedudukan sesar dan arah gelinciran dengan mempergunakan proyeksi bagian bawah dari jaring Schmidt. Bidang sesar adalah PF, gores-garis adalah A (arah panah mengindikasikan gerak dan komponen normal). Selanjutnya kita dapat membuat bidang bantu (PA) yang tegak lurus gores-garis (A) dan tegak lurus bidang sesar (PF). Bidang tersebut mempunyai sebuah definisi geometri yang murni dan bukan sebagai bidang kembarnya atau bidang konjugasinya.

Kedua bidang PA dan PF membentuk empat hukum dihedral (*quatre dièdres droites*) yang diperlihatkan pada gambar 10.23. daerah titik-titik merupakan dihedral tekanan di mana terdapat σ_1 dan daerah warna putih merupakan dihedral tarikan dimana terletak σ_3 .



Gambar 10.23 : Stereogram dari mekanisme sebuah gerak sesar

b. Kasus kegempaan

Dari perhitungan mekanisme pusat gempa, kita dapat menentukan dua bidang sesar yang kemungkinan tegak lurus satu sama lain, yaitu PA dan PF (gambar 10.24, tetapi tidak mungkin dipisahkan satu dengan yang lain oleh metoda gempa (Honda, 1957). dikenal dua kemungkinan arah gelinciran dengan sifat pergerakannya yaitu gerakan turun (A dan C) yang berpotongan di B. Secara singkat ditemukan vektor-vektor τ (shearing stress atau tegasan tangensial) dan σ_n (normal stress atau tegasan normal) (lihat gambar 10.23), tetapi tanpa mengetahui yang mana τ dan yang mana σ_n . Hal ini tidak terlalu penting untuk menentukan kedua tempat tersebut sebelum mengandung σ_1 dan σ_3

Prinsip dihedral diperlihatkan dengan warna putih dan titik-titik pada gambar 10.23 dimana tidak merubah PA dan PF, serta A dan C. Ahli kegempaan mempunyai hukum-hukum untuk menentukan sebuah sumbu tekanan P (axe des pression) dan sumbu tarikan T (axe des tension) yang adalah sumbu-sumbu simetri dari masing-masing dihedral tekanan dan tarikan. Yang penting diketahui bahwa σ_1 dan σ_3 dapat terletak dimana saja dalam setiap dihedral kompresi dan tarikan. σ_1 dan σ_3 hanya mempunyai hubungan dengan P dan T dalam kasus sangat istimewa (misalnya kejadian secara kebetulan dimana sumbu-sumbu prinsipal tegasan deformasi absen dari pergeseran dalam).

Jadi σ_1 dapat membaaur dengan P dan σ_3 dengan T dalam keadaan elastis murni dan isotrope yang secara umum merupakan kasus. Dengan catatan bahwa kadang-kadang batuan memperlihatkan peningkatan isotrope sebagai fungsi dari kedalaman.

Tekanan litostatik cenderung memblokir kemungkinan gerak dari bidang-bidang yang gagal (pecah). Pecahan tersebut akan berkembang dan membentuk rekahan gunting maksimum (Shearing) di mana mempunyai sudut 45° dengan σ_1 dan σ_3 yang akan berbau dengan P dan T. dalam istilah lain, arti (signifikasi) dari sumbu-sumbu P dan T penuh keraguan pada permukaan bumi tetapi memperlihatkan pertambahan sebagai fungsi dari kedalaman.

