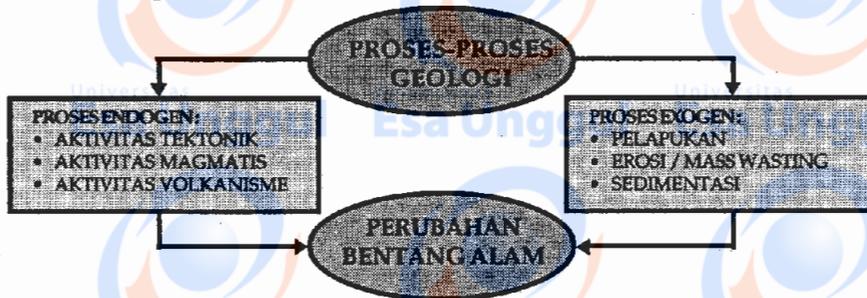


# BAB 2

## PROSES-PROSES GEOLOGI DAN PERUBAHAN BENTANG ALAM

### 2.1 Pendahuluan

Proses-proses geologi adalah semua aktivitas yang terjadi di bumi baik yang berasal dari dalam bumi (*endogen*) maupun yang berasal dari luar bumi (*eksogen*). Gaya *endogen* adalah gaya yang berasal dari dalam bumi seperti aktivitas tektonik, aktivitas magmatik dan aktivitas vulkanisme, sedangkan gaya *eksogen* adalah gaya yang bekerja di permukaan bumi seperti pelapukan, erosi dan mass-wasting serta sedimentasi. Gaya *endogen* maupun *eksogen* merupakan gaya-gaya yang memberi andil terhadap perubahan bentuk bentang alam (*landscape*) yang ada di permukaan bumi. Pada gambar 2.1 disajikan suatu bagan yang memperlihatkan proses-proses geologi (*endogen* dan *eksogen*) sebagai agen dalam perubahan bentuk bentang alam.



Gambar 2.1 Proses-proses geologi dan perubahan bentang alam.

## 2.1.1 Proses-proses Endogen

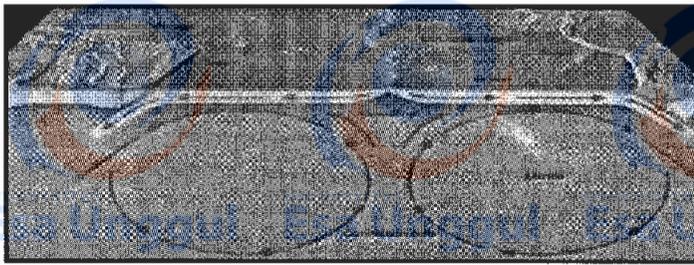
Proses endogen adalah semua proses yang berasal dari dalam bumi, seperti aktivitas tektonik berupa pembentukan pegunungan (*orogenesis*), pelipatan dan pensesaran, aktivitas magmatis yang berupa intrusi magma ke permukaan atau dekat permukaan bumi, dan aktivitas vulkanisme berupa pembentukan gunung api, erupsi/letusan gunung api: aliran lava maupun semburan material piroklastik.

### 1. Aktivitas Tektonik dan Teori Tektonik Lempeng

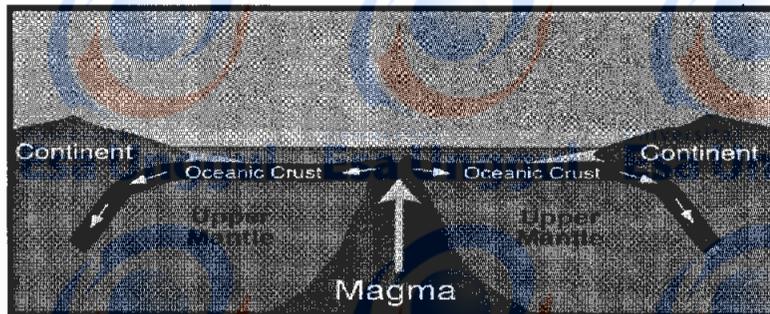
Aktivitas Tektonik adalah aktivitas yang berasal dari pergerakan lempeng-lempeng yang ada pada kerak bumi (*lithosphere*). Hasil dari tumbukan antar lempeng dapat menghasilkan pegunungan (*orogenesis*), aktivitas magmatis dan aktivitas gunung api (*volcanism*). Teori tektonik lempeng adalah suatu teori yang didasarkan pada hipotesa "Pemekaran Lantai Samudra" (*Sea-floor spreading*) dan hipotesa "Pengapungan Benua" (*Continental drift*).

Hipotesa pemekaran lantai samudra menjelaskan bahwa bagian kulit bumi yang ada didasar samudra Atlantik tepatnya di pematang tengah samudra (*mid-oceanic ridges*) terjadi suatu pembentukan material baru (*lithosphere*) yang berasal dari dalam bumi. Dengan terbentuknya material baru disepanjang pematang tengah samudra menyebabkan material lama yang ada disampingnya ikut terdorong ke arah kiri dan kanan dari pusat rekahan. Pergerakan masa batuan (*lithosphere*) ke arah kiri dan kanan yang terjadi di pematang tengah samudra dikenal sebagai pemekaran lantai samudra (Gambar 2.2).

Hipotesa mengenai pemekaran lantai samudra didukung oleh data-data hasil pengukuran kemagnetan purba (*paleomagnetism*) dan penentuan umur batuan (*rock dating*). Kemagnetan purba adalah studi tentang polaritas arah magnet bumi yang terekam oleh mineral yang ada dalam batuan saat batuan tersebut membeku.



**Gambar 2.2** Pemekaran lantai samudra yang terjadi di pematang tengah samudra.

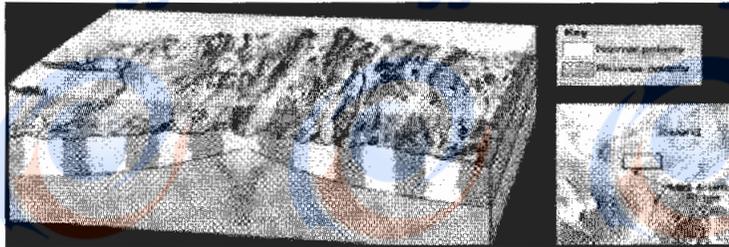


**Gambar 2.3** Pemekaran kerak samudra yang terjadi di Pematang Tengah Samudra dan penyusupan kembali ke dalam perut bumi.

