

## BAB VIII

# Deformasi dan Struktur Batuan



Gambar 8.1. Batuan yang telah terdeformasi terlipat lipatan seperti motif *wallpaper*

### 8.1. Pendahuluan

Geologi struktural adalah studi tentang distribusi tiga dimensi unit batuan yang berhubungan dengan sejarah deformasi mereka. Tujuan utama geologi struktural adalah dengan menggunakan pengukuran geometri batuan saat ini untuk menemukan informasi tentang sejarah deformasi bebatuan tersebut, dan akhirnya, untuk memahami arah stres yang menghasilkan strain dan geometri yang diamati saat ini seperti lipatan yang terdapat pada Gambar 8.1. Pemahaman tentang dinamika arah stres ini dapat dikaitkan dengan kejadian penting di masa lalu secara geologi. Tujuan yang sama adalah untuk memahami evolusi struktural suatu area tertentu sehubungan dengan pola deformasi batuan yang meluas secara regional karena efek lempeng tektonik.

Studi struktur geologi telah menjadi bagian yang sangat penting dalam geologi ekonomi, geologi minyak bumi dan geologi pertambangan. Pada kasus minyak dan gas bumi, lapisan batu yang terdilipat dan terpatahkan biasanya berupa perangkap yang terdapat cairan pekat seperti minyak bumi dan gas alam. Demikian pula, area yang terpatahkan dan kompleks secara struktural dapat dikenali sebagai zona permeabel untuk cairan hidrotermal, yang menghasilkan area terkonsentrasi dari endapan bijih logam mulia. Rekahan mineral yang mengandung berbagai logam umumnya mengalami patahan dan fraktur di daerah yang kompleks secara struktural. Zona-zona yang terstruktur ini sering terjadi melibatkan batuan beku yang mengganggu.

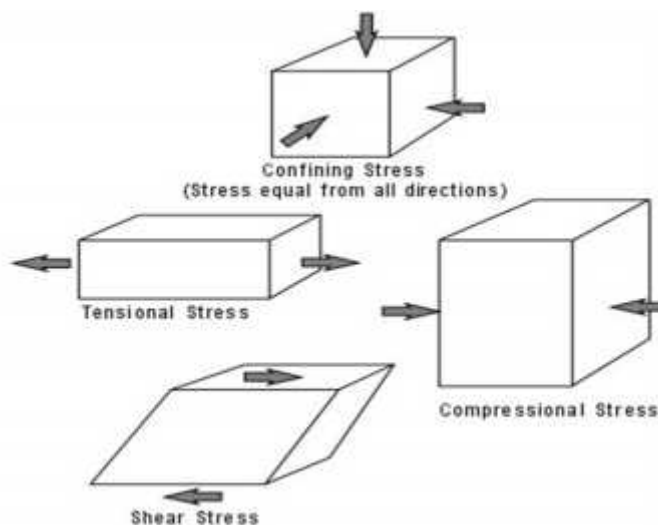


Geologi struktural adalah bagian penting dari rekayasa geologi, yang berkaitan dengan sifat fisik dan mekanik alami batuan. Struktural batuan seperti patahan (fault), lipatan (fold) dan sendi (joint) merupakan kelemahan internal batuan yang dapat mempengaruhi stabilitas struktur rekayasa manusia seperti bendungan, pemotongan jalan, tambang terbuka dan tambang bawah tanah atau terowongan jalan.

Pada Bab VIII ini akan dibahas bagaimana batuan bisa mengalami deformasi, dan struktur batuan yang diakibatkan oleh gaya luar penyebab deformasi tersebut. Struktur batuan yang dimaksud ini adalah struktur sekunder dimana struktur batuan terjadi setelah pembentukan batuan selesai.

### 8.2. Gaya Penyebab Deformasi Batuan

Deformasi adalah perubahan bentuk batuan yang disebabkan oleh gaya luar yang bekerja pada batuan tersebut. Terdapat empat arah gaya yang menyebabkan batuan terdeformasi, yaitu, *confining stress*, *tensional stress*, *compressional stress* dan *shear stress* seperti terlihat pada Gambar 8.2