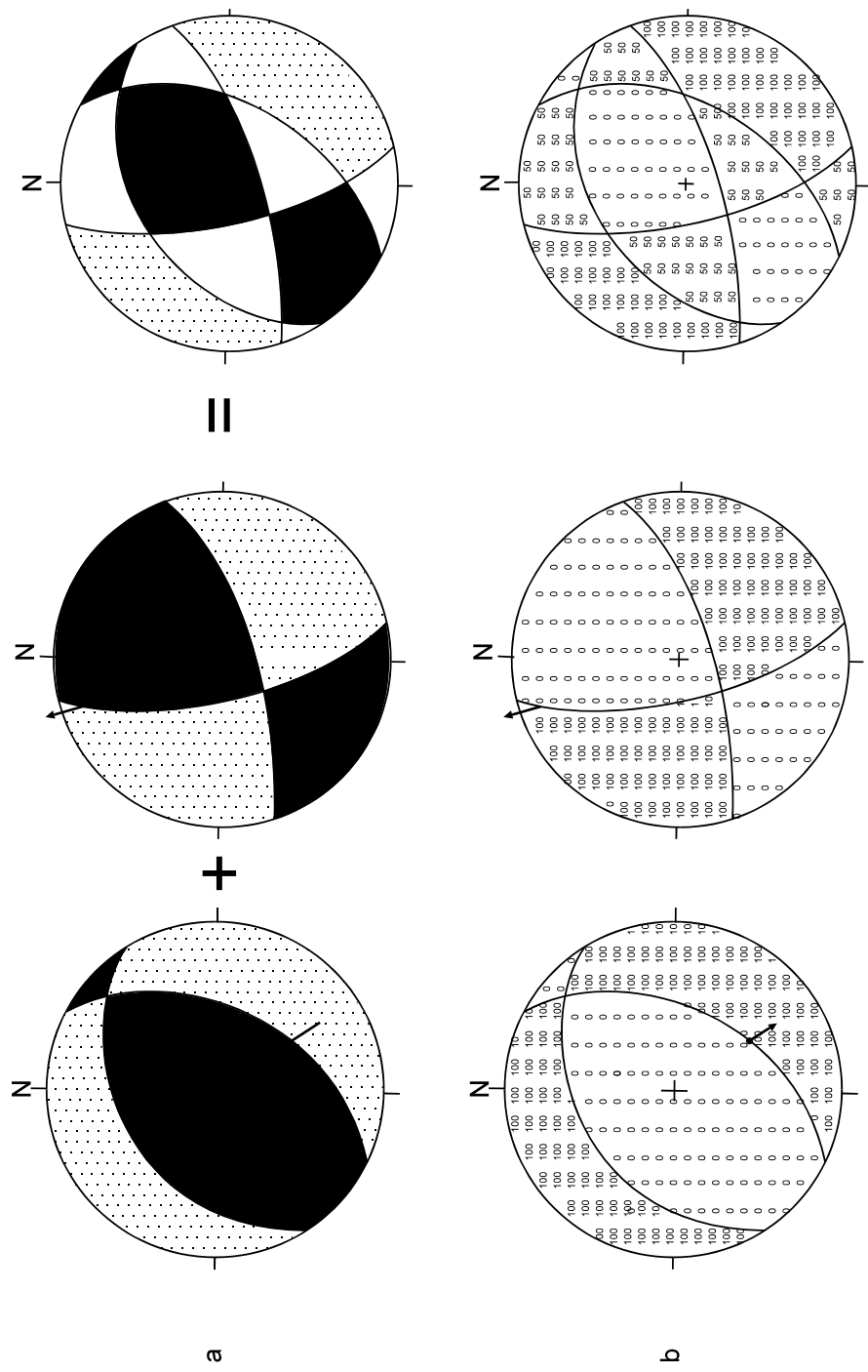
Aplikasi pada jaring Schimdt

Setiap hasil pengukuran sesar dapat digambarkan bidang sesarnya (PF) dan gores-garis (tanda panah), kemudian bidang bantunya (PA) pada jaring Schimdt dari proyeksi bagian bawah (gambar 10.24). Empat daerah (kemungkinan juga tiga) pada diagram proyeksi diidentifikasi menurut arah gerak sesar (contoh : warna hitam dari diagram adalah daerah tekanan dari titik-titik untuk daerah tarikan. Konstruksi yang sama dibuat untuk sesar kedua, hanya disimpulkan daerah-daerah umum dari tekanan (hitam) dan tarikan (titik-titik). Dengan catatan bahwa semua data pengukuran mempunyai episode tektonik yang sama pada sebuah tempat.

Selanjutnya kedua diagram tersebut ditumpuk satu sama lain dan didapatkan daerah irisan untuk tekanan (hitam) dan tarikan (titik-titik) di mana terdapat σ_1 dan σ_3 untuk kedua sesar tersebut. Sedangkan bagian berwarna putih merupakan daerah tekananan tarikan yang sama ($\sigma_1 = \sigma_3$).

Metoda ini digunakan oleh Pegoraro (1972) dimana beliau membagi menjadi daerah perpendekan (raccourcissement) atau daerah tekanan dan daerah perpanjangan (allongement) atau daerah tarikan.

Metoda grafik ini meminta kesabaran dari kita, sebab pengukuran-pengukuran yang tidak normal (misalnya gerak sesar yang tidak sesuai dengan arah tensor rata-rata yang di dapat akibat sifat undulasi dari cermin sesar, kesalahan penafsiran arah gerakan, dan lain-lain) sangat mempengaruhi ketepatan rekonstruksi dari arah tensor yang di dapat.



Gambar 10.24 : Perinsip dasar dari metoda dihedral (*dièdres droit*)
 a. Secara manual
 b. Dengan bantuan (komputer)

10.43. Beberapa konsep dalam interpretasi struktur

Interpretasi struktur dapat dilakukan pada skala yang beragam, dan skala yang mikro, pada suatu jalur sesar sampai pada suatu wilayah. Untuk itu perlu dibuat batasan dan asumsi untuk menerapkan teori-teori yang ada. Salah satu kendala lain didalam interpretasi adalah batasan "waktu", yaitu kejadian atau generasi dari struktur-struktur tersebut. Oleh karena itu perlu diperhatikan apabila dari beberapa struktur yang ada berlainan waktu kejadiannya, artinya berbeda sejarah tektoniknya.

Beberapa konsep dikembangkan diantaranya oleh Moody dan Hill (1956) yang membahas tentang urutan kejadian struktur berdasarkan arah tegasan atau gaya yang bekerja pada suatu wilayah struktur berdasarkan arah tegasan atau gaya yang bekerja pada suatu wilayah (Gambar 10.25). Konsep lain dikembangkan oleh Tchalenko (1970) dan Harding (1973) yang menjelaskan bahwa pada gerak sesar mendatar, gejala yang terdapat pada jalur sesar adalah komponen gerak kopel yang bekerja akibat sesar tersebut. Gerak kopel tersebut menghasilkan komponen tarik atau extension (E) dan komponen tekan atau compression (C) yang ditunjukkan pada gambar 10.26.

Perbedaan dari model Moody dan Hill dan Harding ialah arah gaya pembentuknya. Bila Moody & Hill menggunakan pure shear (gambar 10.26 a) sebagai gaya penyebab terbentuknya sesar. Sedangkan Harding menggunakan simple shear (gambar 10.26b).