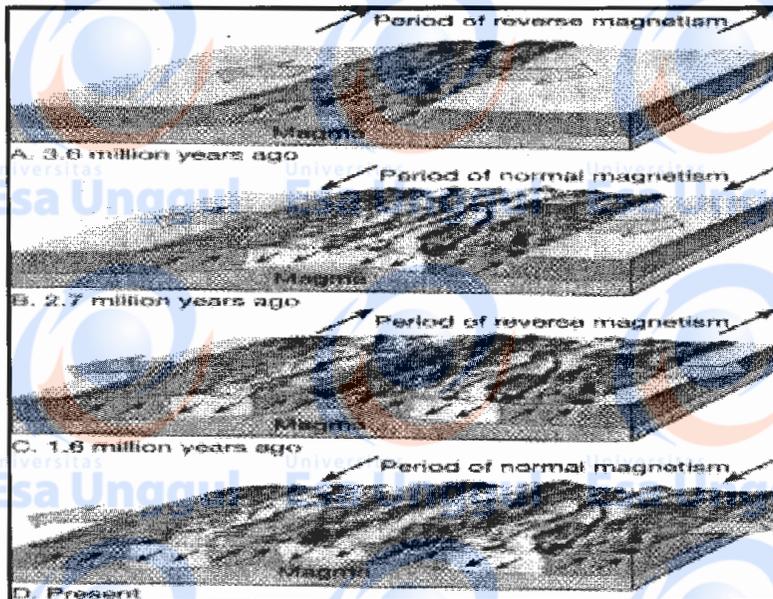
Sebagaimana diketahui bahwa mineral-mineral yang menyusun batuan, seperti mineral hematit/magnetit akan merekam arah magnet-bumi saat mineral tersebut terbentuk, yaitu pada temperatur +/- 550<sup>o</sup> Celcius (temperatur Currie). Hasil studi kemagnetan-purba yang dilakukan terhadap sampel batuan yang diambil di bagian pematang tengah samudra hingga ke bagian tepi benua menunjukkan terjadinya polaritas arah magnet bumi yang berubah rubah (normal dan reverse) dalam selang waktu setiap 400 juta tahun sekali (gambar 2.4 dan 2.5).

Polaritas arah magnet bumi yang terekam pada batuan punggungan tengah samudra dapat dipakai untuk merekonstruksi posisi dan proses pemisahan antara benua Amerika dan Afrika yang semula berimpit dan data ini didukung oleh hasil penentuan umur batuan yang menunjukkan umur yang semakin muda ke arah pematang tengah samudra.

Hal lain yang perlu diketahui dari hipotesa pemekaran lantai samudra adalah bahwa ternyata volume bumi tetap dan tidak semakin besar dengan bertambah luasnya lantai samudra dan hal ini berarti bahwa harus ada di bagian lain dari kulit bumi dimana kerak samudra mengalami penyusupan kembali ke dalam perut bumi (Gambar 2.3).



**Gambar 2.4** Pembentukan material baru di Pematang Tengah Samudra disertai dengan terbentuknya polaritas arah magnet bumi yang direkam oleh batuan kerak samudra.



**Gambar 2.5** Proses pembentukan material baru dan periode polaritas arah magnet bumi yang terekam pada batuan dasar lantai samudra sejak 3.6 milyar tahun lalu (atas) hingga saat ini (bawah).

Hipotesa pengapungan benua menjelaskan tentang bagian kulit-bumi (*lithosphere*) yang terdiri dari Kerak Benua (*Continental Crust*) dan Kerak Samudra (*Oceanic-Crust*) mengapung di atas suatu lapisan pijar yang bersifat semi-plastis dan berada pada bagian atas Mantel Bumi. Lapisan inilah yang menyebabkan kerak samudra dan kerak benua seolah-olah mengapung di atas lapisan tersebut. Lapisan semi-plastis diketahui berdasarkan hasil rekaman data seismik (gelombang P dan gelombang S) yang merambat ke dalam interior bumi dari suatu sumber energi gempa.

Berdasarkan hasil rekaman kecepatan rambat gelombang P dan S dan sifat-sifat rambat gelombang pada media (gambar 2.6), maka dapat diketahui susunan material interior bumi serta bagian-bagiannya. Adapun susunan interior bumi adalah sebagai berikut: 1). inti bumi bagian dalam (*inner core* (padat)) dan inti bumi bagian luar (*outer core* (cair)), 2). mantel bumi {mantel bagian bawah (*lower mantle*) dan mantel bagian atas (*upper mantle*)} bersifat padat dan 3). kulit bumi (*lithosphere + Asthenosphere*) bersifat padat. Diantara batas mantel bumi dan asthenosphere terdapat suatu material berfasa semiliquid dan hal ini dibuktikan oleh adanya perubahan kecepatan rambat gelombang dari mantel bumi bagian atas ke arah asthenosphere (kerak bumi). Hipotesa pengapungan benua mengasumsikan bahwa kerak bumi (*lithosphere + asthenosphere*) mengapung di atas lapisan semi liquid ini.

Teori tektonik lempeng adalah suatu teori yang menyatakan bahwa kulit bumi yang terdiri dari lapisan *lithosphere*+*asthenosphere* tersusun dari beberapa lempeng yang besar, baik itu lempeng benua maupun lempeng samudra (gambar 2.7). Berdasarkan teori tersebut, lempeng-lempeng yang menyusun kulit bumi (gambar 2.8) adalah: lempeng Pasific (*Pacific plate*), lempeng Euroasia (*Eurasian plate*), lempeng India-Australia (*Indian-Australian plate*), lempeng Afrika (*African plate*), lempeng Amerika Utara (*North American plate*), lempeng Amerika Selatan (*South American plate*), lempeng Antartika (*Antartic plate*) serta beberapa lempeng kecil seperti lempeng Nasca (*Nasca plate*), lempeng Arab (*Arabian plate*), lempeng Karibia (*Caribbean plate*).

Masing-masing lempeng dibatasi oleh batas-batas lempeng (gambar 2.7), yaitu:

- (1). Batas Konvergen (*Convergent boundary*)
- (2). Batas Divergen (*Divergent boundary*)
- (3). Batas Patahan Mendatar (*Transforms/Strike Slip Fault boundary.*)