Gambar 8.2 Arah gaya yang menyebabkan deformasi batuan

### **Gaya Kompresi (Compressional force/Compressional Stress)**

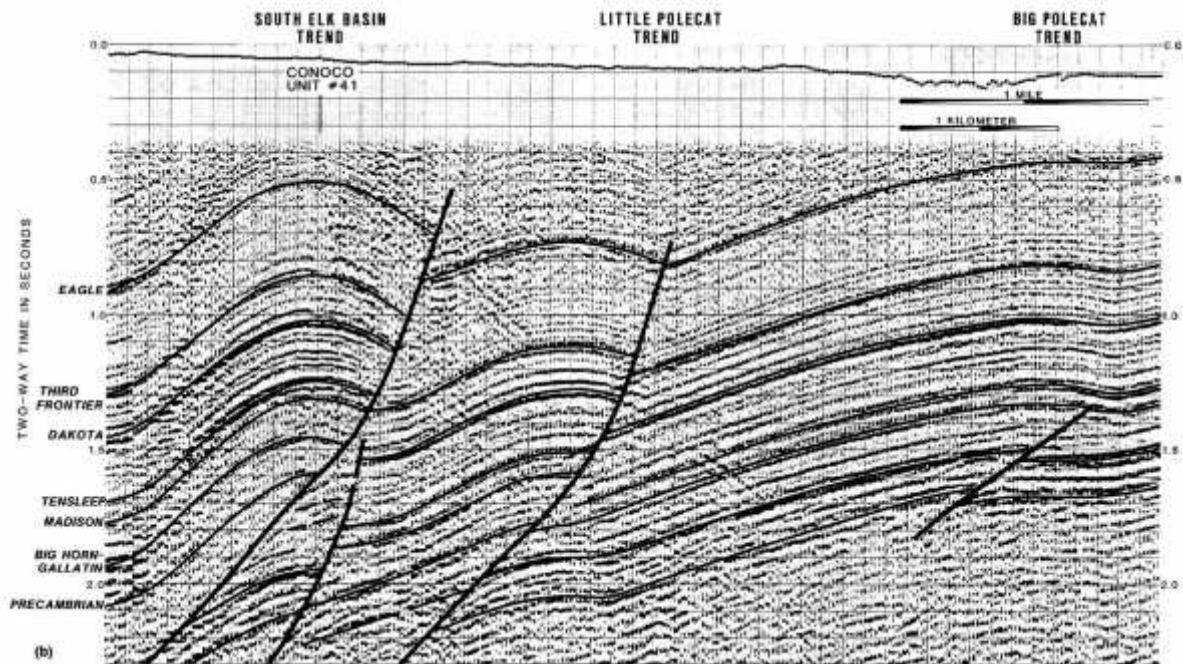
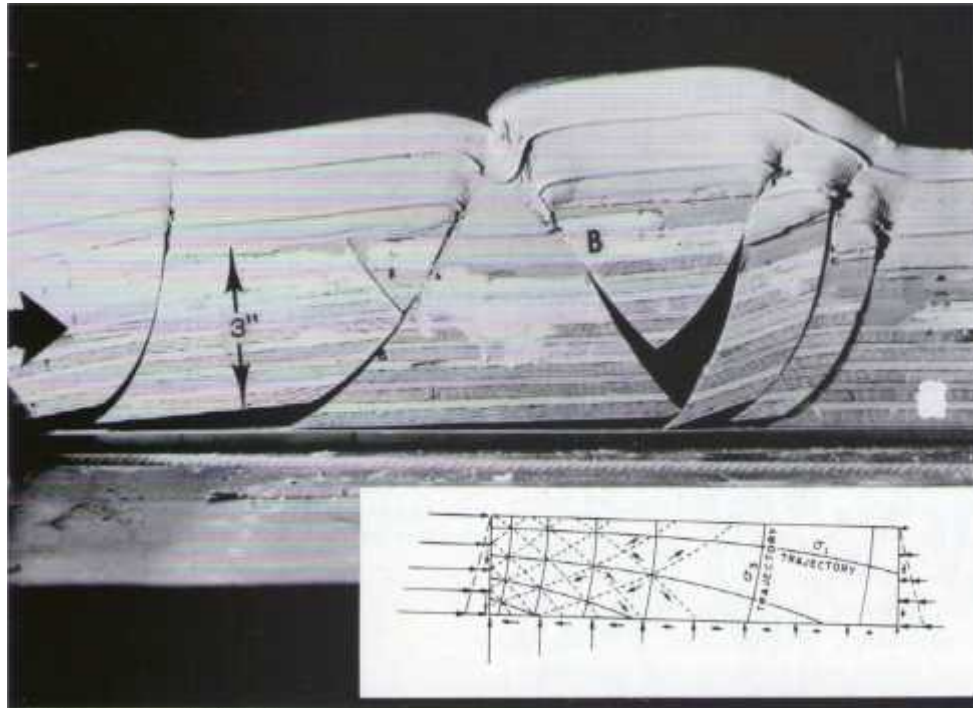
Istilah kompresi mengacu pada satu set tekanan yang diarahkan ke pusat massa batuan. Kekuatan tekan mengacu pada tegangan tekan maksimum yang dapat diaplikasikan pada material sebelum terjadi deformasi. Bila tegangan tekan maksimum berada pada orientasi horisontal, maka dapat menyebabkan *thrust faulting*, menghasilkan pemendekan dan penebalan bagian lapisan tersebut. Tekanan kompresif juga bisa mengakibatkan melipatnya bentuk batu. Karena besarnya tegangan litostatik pada lempeng tektonik, maka akan menyebabkan deformasi skala tektonik. Gambar 8.3 memperlihatkan hasil dari *gaya kompresi* yang menyebabkan penyempitan jarak sehingga menghasilkan *reverse fault* pada batuan. Pada gambar bagian atas terlihat compressive fault akibat untuk sakala percobaan di lab. Sedangkan pada gambar bagian bawah adalah data kondisi bawah permukaan tanah yang di ambil dengan data seismic yang terlihat hingga kedalaman lebihkurang 2.5 km.

Gaya kompresi ini bisa diakibatkan oleh tekanan yang dilakukan oleh pergerakan lempeng samudera sebagai akibat dari adanya arus konveksi pada pemekaran rantai samudera.