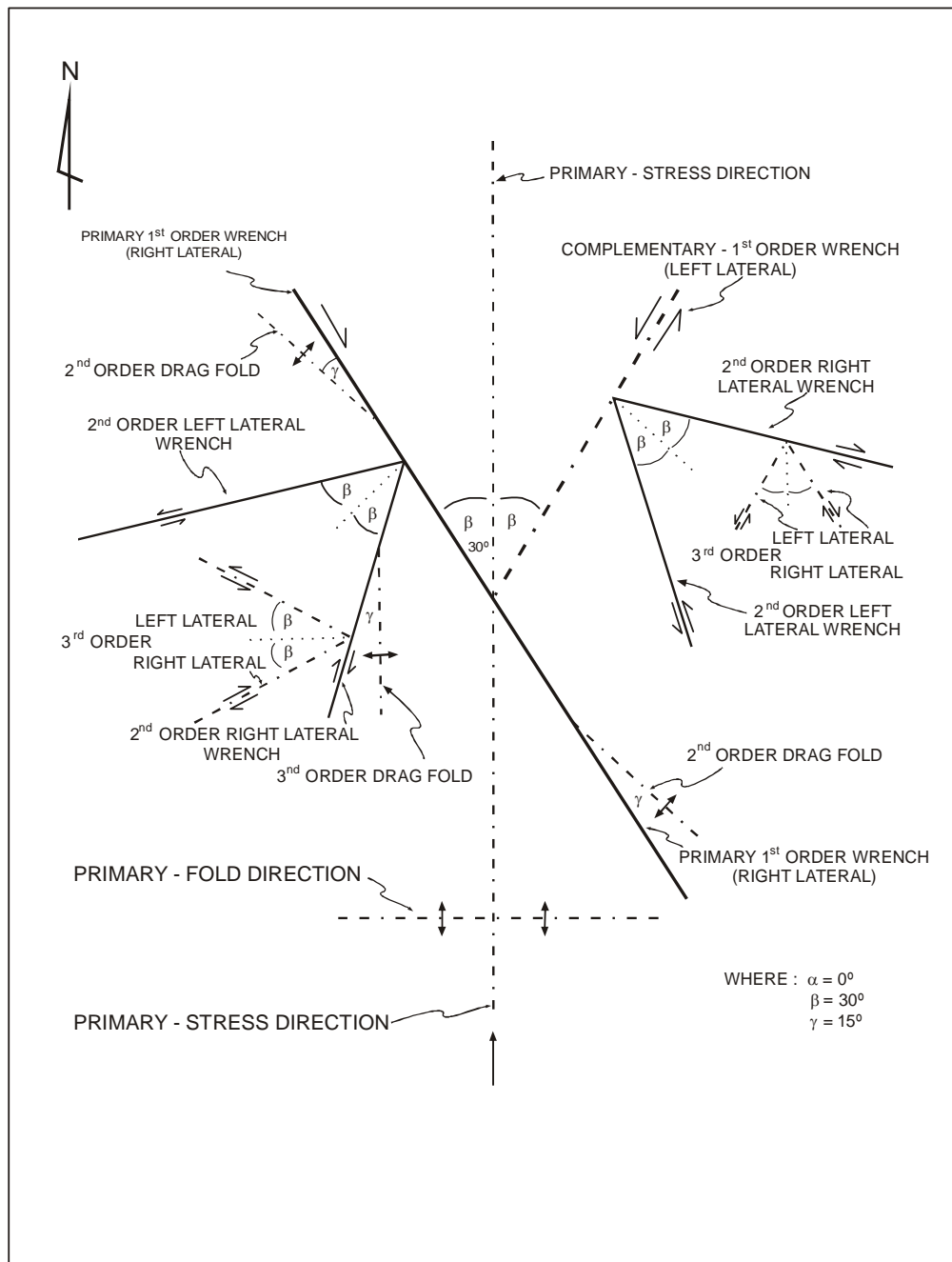
Beberapa contoh tersebut dapat dipakai kerangka untuk mempelajari mekanisme gerak sesar. Batasan-batasan yang menjadikan analisa mekanisme itu sulit adalah kenyataan dengan gejala di lapangan yang dijumpai. Pertama adalah sulit membatasi apakah gejala yang dijumpai berhubungan dengan jalur sesar yang dipelajari. Kedua adalah keterbatasan pengamatan kita untuk dapat membedakan jenis atau macam gejala tersebut, misalnya jenis kekar (fracture pada umumnya), sesar-sesar minor dan bentuk lipatan-lipatan, arah dari jalur sesar dan sebagainya. Oleh karena itu pengamatan di lapangan sangat penting artinya dalam mengasumsikan, sehingga dapat dianalisa pada tahap berikutnya.

10.4.4 Penerapan di dalam Metoda Geometri

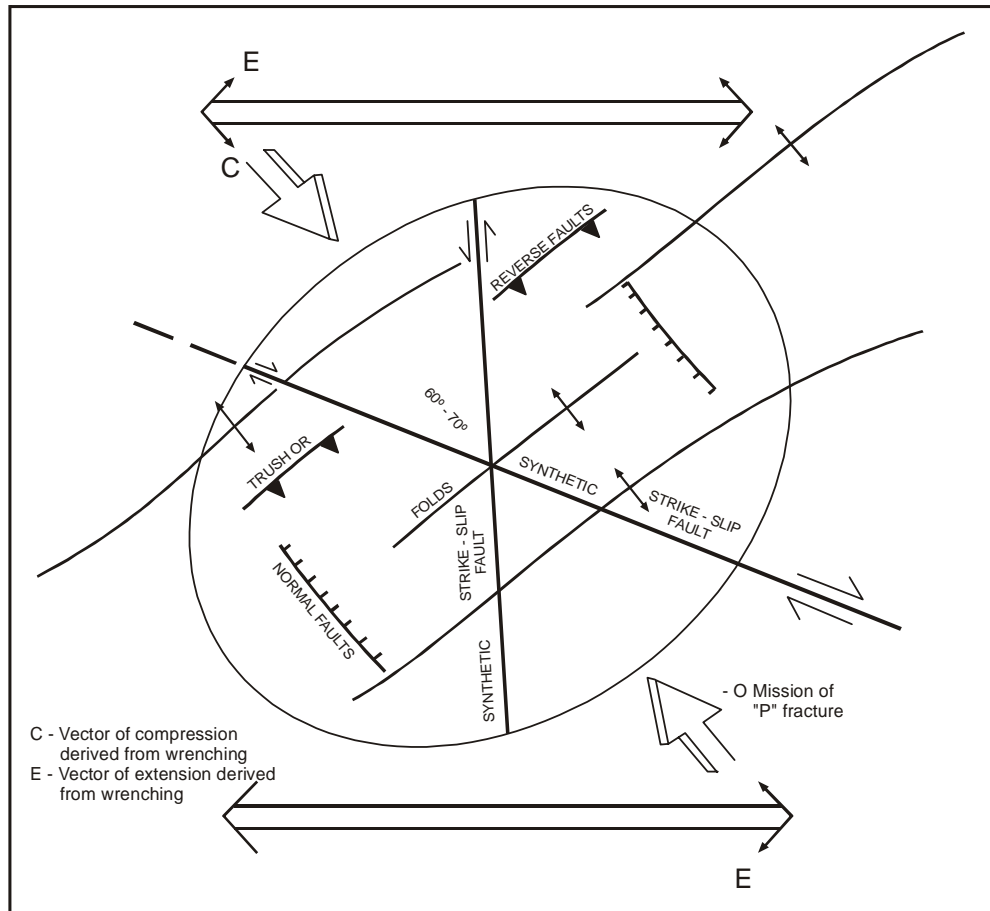
Contoh atau model gejala sesar selalu ditunjukkan sebagai sesar mendatar pada peta atau sesar normal pada penampang. Bila kenyataan di lapangan tidak demikian, maka posisinya dikembalikan secara geometri dengan proyeksi stereografi.