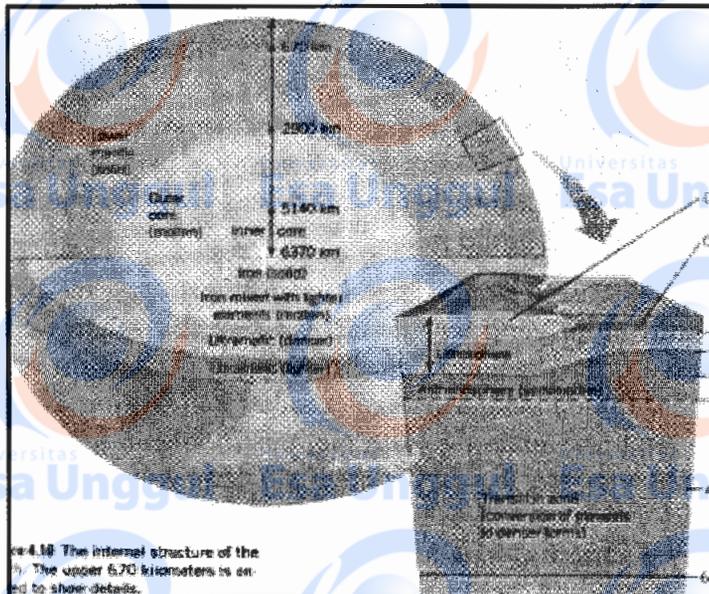
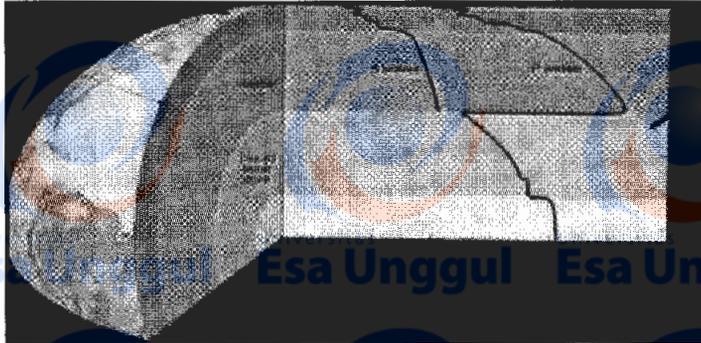
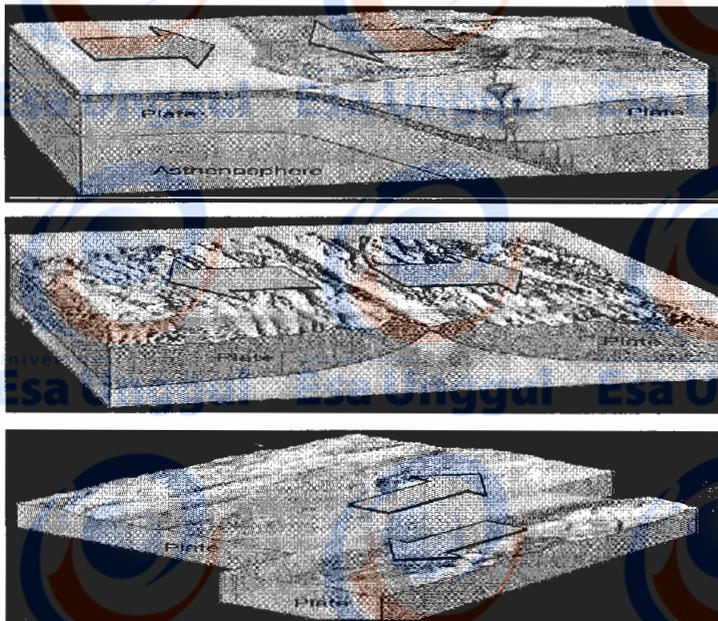


Fig. 4.18 The internal structure of the Earth. The upper 6.70 kilometers is enlarged to show details.

**Gambar 2.6** Rambatan gelombang P dan S pada interior bumi (atas) serta bagian-bagian interior bumi inner core (padat), outer core (cair), lower mantle (padat), upper mantle (semi liquid), earth crust (padat).

### a. Batas Konvergen

Batas divergen adalah batas antar lempeng yang saling bertumbukan. Jenis tumbukan lempeng konvergen dapat berupa tumbukan jenis Subduksi (*Subduction*) yaitu tumbukan antara lempeng samudra dan lempeng benua yang akan menghasilkan bagian lempeng yang menyusup ke dalam perut bumi dan bagian lempeng yang terangkat ke permukaan bumi. Pada tumbukan jenis ini, bagian lempeng yang masuk kedalam perut bumi adalah lempeng samudra dan bagian lempeng yang terangkat ke permukaan bumi adalah lempeng benua.



Gambar 2.7 Batas-batas lempeng : Konvergen (atas), Divergen (tengah) dan Patahan mendatar/transforms (bawah).

Adapun mengapa bagian lempeng samudra yang masuk ke perut bumi bukan lempeng benua adalah karena masa jenis dari material kerak samudra lebih besar dibandingkan dengan masa jenis material kerak benua, sehingga apabila terjadi tumbukan maka secara ilmu fisika bagian yang bermasa lebih besar akan me-

nyusup ke dalam perut bumi sedangkan bagian yang bermasa lebih ringan akan terdorong ke bagian atas. Contoh tumbukan jenis ini adalah Kepulauan Indonesia sebagai bagian dari lempeng benua Asia Tenggara bertabrakan dengan lempeng samudra Hindia–Australia di sebelah selatan Sumatra-Jawa-NTB dan NTT. Kepulauan Jepang sebagai bagian dari lempeng benua Asia Timur bertabrakan dengan lempeng samudra Pasifik Barat. Tumbukan lempeng jenis Obduksi (*Obduction*) adalah tumbukan antara lempeng benua dengan benua yang mengakibatkan terangkatnya kedua lempeng ke permukaan membentuk suatu rangkaian pegunungan. Pegunungan Himalaya adalah salah satu contoh hasil tumbukan lempeng jenis obduction adalah lempeng India yang bertabrakan dengan lempeng Asia menghasilkan pegunungan Himalaya.

### b. Batas Divergen

Batas divergen adalah batas antar lempeng yang saling menjauh satu dan lainnya. Pemisahan ini disebabkan karena adanya pembentukan material baru pada batas lempeng tersebut. Contoh batas lempeng jenis ini adalah Punggung Tengah Samudra yang terletak di dasar samudra Atlantik.

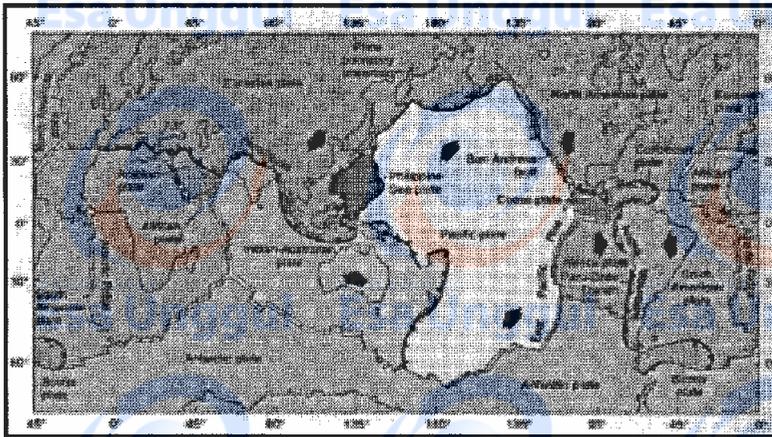
### c. Batas Patahan Mendatar

Batas patahan mendatar adalah batas antar lempeng yang saling berpapasan dan saling bergeser satu dan lainnya menghasilkan suatu sesar mendatar jenis *Strike Slip Fault*. Contoh batas lempeng jenis transforms adalah patahan San Andreas di Amerika Serikat yang merupakan pergeseran lempeng samudra Pasifik dengan lempeng benua Amerika Utara.