### **Gaya Tarik (Tensional force/Extensional Stress)**

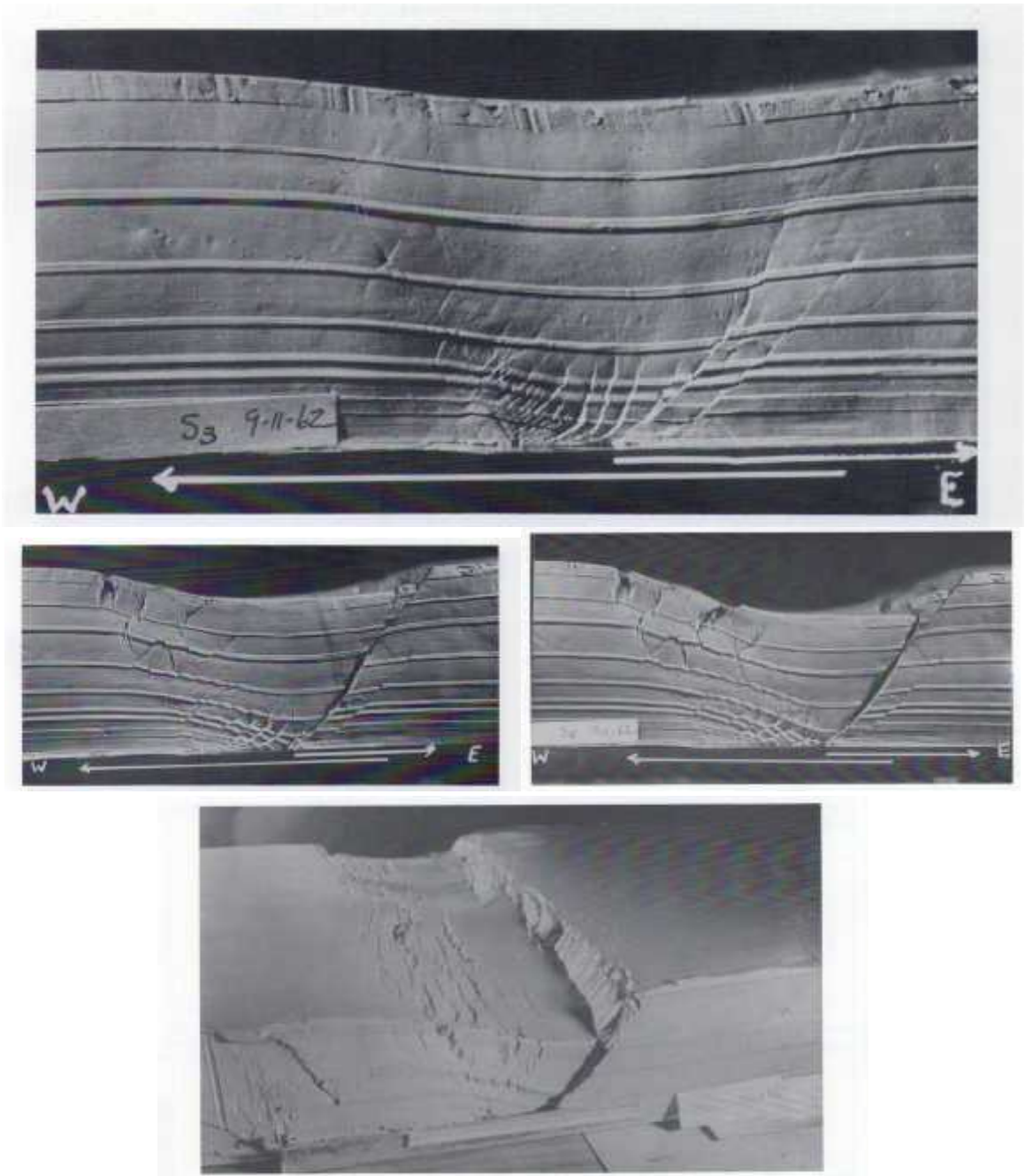
Selain gaya kompresi, ada juga gaya tarik yang menyebabkan adanya penambahan ruang pada bagian yang ditarik. Gaya ini disebabkan secara tidak langsung oleh tarikan gaya gravitasi bumi sehingga bagian masa yang tertarik ini akan menarik bagian masa di sekitar massa tersebut. Ini terlihat jelas pada cekungan yang sudah terisi oleh sedimen sehingga menghasilkan masa yang lebih besar, yang akibatnya akan menyebabkan tegangan tarik di sekitar cekungan tersebut. Gambar 8.4 memperlihatkan gaya tarik yang menyebabkan patahan normal (normal fault).





Gambar 8.3. *Compressive fault* yang menyebabkan penyempitan jarak sehingga menghasilkan *reverse fault*. Percobaan di lab (Atas) dan data seismic yang terlihat hingga kedalaman lebihkurang 2.5 km (Bawah)





Gambar 8.4. Percobaan pada lab dengan menggunakan gaya tarik sehingga menghasilkan patahan normal (normal fault) pada batuan tersebut.

Dapat disimpulkan :

Kompresi (Compression)

Stres yang bertindak untuk mempersingkat/mempersempit objek.

Tarikan / regangan (Tention)

Stres yang bertindak untuk memperpanjang suatu objek.

Stres normal

Stres yang bertindak tegak lurus terhadap permukaan. Bisa berupa kompresi atau tensi.

Stres geser

Stres yang bekerja sejajar dengan permukaan. Hal ini dapat menyebabkan satu objek meluncur di atas yang lain. Ini juga cenderung merubah bentuk semula benda persegi ke dalam parallelograms. Definisi yang paling umum adalah stres geser berfungsi untuk mengubah sudut pada objek.

### 8.3. Deformasi Batuan

Tegangan (Stress) adalah kuantitas fisik yang mengekspresikan kekuatan internal yang mana partikel-partikel tetangga dari bahan kontinyu saling mengerahkan, sementara regangan (Strain) adalah ukuran deformasi ataupun perubahan bentuk material. Misalnya, ketika sebuah bilah vertikal padat mendukung suatu berat, masing-masing partikel di batang mendorong partikel langsung di bawahnya. Bila cairan berada dalam wadah tertutup di bawah tekanan, masing-masing partikel terdorong oleh partikel sekitarnya.

Perilaku Material

Elastis (Elastic)

Bahan mengalami deformasi di bawah tekanan namun kembali ke ukuran dan bentuk aslinya saat tekanan dilepaskan. Tidak ada deformasi permanen. Beberapa strain elastis, seperti pada karet gelang, bisa berukuran besar, tapi di batuan biasanya cukup kecil untuk dianggap sangat kecil.