Sebagai contoh, disajikan cara analisa dari suatu jalur sesar, dengan memakai model teori dari gambar 10.27. Teknis pengukuran secara random di lapangan

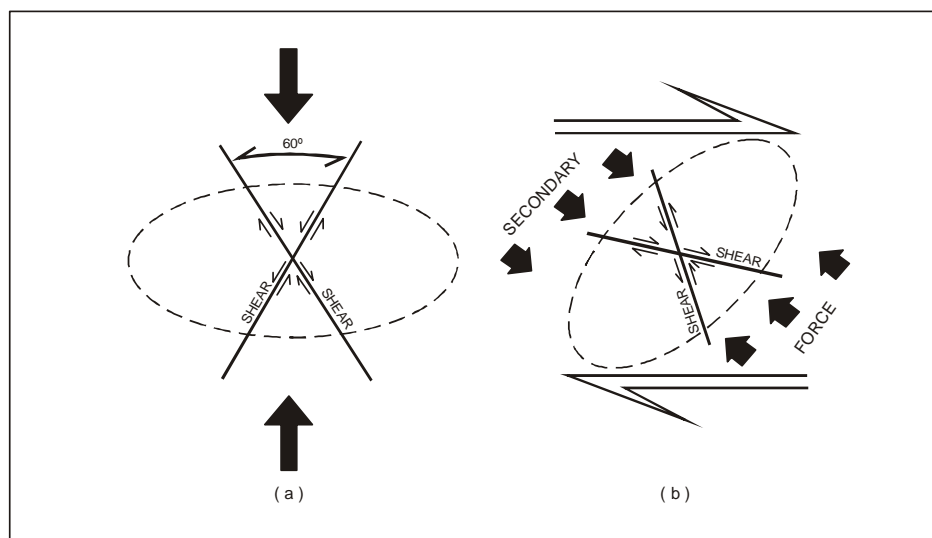
dipisahkan untuk masing-masing jenis struktur penyerta. Kemudian masing-masing disajikan dalam bentuk diagram untuk mengetahui arah/keudukan umumnya, sebelum dianalisa lebih lanjut untuk mengetahui nama sesar dengan mempergunakan “klasifikasi ganda”.



Gambar 10.25 : Model Urutan Pola Struktur menurut Moody dan Hill (1956)