## 2. Aktivitas Magmatis

Aktivitas magmatis adalah segala aktivitas magma yang berasal dari dalam bumi. Pada hakekatnya aktivitas magmatis dipengaruhi oleh aktivitas tektonik, seperti tumbukan lempeng baik secara convergent, divergent dan atau transform. Pembentukan material kulit bumi (batuan) yang terjadi di Pematang tengah

samudra adalah salah satu contoh dari aktivitas magma, sedangkan pembentukan gunung api di kepulauan Hawaii adalah contoh lain dari aktivitas magma yang terjadi di sepanjang batas lempeng (*transforms*). Produk dari aktivitas magma dapat menghasilkan batuan beku, baik batuan beku *intrusive* dan batuan beku *ekstrusive*.



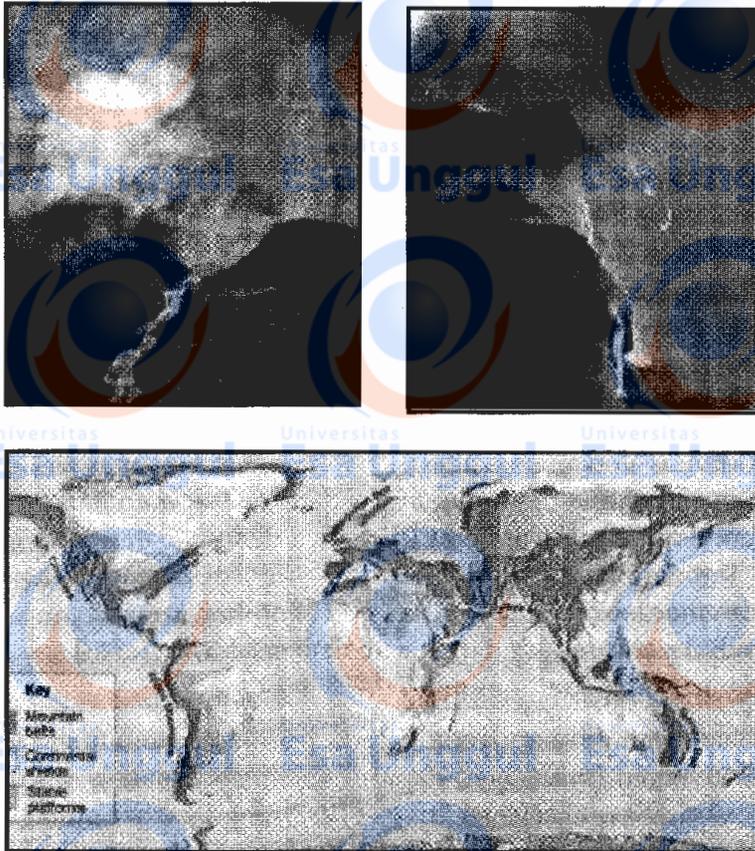
Gambar 2.8 Lempeng-lempeng utama kerakbumi.

### 3. Aktivitas Vulkanisme

Aktivitas vulkanisme adalah semua aktivitas yang berkaitan dengan pembentukan gunung api, sedangkan sebaran dan genesa pembentukan gunung api erat kaitannya dengan batas-batas lempeng. Terbentuknya material baru (*lithosfer*) di pematang tengah samudra merupakan suatu proses pembentukan gunung api yang terjadi di dasar samudra dan merupakan salah satu lokasi sebaran gunung api yang ada di bumi.

Sebaran gunung api yang berada pada zona tumbukan lempeng konvergen (*subduction*) dapat diamati di sekeliling samudra Pasifik yang dikenal sebagai "*ring of fire*" yang tersebar mulai dari kepulauan Jepang, Filipina, Halmahera, kepulauan Pasifik, Chili, Peru, Colombia, Meksiko, Almerika, Alaska, hingga ke kepulauan Kuril (*Pacific volcanic belt*).

Sebaran gunung api lainnya adalah *Mediterranean volcanic belt*, yaitu suatu busur gunung api yang terbentang mulai dari pegunungan Mediteran di Eropa menerus ke Asia Selatan dan berlanjut hingga ke Sumatra, Jawa, Bali, NTB, NTT, hingga ke laut Banda, dan Sulawesi. Sedangkan sebaran gunung api yang ada di kepulauan Hawaii merupakan proses pembentukan gunung api yang berhubungan dengan *hot spot* yaitu material panas yang naik ke permukaan bumi disepanjang batas pergerakan lempeng jenis *transforms/strike slip fault*.



**Gambar 2.9** Aktivitas gunung api (volkanisme) yang berupa semburan lava (kiri atas) dan aliran lava (kanan atas), dan sebaran gunung api di dunia (bawah).

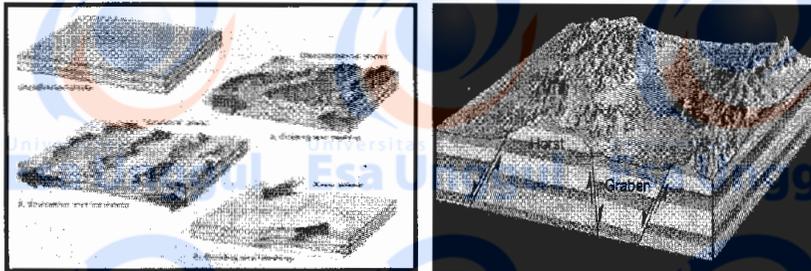
## 2.1.2 Bentang Alam Endogen

Bentang alam endogen adalah bentang alam yang proses pembentukannya/ genetiknya dikontrol oleh gaya-gaya endogen, seperti aktivitas gunung api, aktivitas magma dan aktivitas tektonik (perlipatan dan patahan).

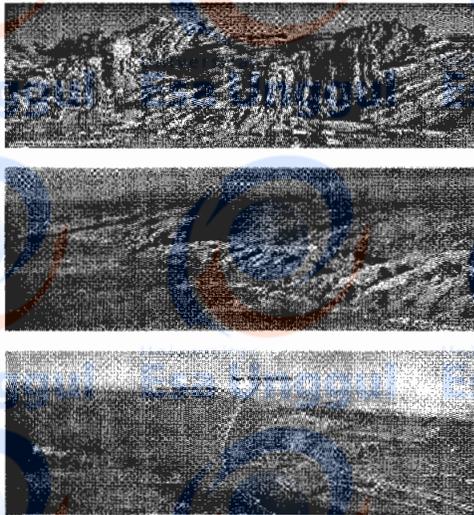
Bentuk bentang alam endogen secara geomorfologi dikenal sebagai bentuk bentang alam konstruksional (*constructional landforms*). Adapun bentuk bentang alam yang dikendalikan oleh gaya gaya endogen antara lain adalah:

1. Bentang alam Struktural (*Structural landforms*) adalah bentang alam yang proses pembentukannya dikontrol oleh gaya tektonik seperti perlipatan dan atau patahan.
  - a. **Bukit Antiklin** (*anticlinal ridges*) adalah bentang alam yang berbentuk bukit dengan litologi yang mendasarinya berstruktur antiklin.
  - b. **Lembah Antiklin** (*synclinal valleys*) adalah bentang alam yang berbentuk lembah dengan litologi yang mendasarinya berstruktur antiklin.
  - c. **Bukit Sinklin** (*synclinal ridges*) adalah bentang alam yang berbentuk bukit dengan litologi yang mendasarinya berstruktur sinklin.
  - d. **Lembah Sinklin** (*synclinal valleys*) adalah bentang alam yang berbentuk lembah dengan litologi yang mendasarinya berstruktur sinklin.
  - e. **Bukit Monoklin** (*monoclinial ridges*) adalah bentang alam yang berbentuk bukit dimana litologi yang mendasarinya memiliki kemiringan lapisan yang searah / seragam.
  - f. **Bukit Patahan** (*faulting ridges*) adalah bentang alam berbentuk bukit yang proses kejadiannya dikontrol oleh struktur patahan.
  - g. **Gawir** (*scarps*) adalah bentang alam berbentuk bukit memanjang serta berlereng terjal sebagai bidang patahan/ sesar.

- h. **Amblesan** (*graben*) adalah bentang alam depresi berbentuk datar dan dibatasi oleh bidang-bidang sesar sebagai hasil block faulting.
- i. **Tonjolan** (*horst*) adalah bentang alam yang berbentuk bukit yang dibatasi oleh bidang-bidang sesar merupakan hasil block faulting.
- j. **Bukit Patahan** (*faulting ridges*) adalah bentang alam berbentuk bukit yang proses kejadiannya dikontrol oleh struktur patahan.

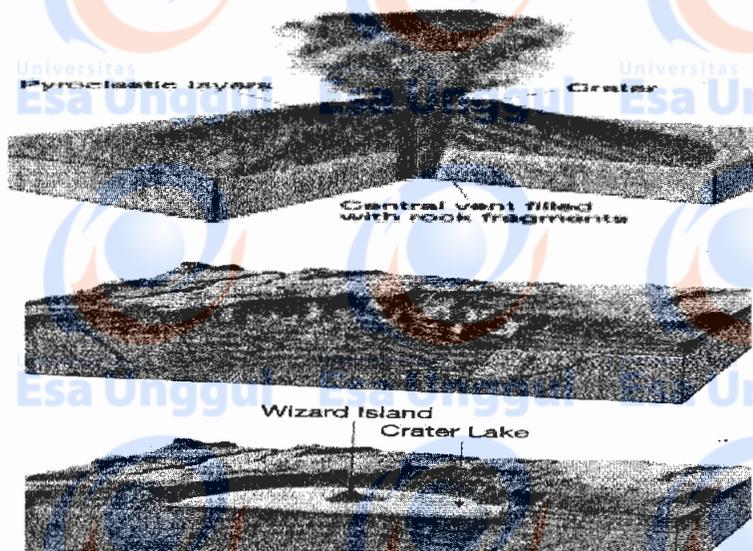


**Gambar 2.10** Bentuk bentang alam struktural /perlipatan (*sinklin, antiklin*) dan patahan (*block faulting*).



**Gambar 2.11** Bentuk bentang alam perlipatan (*atas*), lipatan dan patahan (*tengah*) dan patahan San Andreas (*bawah*).

2. Bentang alam gunung api (*Volcanic landforms*) adalah bentang alam yang kejadiannya akibat aktivitas gunung api.
  - a. **Kerucut Gunung api** (*volcanic cones*) adalah bentang alam yang berbentuk kerucut dan merupakan bagian dari badan gunung api.
  - b. **Kaki Gunung api** (*volcanic footslopes*) adalah bentang alam yang berbentuk landai dan merupakan bagian dari gunung api.
  - c. **Kaldera** (*calderas*) adalah bentang alam kawah yang sangat luas terbentuk karena proses erupsi berupa ledakan (*explosive*) dan merupakan bagian kepundan gunung api.
  - d. **Kawah** (*craters*) adalah bentang alam kepundan gunung api dan merupakan bagian gunung api.
  - e. **Jenang Gunung api** (*volcanic-necks*) adalah bentang alam yang berbentuk seperti tiang atau leher merupakan sisa hasil denudasi gunung api.
  - f. **Gunung api Parasit** (*parasitic Cones*) adalah bentang alam berbentuk kerucut yang keberadaannya menumpang pada badan gunung api.



Gambar 2.12 Beberapa bentuk bentang alam gunung api.

3. Bentang alam Intrusi (*Intrusive landforms*) adalah bentang alam yang proses pembentukannya dikontrol oleh aktivitas magma.
  - a. Bukit intrusi adalah bentang alam yang berbentuk bukit dengan material penyusunnya adalah intrusi batuan beku.
  - b. Plateau Basalt bentang alam yang berbentuk dataran dengan material penyusunnya adalah batuan beku basalt.

### 2.1.3 Proses-proses Eksogen

Proses eksogen adalah proses-proses yang bekerja di atas permukaan bumi. Adapun yang termasuk dalam proses exogen adalah pelapukan, erosi/mass wasting dan sedimentasi.

#### 1. Pelapukan

Pelapukan adalah proses desintegrasi atau dekomposisi dari material penyusun kulit bumi yang berupa batuan. Pelapukan sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim, temperatur dan komposisi kimia dari mineral-mineral penyusun batuan. Terdapat 3 (tiga) jenis pelapukan yang kita kenal, yaitu pelapukan mekanis, pelapukan kimiawi, dan pelapukan biologis.

Pelapukan mekanis adalah pelapukan yang bekerja secara mekanis sebagai akibat perubahan temperatur yang ekstrim pada batuan, seperti yang terjadi di daerah beriklim dingin dan apabila air yang berada diantara rekahan batuan membeku maka volumenya membesar yang mengakibatkan batuan secara mekanik terbelah (*desintegrasi*) menjadi ukuran yang lebih kecil dari ukuran asalnya. Selain itu perubahan beban pada batuan dapat mengakibatkan batuan mengalami desintegrasi.

Pelapukan kimiawi adalah pelapukan yang diakibatkan oleh reaksi kimia yang terjadi antara unsur-unsur kimia yang ada dalam batuan dengan unsur-unsur  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $OH$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  yang ada di udara dan permukaan bumi. Akibat dari proses ini maka batuan

dapat mengalami dekomposisi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil.

Pelapukan biologis adalah pelapukan yang diakibatkan oleh aktivitas biologis, seperti aktivitas binatang dan tumbuhan yang pada akhirnya batuan mengalami desintegrasi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Aktivitas manusia seperti penggalian tanah dan batuan untuk keperluan pembangunan jalan, pemukiman, jembatan, penggalian bahan tambang termasuk ke dalam pelapukan biologis.