### Ductile

Material mengalami deformasi tanpa putus. Logam adalah ulet. Banyak materi menunjukkan kedua tipe perilaku. Mereka mungkin mengalami deformasi dengan cara yang ulet jika berubah bentuk perlahan, tapi akan patah jika berubah bentuk terlalu cepat atau terlalu banyak gaya yang diberikan. Batuan biasanya lentur pada suhu tinggi.

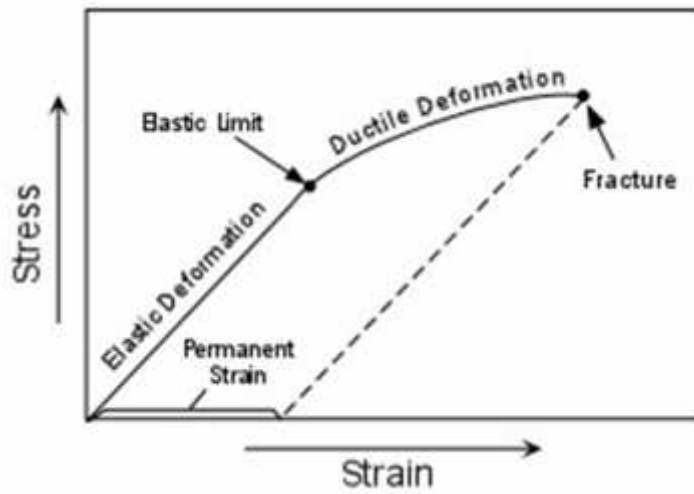
### Rapuh (brittle)

Material mengalami deformasi dengan fraktur (patah). Kaca jika diberi gaya melebihi kekuatannya akan rapuh. Batu biasanya rapuh pada suhu rendah.

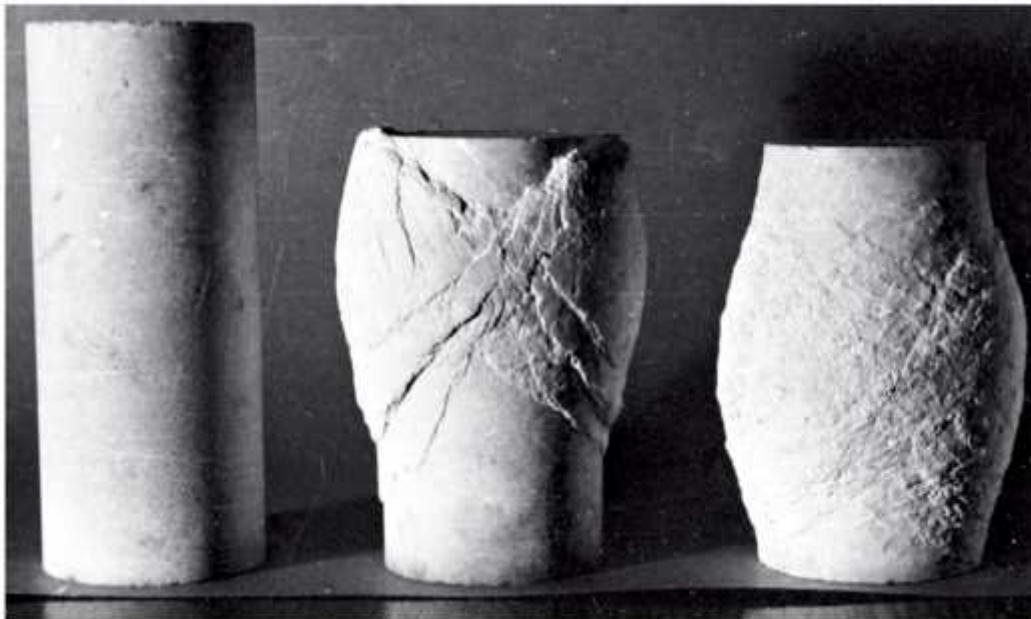
Perubahan besarnya stress yang diberikan terhadap perubahan bentuk (strain) dapat di ekspresikan seperti pada grafik di Gambar 8.5

Gambar 8.6 memperlihatkan coring batuan (batuan yang di sampel membentuk silinder) yang di diberi gaya yang sama namun pada suhu yang berbeda beda. Pada sebelah kiri adalah sebelum diberi stress, yang tengah adalah tekanan pada suhu rendah. Suhu rendah ini di asumsikan material batuan berada pada zona dangkal. Gambar yang ditengah (suhu rendah) terlihat batuan yang diberi stress mengalami retakan. Sedangkan yang sebelah kanan adalah dikondisikan batuan pada kedalaman sekitar 7 km sehingga suhu diprediksi sekitar 300<sup>o</sup> C. Pada suhu ini diberi stress yang sama, namun batuan tidak mengalami retakan.

Dari percobaan ini terlihat bahwa pada suhu rendah batuan akan bersifat brittle (rapuh), sedangkan pada suhu yang agak tinggi batuan akan bersifat plastic (ductile). Suhu yang agak tinggi akan melemahkan ikatan batuan dan membuat batuan yang kaku akan kehilangan sifat kekakuannya.



Gambar 8.5. Hubungan antara stress dan strain pada materi bumi



Gambar 8.6. Core batuan sebelum diberi stress (kiri), setelah diberi stress pada suhu rendah (tengah), pada suhu agak tinggi (kanan)





### 8.4. Struktur Sekunder Batuan

Struktur batuan sekunder terjadi pada batuan akibat adanya stres (seperti kompresi atau peregangan) yang dialami batuan setelah formasi aslinya. Strukturnya paling mudah diamati jika bebatuan memiliki struktur primer yang jelas, seperti lapisan stratifikasi yang dibentuk oleh episode endapan berturut-turut. Lapisan pengendapan endapan primer hampir selalu horizontal: paralel dengan konfigurasi umum permukaan tempat pengendapan terjadi, seperti dataran banjir atau dasar danau atau lautan. Karena itu, ketika lapisan ditemukan yang tidak horizontal, ahli geologi mengasumsikan bahwa beberapa kekuatan telah diberikan pada mereka yang telah menghancurkan horizontalnya semula.