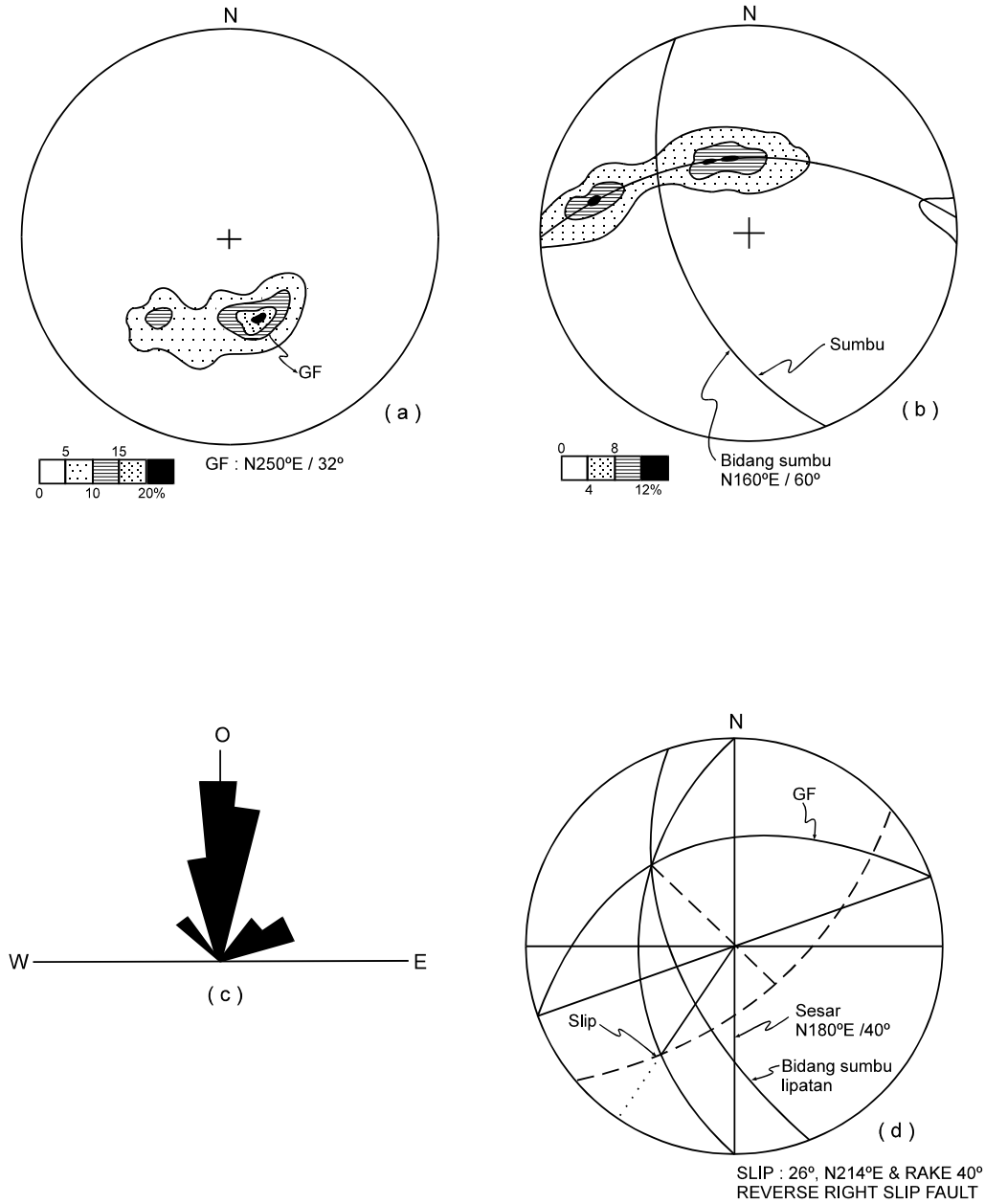


Gambar 10.26 : Model "Simple Shear" menurut Harding (1973)



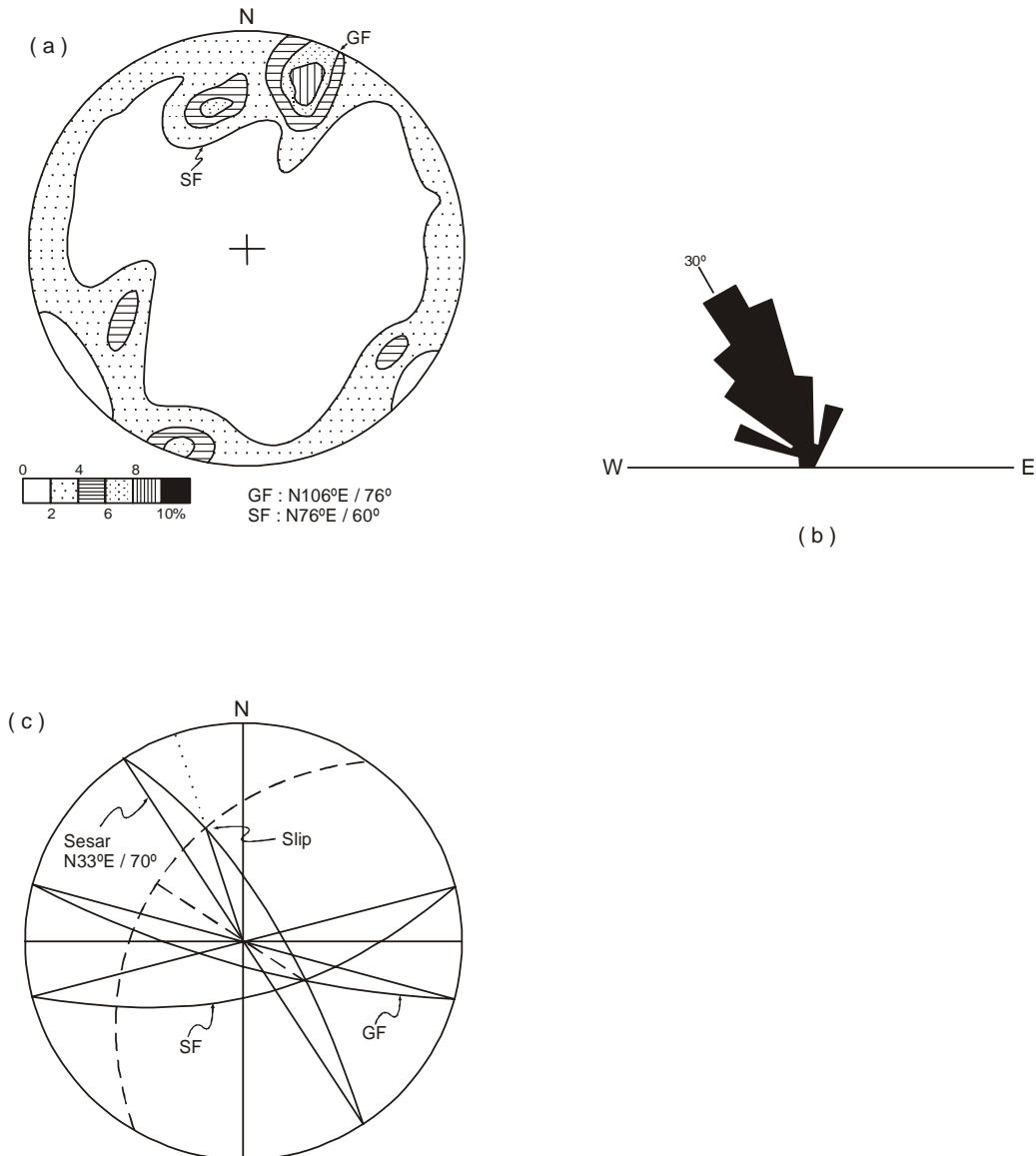
Gambar 10.27 : Perbandingan antara "Pure Shear" (inline compression) dan "Simple Shear" (differential horizontal movement) (Dari Thomas et al., 1973)

Sebagai contoh pada gambar 10. (a & b) diperlihatkan diagram kontur dari 20 "gash fracture", 25 bidang sayap dari "microfolds" dan gambar 10.27c adalah diagram roset dari 25 arah jalur sesar/breksiasi, serta gambar 10.27d adalah stereogramnya untuk menentukan pergerakan relatifnya.



Gambar 10.28 : a. Diagram kontur dari 20 kekar tarik (gash fracture)
 b. Diagram kontur dari 25 sayap lipatan kecil (micro fold)
 c. Diagram frekuensi dari 25 jalur sesar (breksiasi)
 d. Stereogram yang memperlihatkan hubungan antara jenis pergerakan sesar dengan kekar tarik dan lipatan kecil

Pada gambar 10.26 diperlihatkan diagram kontur dari 25 bidang “gash fracture” dan 25 bidang “shear fracture” (gambar a) dan diagram roset dari 25 jalur sesar/breksiasi (gambar b), serta stereogramnya untuk menentukan pergerakan relatifnya (gambar c).