## 2. Erosi dan Mass Wasting

Erosi dan mass wasting adalah proses pengikisan yang terjadi pada batuan maupun hasil pelapukan batuan (tanah) oleh media air, angin, maupun es/gletser. Berdasarkan bentuk dan ukurannya, erosi dapat dibagi menjadi 5 (lima) yaitu:

- 1) Erosi alur (*riil erosion*) adalah erosi yang berbentuk alur-alur dengan ukuran lebar lembahnya berkisar antara beberapa milimeter hingga beberapa sentimeter.
- 2) Erosi lembar (*sheet erosion*) adalah erosi yang berbentuk lembaran dengan ukuran sesuai dengan bidang yang dierosi.
- 3) Erosi drainase (*ravine erosion*) adalah erosi yang berbentuk saluran dengan ukuran lebar lembahnya berkisar antara beberapa sentimeter hingga satu meter.
- 4) Erosi saluran (*gully erosion*) adalah erosi yang berbentuk saluran dengan ukuran lebar lembahnya lebih besar satu meter hingga beberapa meter.
- 5) Erosi lembah (*valley erosion*) adalah erosi yang berbentuk lembah dengan ukuran lebar lembahnya di atas sepuluh meter.

## 3. Sedimentasi

Sedimentasi adalah suatu proses pengendapan material yang ditransport oleh media air, angin, es/gletser di suatu cekungan. Delta yang terdapat di mulut-mulut sungai adalah hasil dari proses pengendapan material-material yang diangkut oleh air sungai, sedangkan *Sand Dunes* yang terdapat di gurun-gurun dan di tepi

pantai adalah hasil dari pengendapan material-material yang diangkut oleh angin.

Bentang alam yang ada saat ini adalah hasil dari proses proses geologi yang terjadi di masa lampau. Pada saat ini proses proses geologi (*endogen* dan *exogen*) tetap berlangsung dan secara perlahan dan pasti akan merubah bentuk bentang alam yang ada saat ini. Proses-proses eksogen yang terjadi di permukaan bumi dapat dikelompokkan berdasarkan agen/media yang mempengaruhinya, yaitu air, angin, gletser dan iklim.

### 2.1.4 Bentang Alam Eksogen

Bentang alam eksogen adalah bentuk-bentuk bentang alam yang proses pembentukannya/genetiknya dikontrol oleh gaya eksogen. Bentang alam eksogen dikenal juga sebagai bentang alam destruksional (*destructional landforms*). Berikut ini adalah proses proses eksogen yang merubah bentuk bentang, yaitu:

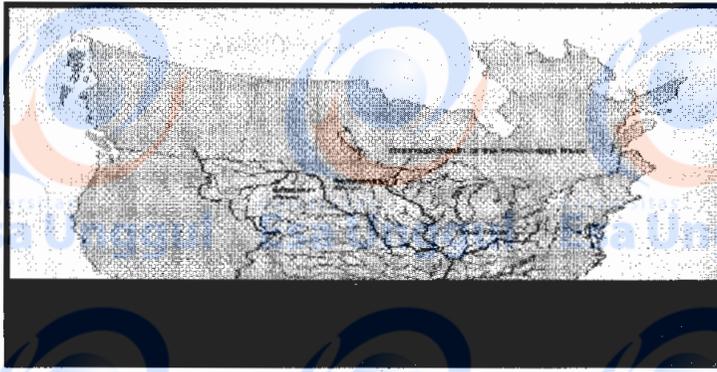
#### 1. Bentuk-bentuk Bentang Alam Fluvial (*Landforms of Fluvial Processes*)

Air secara mekanik dan kimiawi berperan dalam proses pelapukan, erosi dan sedimentasi dari material kulit bumi. Proses proses tersebut berjalan terus sepanjang masa dan akan menghasilkan perubahan bentuk bentang alam yang sebelumnya ada. Jumlah air yang jatuh ke permukaan bumi sebagai curah hujan/salju (*precipitasi*) setiap tahunnya di daratan adalah setara dengan 4 milyar ton atau rata rata sekitar 40 inch untuk setiap satuan luas. Walaupun penyebaran curah hujan tidak merata di setiap tempat di muka bumi, namun demikian air memiliki peran yang penting terhadap perubahan bentuk bentang alam. Hampir 25% dari curah hujan yang jatuh di atas daratan merupakan air permukaan (*surface runoff*) dan air ini mengalir ke laut melalui alur-alur sungai yang terdapat di daratan. Material-material hasil pelapukan dan erosi diangkut oleh air sungai dan diendapkan sebagai sedimen. Aktivitas sungai yang mengalir di daratan akan mengerosi dan merubah

bentuk bentuk bentang alam. Proses-proses erosi dan pembentukan alur-alur sungai merupakan agen di dalam perubahan bentuk bentang alam.

Sistem *Fluviatil* adalah sekumpulan alur-alur sungai yang membentuk jaringan yang kompleks dan luas dimana air yang berasal dari permukaan daratan mengalir. Batas geografis dimana seluruh air yang ada di suatu wilayah disebut sebagai *watershed* atau *drainage basin*. Dalam satu *watershed* terdapat beberapa alur sungai kecil-kecil yang disebut sebagai cabang-cabang sungai (*tributaries*) yang mengalirkan air ke alur sungai yang lebih besar (*principal stream*). Sistem pengaliran sungai dalam suatu *watershed* dapat dipisah-pisahkan berdasarkan ukuran alur sungainya dan dikenal sebagai *stream ordering*. Order pertama dari pengaliran sungai adalah alur sungai yang ukurannya paling kecil, sedangkan order kedua adalah alur sungai yang hanya memiliki cabang-cabang sungai dari order pertama sebagai cabang sungainya. Order ke tiga adalah alur sungai yang hanya memiliki cabang-cabang sungai dari alur sungai order pertama dan atau order kedua.

Secara umum, sungai yang mempunyai order yang lebih tinggi akan mempunyai *watershed* yang lebih luas dan sudah barang tentu akan membawa air permukaan yang lebih banyak. Topografi yang tinggi umumnya memiliki batas pemisah air (*watershed*) yang memisahkan arah aliran air *runoff* ke dalam cekungan (*basin*) yang berbeda didasarkan atas orientasi dari kemiringan lerengnya. Salah satu yang mengendalikan jumlah air yang berada dalam sungai di setiap lokasi adalah luas areal permukaan yang terdapat di dalam *drainage basin* tersebut dan hal ini merupakan fungsi dari batas pemisah pengaliran. Sebagai contoh adalah batas pemisah air untuk pulau Jawa adalah puncak-puncak gunung api yang membujur dari barat ke timur yang memisahkan aliran sungai-sungai yang mengalir ke utara (laut Jawa) dan ke selatan (samudra Hindia).