Ada beberapa struktur sekunder yang akan dibahas pada Bab ini yaitu: 1. Patahan (Fault), 2. Lipatan (Fold), 3. Cekungan (Basin) dan 4. Kubah (Dome)

#### Patahan (Fault)

Patahan adalah bergeser ataupun patahnya posisi formasi batuan dari posisi semula yang bisa saja diikuti dengan naiknya atau turunnya salah satu bagian batuan atau kedua dua bagian tersebut namun menghasilkan ketinggian yang tidak sama dari posisi mula mula. Patahan ini bisa disebabkan oleh stress regangan, stress kompresi dan stress geser. Pada patahan terapat tiga istilah: bidang patahan, yaitu garis patahnya batuan. Kemudian hanging wall (dinding yang tergantung) yaitu bagian batuan yang berada diatas bidang atahan, dan foot wall (dinding kaki) yaitu bagian yang berada dibawah bidang patahan (Gambar 8.7). Ada beberapa jenis patahan diantaranya, 1. Patahan normal (Normal fault), 2. Patahan terbalik (Reverse fault), 3. Patahan thrust (Thrust fault), 4. Patahan geser (Strike slip fault), dan 5. Patahan oblik (Oblique fault). Patahan pada nomor 1, 2 dan 3 di grupkan pada patahan Dip Slip (pergeseran menyudut), yang mana patahan ini membuat sudut tertentu dengan bidang horizontal formasi batuan tersebut.



Patahan normal (Normal fault)

Patahan normal adalah disebabkan oleh stress regangan (tensional) sehingga ada bagian formasi batuan yang bertambah panjangnya yang mengakibatkan ada bagian batuan hanging wall yang turun. Jika terdapat runtutan patahan normal pada suatu kawasan maka di sebut Horst dan Graben (Gambar 8.8)

Patahan terbalik (Reverse fault)

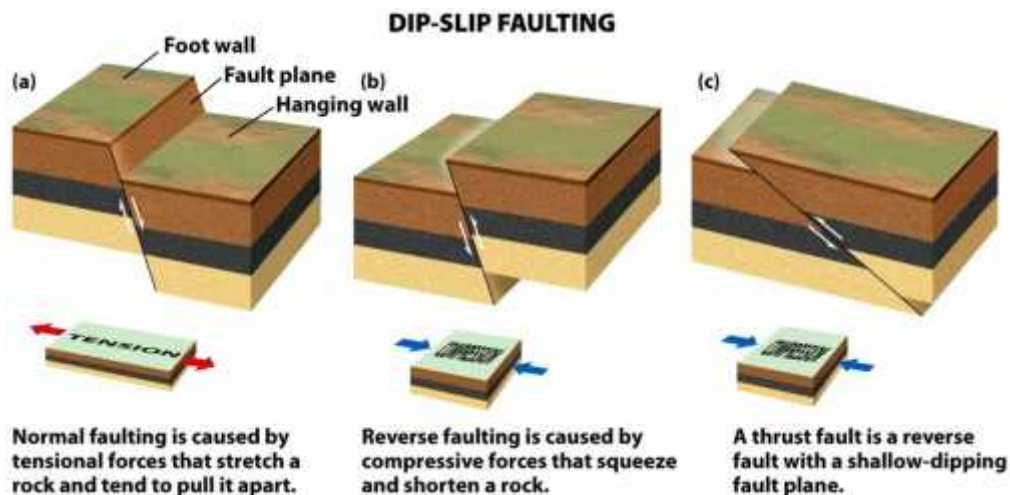
Patahan terbalik adalah disebabkan oleh stress kompresi (compressional stress) sehingga ada bagian formasi batuan yang berkurang panjangnya yang mengakibatkan ada bagian batuan hanging wall yang naik (Gambar 8.9).

Patahan thrust (Thrust fault)

Patahan thrust sama dengan reverse fault namun sudutnya terhadap horizontal lebih kecil dibandingkan dengan reverse fault (Gambar 8.9).

Patahan geser lurus (Strike slip fault)

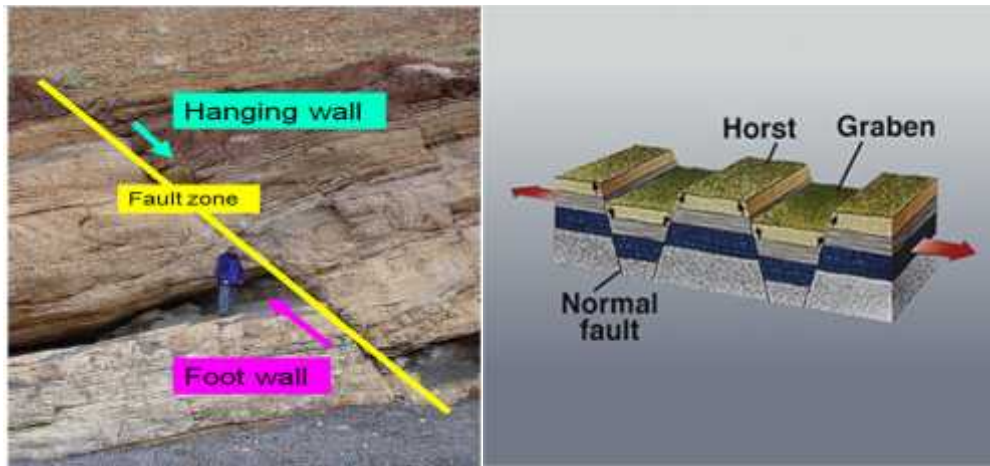
Patahan ini disebabkan oleh gaya yang saling mendorong namun posisi gaya tersebut tidak saling berhadapan namun gaya gaya tersebut saling bersampingan sehingga terjadi patahan geser. Patahan ini pada umumnya biasa terjadi pada batas Transform (Gambar 8.10)