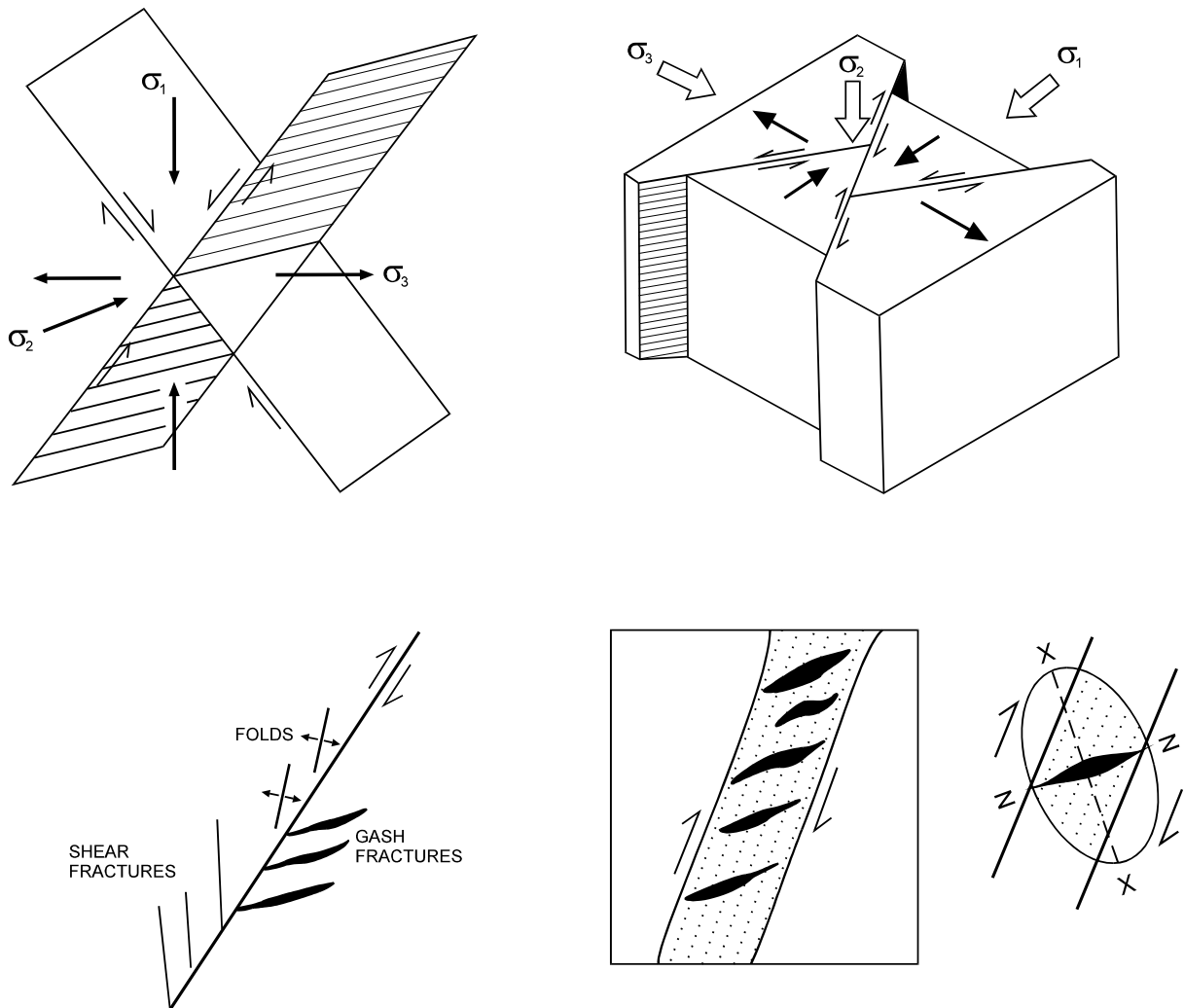
Gambar 10.29 ; a. Diagram kontur dari 25 gash fracture dan 25 shear fracture.
b. Diagram frekuensi dari jalur sesar (orientasi fragmen breksi sesar)
c. Penyelesaian geometri kedudukan dan gerak sesar

Selain kedua contoh tersebut diatas, untuk menentukan pergerakan relatifnya dapat juga memakai kombinasi yang lain dari jenis-jenis struktur penyerta.

Penyelesaian geometri didalam penentuan pergerakan sesar

Prinsip ataupun model tentang kinematika dan dinamika struktur seringkali, dan akan lebih mudah ditampilkan dalam gambaran dua dimensi, yaitu pada tampak peta atau penampang. Beberapa contoh yang dipakai sebagai analisis pergerakan sesar misalnya (Gambar 10.30).

- Hubungan antara tegasan utama dan pola kekar gerus yang berpasangan atau sesar mendatar utama.
- Hubungan antara sesar atau jalur sesar dengan struktur kekar (tension gash dan shear) atau lipatan minor yang menyertai.
- Hubungan antara dan pola keterakan (strain ellips) didalam jalur sesar.