**Gambar 2.13** Batas daerah aliran sungai (DAS) Mississippi, Amerika Serikat.

Sistem *fluviatil* dapat menggambarkan perbedaan pola geometri dari jaringan pengaliran sungai. Jenis pola pengaliran sungai antara alur sungai utama dengan cabang-cabang sungainya dari satu wilayah dengan wilayah lainnya sangat bervariasi. Adanya variasi pola pengaliran sungai sangat dipengaruhi oleh variasi kemiringan topografi, struktur dan litologi batuan dasarnya. Pola pengaliran yang umum dikenal adalah sebagai berikut:

- **Pola Aliran *Dendritic***

Pola aliran *dendritik* adalah pola aliran yang cabang-cabang sungainya menyerupai struktur pohon. Pada umumnya pola aliran sungai dendritik dikontrol oleh litologi batuan yang homogen. Pola aliran dendritik dapat memiliki tekstur/kepadatan sungai yang dikontrol oleh jenis batumannya. Sebagai contoh sungai yang mengalir di atas batuan lempung akan mempunyai tekstur yang halus sedangkan pada batuan granit akan bertekstur kasar.

- **Pola Aliran *Rectangular***

Pola aliran *rectangular* adalah pola aliran sungai yang dikendalikan oleh struktur geologi, seperti struktur kekar (rekanan) dan sesar (patahan). Sungai *rectangular* dicirikan oleh saluran-saluran air yang mengikuti pola dari struktur kekar dan patahan.

No.	POLA PENGALIRAN	KARAKTERISTIK
1.	Dendritic	Pola pengaliran sungai yang menyerupai cabang-cabang pohon
2.	Rectangular	Pola pengaliran sungai yang dikontrol oleh struktur geologi berupa rekahan (kekar) dimana anak-anak sungainya mengalir sejajar dan tegak lurus satu dengan lainnya.
3.	Trellis	Pola pengaliran sungai yang dikontrol oleh struktur geologi lipatan, dimana anak-anak sungainya mengalir sejajar dan tegak lurus satu dengan lainnya.
4.	Radial	Pola pengaliran sungai yang menyebar yang dikontrol oleh struktur domes puncak intrusi atau puncak gunung api.
5.	Annular	Pola pengaliran sungai yang menyebar secara radial dari suatu ketinggian dan ke arah hilir menyatu kembali, umumnya dikontrol oleh bentuk struktur domes puncak intrusi atau puncak gunung api.
6.	Braided	Pola pengaliran sungai yang alur-alur sungainya saling berhubungan sebagai akibat dari jumlah material yang dibawa sungai melebihi kapasitas alur yang tersedia. Pola braided dicirikan dengan banyaknya gosong pasir (bar) pada alur-alur sungainya.

7.	Meandering	Pola pengaliran sungai dimana alur sungai berbentuk sinusoidal (meader) akibat dari erosi lateral lebih dominan dibandingkan dengan erosi vertikal. Umumnya berasosiasi dengan dataran banjir (floodplain)
----	------------	--

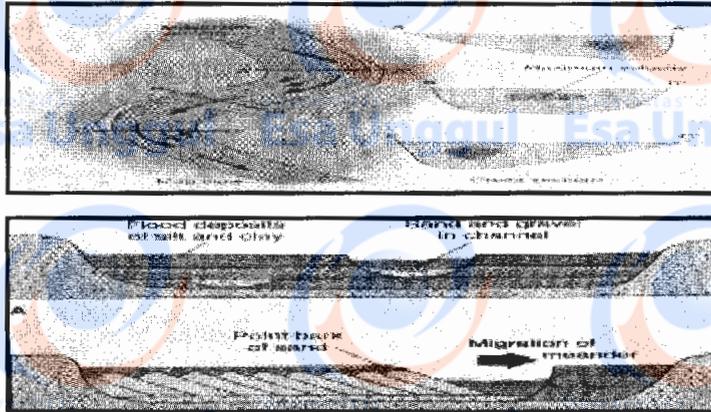
- Pola Aliran Trellis**  
Pola aliran *trellis* adalah pola aliran sungai yang berbentuk pagar (*trellis*) dan dikontrol oleh struktur geologi berupa pelipatan sinklin dan antilin. Sungai *trellis* dicirikan oleh saluran-saluran air yang berpola sejajar, mengalir searah kemiringan lereng dan tegak lurus dengan saluran utamanya. Saluran utama berarah se arah dengan sumbu lipatan.
- Pola Aliran Radial**  
Pola aliran *radial* adalah pola aliran sungai yang arah alirannya menyebar secara radial dari suatu titik ketinggian tertentu, seperti puncak gunung api atau bukir intrusi.
- Pola Aliran Annular**  
Pola aliran *annular* adalah pola aliran sungai yang arah alirannya menyebar secara radial dari suatu titik ketinggian tertentu dan ke arah downstream aliran kembali bersatu.
- Pola Aliran Braided**  
Pola aliran *braided* adalah pola aliran sungai yang memiliki beberapa saluran air sebagai akibat dari volume material sedimen yang diangkut lebih besar dibandingkan dengan ukuran saluran sungai, sehingga mengakibatkan saluran sungai berpindah-pindah tergantung pada volume sediment.
- Pola Aliran Meander**  
Pola aliran *meander* adalah pola aliran sungai yang saluran sungainya berbentuk sinusoidal/meander akibat dari erosi lateral lebih dominan dibandingkan erosi ke arah vertikal. Karakteristik dari sungai yang berpola meander adalah aktivitas aliran airnya sangat dinamis sehingga pola aliran sungai selalu

bergeser dan merubah bentuk saluran sungai ke arah lateral. Energi inersia dari aliran air yang bergerak pada saluran sungai cenderung mengikis bagian tepi luar dari saluran yang berbentuk sinusoidal / meander, sedangkan bagian tepi dalam cenderung terjadi pengendapan dari material yang diangkut oleh arus air dan bagian ini disebut sebagai daerah **Point bar** (gambar 2.14). Energi enersia yang mengikis dan mengerosi bagian tepi luar dari saluran sungai meander dapat menyebabkan saluran sungai terpotong. Bagian saluran yang terpotong dan berbentuk meander disebut sebagai **Oxbow lake** (gambar. 2.15)