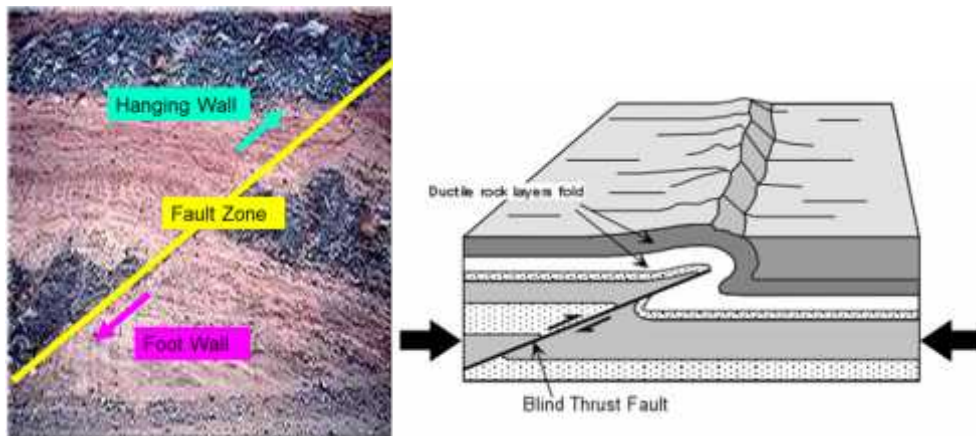
Gambar 8.7. Patahan kategori Dip Slip.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.





Gambar 8.8. Patahan normal (kiri) dan rentetan patahan normal Horst dan Graben(kanan)



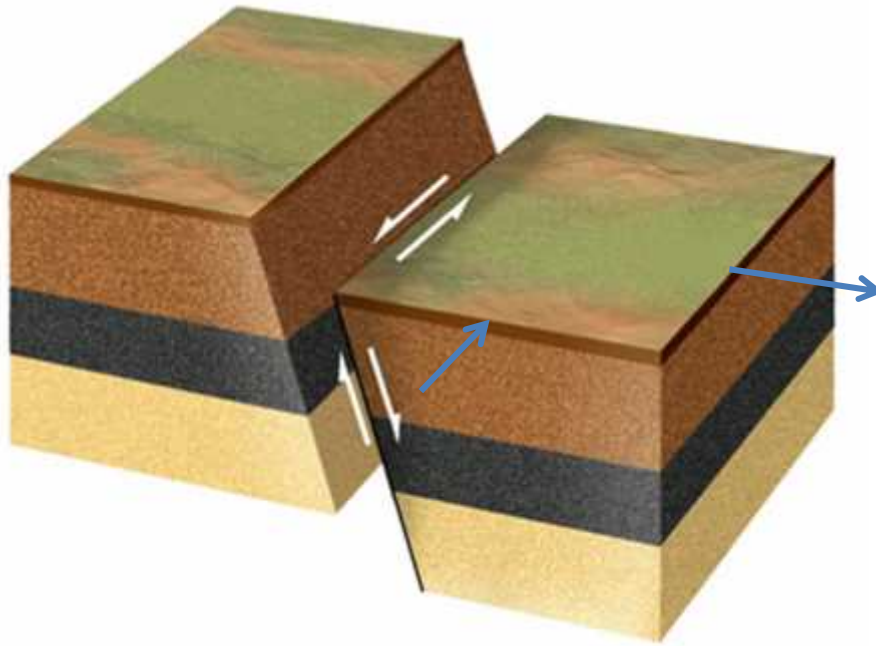
Gambar 8.9. Patahan reverse (kiri) dan patahan thrust (kanan)



Gambar 8.10. Patahan geser mendatar (strike slip fault)

### Patahan geser oblik (Oblique fault)

Patahan ini disebabkan oleh beberapa gaya yang bekerja. Ada gaya yang bertindak sebagai penggeser sehingga terjadi pergeseran dan juga ada gaya yang menarik pada arah yang tegak lurus dari gaya geser tersebut sehingga terjadi patahan normal. Hasil akhir dari adanya stress stress ini menghasilkan patahan geser oblik (Gambar 8.11)



Gambar 8.11. Patahan geser oblik (oblique fault)