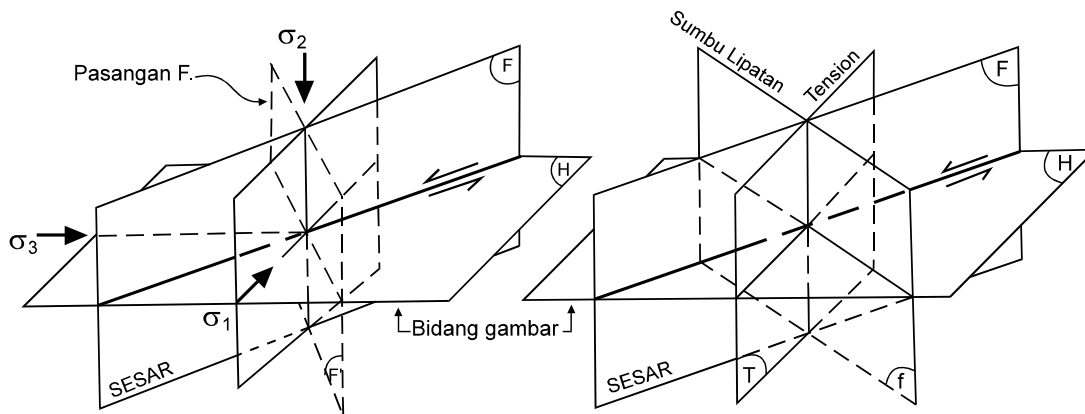


Gambar 10.30 Beberapa contoh prinsip atau model dari unsur struktur yang dapat dipakai sebagai penentuan mekanisme gerak sesar

Dari beberapa prinsip ini secara teoritis dapat diketahui sifat gerak sesar sebenarnya (slip). Dalam skala kecil sifat gerak sebenarnya ini misalnya dapat terlihat pada gores-garis (striation) pada cermin sesar (slickenside). Pada kasus yang lebih umum, kedudukan dan sifat gerak ini harus ditentukan dengan menerapkan kaidah teori ataupun model yang berlaku. Gerak suatu sesar tidak selalu mutlak mendatar seperti tampak pada peta, normal atau naik pada penampang, akan tetapi dapat bervariasi antara ketiga jenis gerak tersebut. Oleh karena itu kaidah teori atau model dan interpretasi gerak sesar sebenarnya harus dapat dibayangkan dalam gambaran tiga dimensi.

Untuk mempermudah dalam memperoleh gambaran tiga dimensi, gambaran pada tampak peta (bidang gambar dari prinsip atau model yang dipakai) diuraikan sebagai unsur-unsur geometri bidang atau garis. Suatu gambar model sesar mendatar pada peta misalnya, dengan struktur-struktur kekar atau lipatan

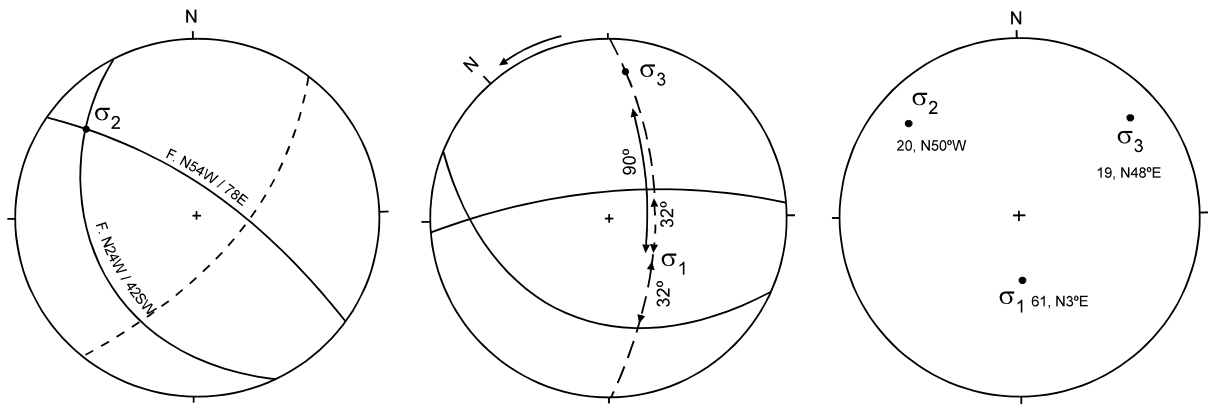
(bidang sumbunya) harus dapat dibayangkan sebagai bidang-bidang yang vertikal, yang berpotongan dengan bidang gambar yang tegak lurus terhadap struktur-struktur tersebut, sebagai struktur-struktur garis. Kedudukan dari gerakanya (slip) atau tegasan utama yang bekerja juga harus dapat dibayangkan sebagai suatu garis yang merupakan perpotongan antara bidang sesar dengan bidang gambarnya. Dengan kata lain, pada kasus ini kedudukan *slip* pada bidang sesar dapat ditentukan dengan memotongkan *bidang sesar* dan bidang yang tegak lurus terhadapnya. Bidang gambar dapat dianggap sebagai bidang bantu (auxillary plane). Dengan cara yang sama, prinsip ini dapat diterapkan untuk semua struktur-struktur yang merupakan unsur yang dapat dipakai sebagai penentu gerak sesar. Secara geometri pada suatu sistem sesar, struktur-struktur ini akan saling berpotongan pada suatu *garis* yang juga tegak lurus pada bidang gambar (Gambar 10.31). Hal ini sangat membantu dalam penyelesaian geometri, karena pada banyak kasus, kedudukan bidang sesar seringkali sangat sulit diukur misalnya pada suatu jalur sesar, secara teoritis akan melalui garis tersebut.



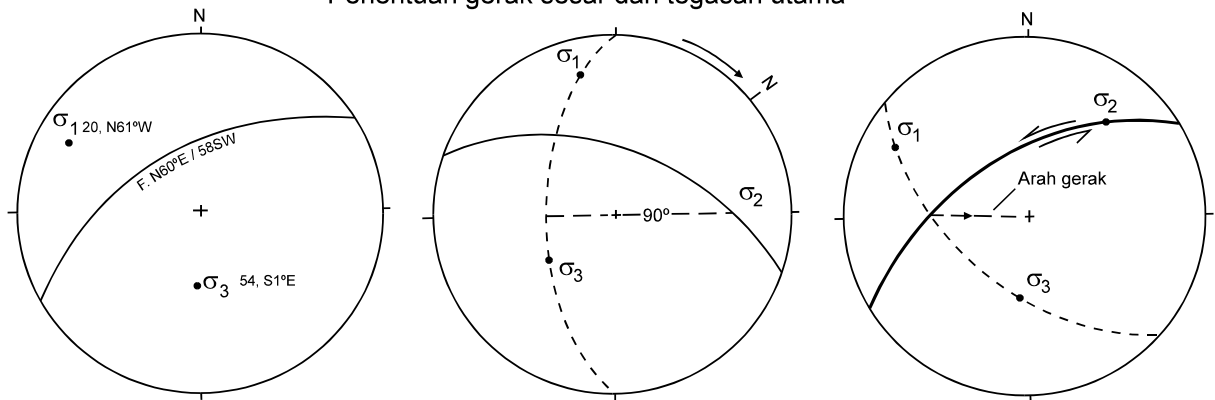
Gambar 10. 31 Beberapa contoh prinsip geometri unsur-unsur struktur pada suatu sistem sesar

Dengan mengacu pada prinsip diatas, kedudukan ataupun dari suatu sesar dan semua struktur yang dipakai sebagai kriteria untuk menafsirkan gerak sesar dapat diperhitungkan posisinya satu sama lain sesuai dengan kaidah atau model teoritis yang berlaku. Karena kedudukan unsur-unsur struktur tidak selalu vertikal, penyelesaian akan lebih mudah dilakukan dengan jaring stereografi (Wulf net atau Schmidt net). Beberapa contoh penyelesaian ditunjukkan pada gambar 10.32 (lihat juga cara penyelesaian 10.28 dan 10.29).

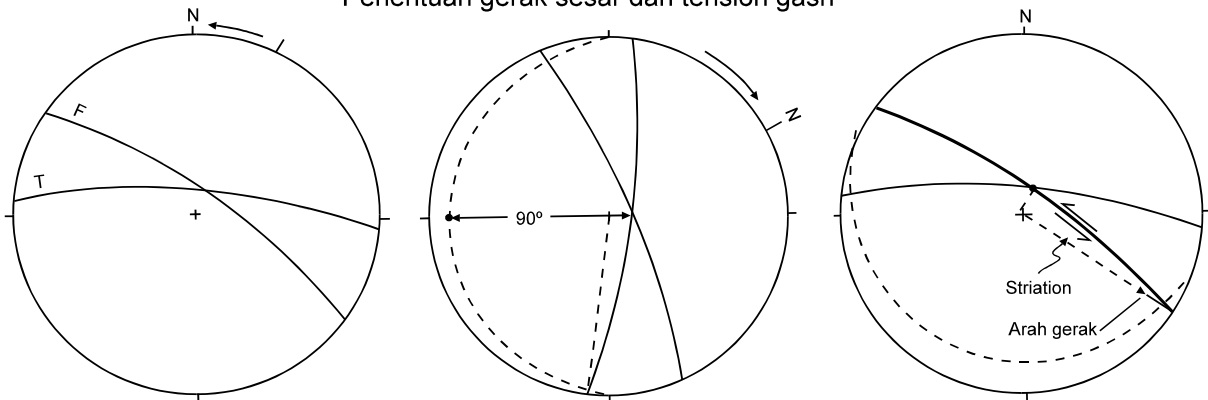
Penentuan tegasan σ_1 , σ_2 , σ_3 , dari pasangan sesar geser



Penentuan gerak sesar dari tegasan utama



Penentuan gerak sesar dari tension gash



Gambar 10.32 Beberapa contoh penyelesaian geometri penentuan gerak sesar dengan proyeksi stereografi

Soal Sesar dan Struktur Penyerta

1. Dalam lintasan sepanjang sungai terdapat jalur breksiasi. Disamping itu berkembang juga struktur penyerta yaitu "Gash Fracture" (rekahan terbuka) dan "Shear Fracture" (rekahan gerus) yang dilapangan dapat dibedakan. Untuk menganalisa jenis pergerakan tersebut, diadakan pengukuran arah breksiasi sebanyak 20 buah, gash fracture sebanyak 33 bidang, shear fracture sebanyak 32 bidang.

Arah breksiasi (jalur sesar) N ... °E

34 30 211 36 40 21 205 32 214 215 30 29 28 37 42 60 51 33 34

Kedudukan "gash fracture" (rekahan buka) N... °E/ ..°

345/86 133/69 125/66 312/60 243/73 148/70 305/84 196/71 117/79
165/47

155/84 304/81 139/73 146/70 166/68 313/64 153/55 312/88 151/63
140/77

145/75 125/84 150/78 133/73 135/86 137/82 156/73 143/66 142/82
132/77

142/75 136/61 315/70

Kedudukan "shear fracture" (rekahan gerus) N... °E/ ..°

73/88 43/73 40/90 264/82 263/80 258/83 66/90 76/88 58/80
105/82

256/86 255/82 84/87 57/88 84/79 83/65 95/90 92/72 70/85 89/65
72/78 76/90 88/90 81/86 82/90 75/79 81/88 83/82 89/78 87/87 90/86

Tugas :

- a. buatlah diagram roset dari jalur sesar tentukan arah umumnya.
 - b. buatlah diagram kontur "gash fracture" dan "shear fracture" dan kedudukan umum (pole maksimumnya) masing-masing rekahan
 - c. analisa jenis pergerakan sesar tersebut (nama sesar dengan klasifikasi ganda) dengan data yang didapat dari a dan b. Dan juga kedudukan bidang sesar, kedudukan net slip, dan rake net slip terhadap sesar.
2. Sesar mempunyai kedudukan bidang sesar N160°E/80°. Akibat pergerakan sesar tersebut menyebabkan berkembang struktur penyerta "micro fold". Di lapangan diadakan pengukuran sayap-sayapnya sebanyak 16 buah.

Kedudukan sayap-sayap lipatan N... °E/ ..°

135/56 148/42 158/36 141/47 129/21 120/35 110/40 133/34 107/15
123/40

120/30 4/55 351/64 346/62 4/55 334/35

Tugas

- a. buatlah kontur diagram dari "mikrofold" dan tentukan kedudukan bidang sumbunya.
- b. analisa jenis pergerakan sesar (nama sesar dengan klasifikasi ganda) dengan data sumbu mikrofold dan bidang sesar.