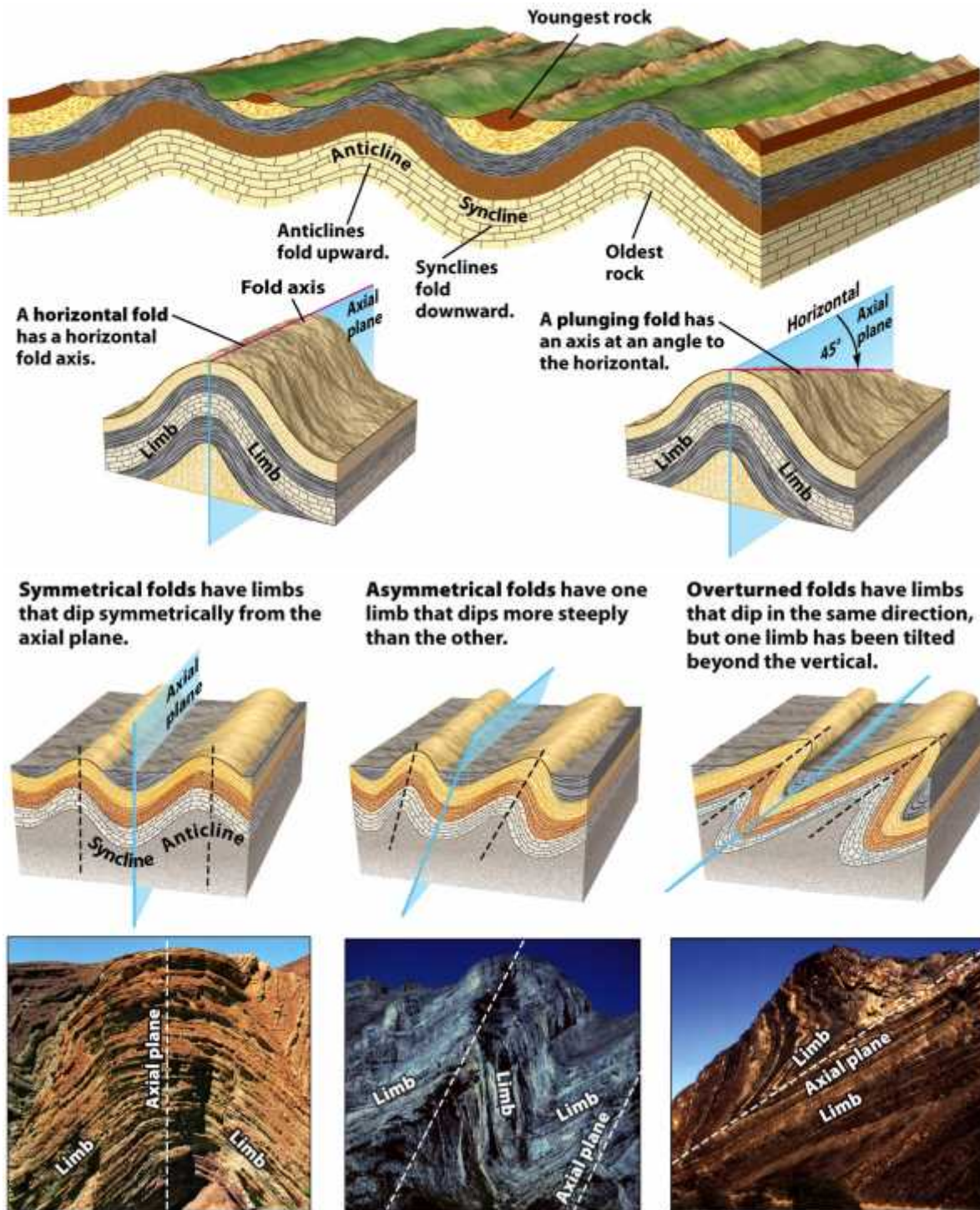
### Lipatan (Fold)

Lipatan terjadi ketika formasi batuan diberi gaya kompresi sehingga batuan tersebut mengalami deformasi dalam bentuk terlipat. Hal ini berbeda dengan patahan, lipatan adalah perubahan formasi batuan bersifat ductile sedangkan patahan adalah perubahan batuan bersifat brittle. Ada dua sebab mengapa batuan membentuk lipatan ketika mendapat gaya,

yaitu batuan terlipat dan gaya tidak bekerja lagi sebelum elastisitas batuan berakhir. Dalam buku ini akan dibahas lipatan yang berbentuk Antiklin dan Sinklin (Gambar 8.12),

Antiklin (Anticline) adalah lipatan batuan yang menggelembung keatas akibat dari gaya yang mendorong secara lateral. Sedangkan sinklin (Syncline) adalah lipatan yang menggelembung kearah bawah. Adapun perbedaan sinklin dan antiklin adalah akibat perbedaan arah gaya yang dialami oleh formasi batuan tersebut. Jika antiklin terkikis oleh erosi, maka batuan yang berumur termuda tersingkap pada pinggiran singkapan batuan antiklin tersebut. Namun jika struktur sinklin terkikis air dan tersingkap di permukaan maka batuan yang termuda akan tersingkap di tengah tengah lipatan.

Terdapat beberapa variasi bentuk lipatan sinklin dan antiklin seperti terlihat pada Gambar 8.12. Antiklin dan sinklin yang simetri menandakan adanya gaya yang sama kuat mendorong dan membentuk antiklin dan sinklin ini. Namun jika tidak simetris, ini mengindikasikan bahwa gaya yang lebih kuat menyebabkan lipatan yang lebih miring dan tidak simetri.



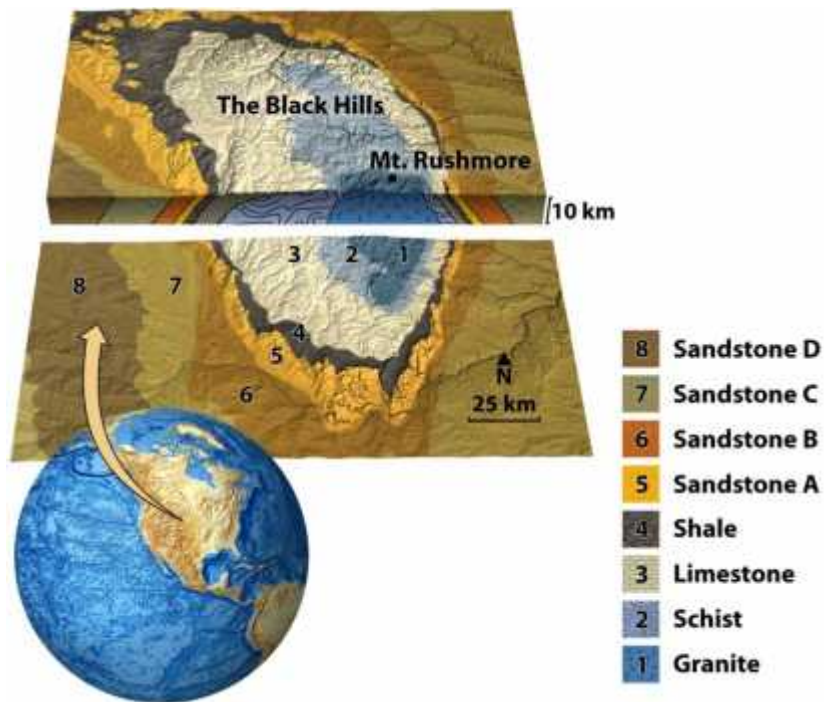
Gambar 8.12. Lipatan antiklin dan sinklin

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak mengizinkan kepentingan Universitas Riau.  
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

### Kubah (Dome)

Kubah merupakan akibat dari gaya dorong dari semua arah dengan arah sedikit menyudut dibawah garis horizontal sehingga batuan batuan tersebut mengalami lipatan. Kubah tidak selalu berbentuk lingkaran namun bisa saja memanjang tergantung besarnya gara dari arah arah yang berhadapan.

Jika kubah terkikis air maka bagian yang tengah adalah batuan yang berumur paling tua dan umur batuan akan lebih muda kearah luar dari pusat singkapan kubah tersebut (Gambar 8.13).



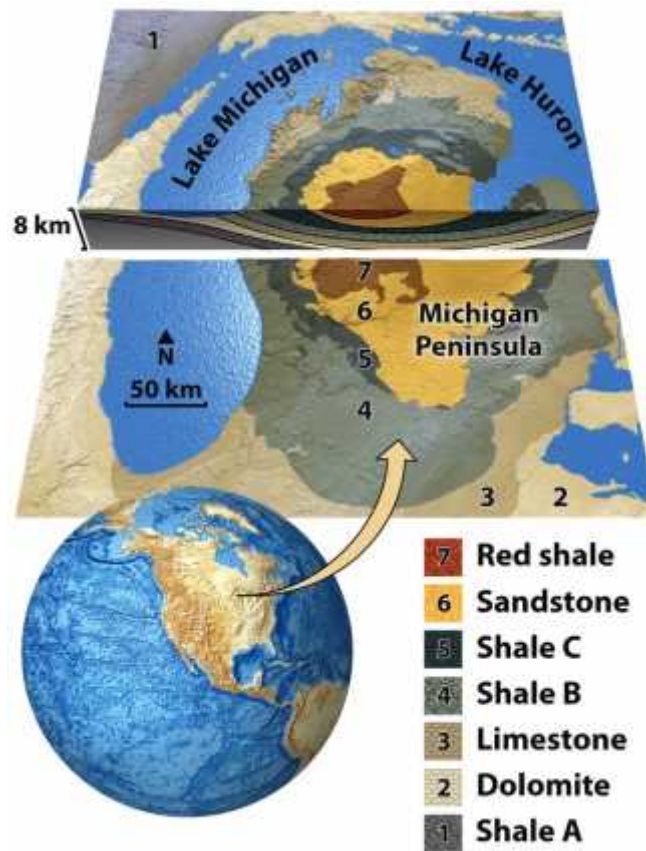
Gambar 8.13. Kubah



### Cekungan (Basin)

Cekungan merupakan akibat dari tekukan batuan yang terdorong oleh gaya lateral. Jika lempeng samudra hindia subduksi dibawah pulau sumatera maka bagian timur lempeng benua pembentuk pulau sumatera akan mengalami kerutan kebawah dan membentuk cekungan.

Jika cekungan terkikis air maka bagian yang tengah adalah batuan yang berumur paling muda dan umur batuan akan lebih tua kearah luar dari pusat singkapan cekungan tersebut (Gambar 8.14)



Gambar 8.14. Cekungan





### Pertanyaan BAB VIII

1. Jelaskan sumber gaya utama penyebab terjadinya deformasi batuan secara umum?
2. Jelaskan perbedaan antara stress regangan, menekan dan geser.
3. Apa perbedaan bentuk material diberi gaya jika sifat ductile nya lebih besar dari sifat elasticnya?
4. Bagaimana perbedaan besar gaya yang diberikan pada benda yang bersifat brittle dengan yang bersifat ductil?
5. Jelaskan arah gaya yang menyebabkan terjadinya deformasi batuan dan jenis deformasi yang diakibatkannya.
6. Apa perbedaan antara deformasi patahan dan lipatan jika ditinjau dari sifat bahan batuan tersebut.
7. Apa perbedaan antar cekungan dan kubah bila ditinjau dari umur batuan basing basing struktur tersebut.



### Daftar Pustaka dan Tambahan Bacaan

1. Blatt, Harvey and Robert J. Tracy, *Petrology*, W.H.Freeman, 2nd ed., 1996, p. 355 ISBN 0-7167-2438-3
2. Wilkinson, Bruce H.; McElroy, Brandon J.; Kesler, Stephen E.; Peters, Shanan E.; Rothman, Edward D. (2008). "Global geologic maps are tectonic speedometers – Rates of rock cycling from area-age frequencies". *Geological Society of America Bulletin*. 121 (5–6): 760–79. doi:10.1130/B26457.1.
3. Wicander R. & Munroe J. (2005). *Essentials of Geology*. Cengage Learning. pp. 174–77. ISBN 9780495013655.
4. Ludman, Allan, 1982, *Physical Geology*, McGraw-Hill
5. Buchner, K & R. Grapes (2011). "Metamorphic rocks". *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer. pp. 21–56. doi:10.1007/978-3-540-74169-5\_2. ISBN 978-3-540-74168-8.