Bentang alam sungai (*fluviatil*) adalah bentuk bentuk bentang alam yang terjadi sebagai akibat dari proses *fluviatil*. Morfologi kipas *aluvial* (*Alluvial fan*) adalah bentuk bentang alam yang terdiri dari endapan aluvial sungai yang menyerupai bentuk kipas dan umumnya terjadi dibagian muka lereng perbukitan dan daerah beriklim arid. Kipas alluvial terbentuk pada sungai yang mengalir dari suatu lembah berbukitan dengan gradien lereng yang curam ke arah lereng yang landai dari suatu dataran dan material material lepas yang diangkut oleh air sungai diendapkan. Endapan saluran (Gosong pasir) merupakan bentuk lain dari endapan fluvial. Pasir kasar dan kerikil terakumulasi disepanjang saluran sungai (Gosong pasir/*Thalweg*), yaitu disepanjang aliran air yang terdalam atau disepanjang aliran/ arus yang terkuat karena pada kecepatan arus yang tinggi butiran-butiran sedimen yang lebih halus akan terbawa arus. Ke arah bagian tepi saluran sungai, kecepatan arus melemah dan butiran-butiran material yang lebih halus terakumulasi dan terendapkan sebagai endapan **Point bar**. Selama banjir, dataran banjir akan digenangi air yang memungkinkan butiran-butiran sedimen yang lebih halus diendapkan dan semakin jauh dari alur sungai butiran sedimen yang diendapkan semakin halus lagi daerah dataran banjir dikenal sebagai bentang alam **Flood plain**. Kebanyakan dari daerah dataran banjir tersusun dari endapan pasir dan lumpur, sedangkan pasir yang kasar diendapkan ditepi saluran sungai utama dan dikenal sebagai **Levees**,

Universitas  
Esa UnggulUniversitas  
Esa Unggul

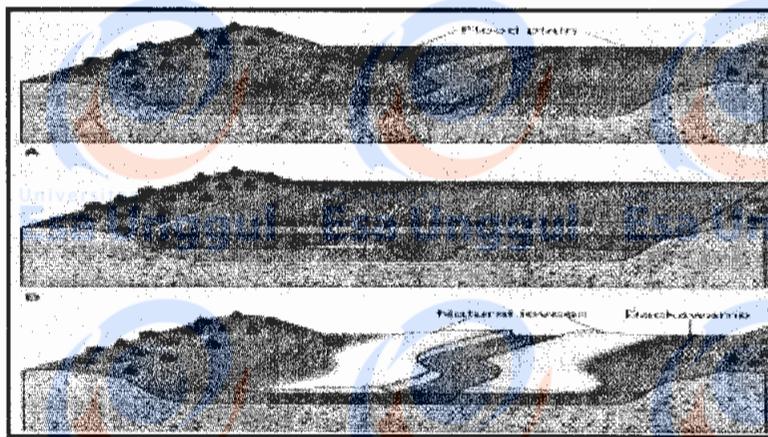
yaitu akumulasi endapan yang sejajar dengan arah saluran sungai (gambar 2.16).



**Gambar 2.14** Aktivitas arus sungai yang mengerosi saluran sungai dan mengendapkan material material yang diangkut oleh air sungai membentuk endapan banjir dan endapan point bar.



**Gambar 2.15** Proses perkembangan sungai oleh aktivitas gerusan arus sungai yang membentuk pola aliran meander dan oxbow lake.



Gambar 2.16 Proses pembentukan tanggul alam (levees) di sepanjang saluran sungai utama.

## 2. Bentuk-bentuk Bentang Alam Pantai (*Land-forms of Coastal Processes*)

Wilayah Pantai (*Coastal*) adalah suatu wilayah yang berada pada batas antara daratan dan lautan dan merupakan tempat pertemuan antara energi dinamis yang berasal dari daratan dan lautan. Wilayah pantai merupakan wilayah yang dipengaruhi oleh proses-proses erosi/abrasi, sedimentasi, penurunan (*submergence*), dan pengangkatan (*emergence*). Morfologi dan bentang alam pantai adalah bentuk-bentuk bentang alam yang terjadi sebagai akibat dari aktivitas air yang berada di wilayah pantai. Berbagai macam bentuk bentang alam dijumpai di wilayah pantai, kebanyakan bentuk bentang alam pantai sebagai hasil perubahan gelombang air laut. Singkapan-singkapan batuan yang berada disepanjang pantai dikenal sebagai muka daratan (*headlands*) tererosi, menghasilkan pasir yang kemudian diangkut di sepanjang garis pantai dan diendapkan di wilayah pantai membentuk bentuk-bentuk bentang alam tertentu.

**a. Delta**

Lingkungan delta, yaitu suatu lingkungan dimana konsep keseimbangan dikendalikan oleh gaya-gaya yang berada dalam suatu sistem yang kompleks. Delta berasal dari endapan sedimen sungai, tetapi ke arah bagian laut lebih banyak sediment yang di endapkan. Delta terbentuk ketika sungai mencapai ketinggian dasar air (*base level*), yaitu suatu ketinggian dimana air tidak lagi meng-erosi. Ketinggian dasar air menandai akhir dari suatu sistem sungai dan biasanya terletak di danau atau lautan.

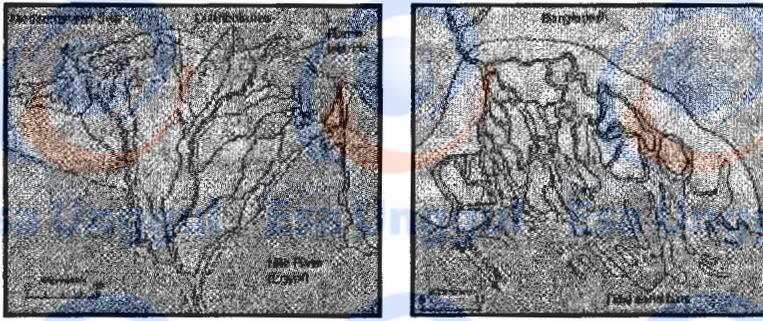
Sedimen yang diangkut dalam saluran sungai akan diendapkan di lokasi tersebut dan akhirnya membentuk suatu delta yang tersusun dari akumulasi lumpur dan pasir yang tebal. Bagian permukaan delta disebut sebagai dataran delta (*delta plain*) dengan bentuk morfologi dataran, terdiri dari rawa-rawa dan payau dengan drainase yang buruk dan di dalamnya sungai mengalir yang akhirnya mencapai lautan. Pada bagian delta plain, saluran-saluran sungai merupakan suatu sistem saluran air yang dikenal dengan *distributaries*, yaitu saluran-saluran kecil yang mengangkut sedimen dari saluran sungai yang besar dan didistribusikan melalui saluran-saluran yang berada di delta.

Berdasarkan bentuk dan morfologinya, delta dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) jenis yaitu delta yang terbentuk akibat pengaruh pasang surut, gelombang, dan sungai.

1. *A River-dominated delta* (Delta yang didominasi sungai), adalah delta yang terbentuk oleh pengaruh sungai. Aliran dari saluran sungai utama akan terpisah ke dalam saluran-saluran distributary yang kompleks dan mengisi secara langsung ke dalam laut (danau) material yang diangkutnya. Contoh delta yang sangat populer adalah delta Nile di Mesir delta Mahakam di Kalimantan (gambar 2.17).
2. *Tide-dominated deltas* (Delta yang didominasi air pasang surut), yaitu delta yang terbentuk sebagai akibat perubahan pasang surut yang ekstrim. Ketika surut teren-

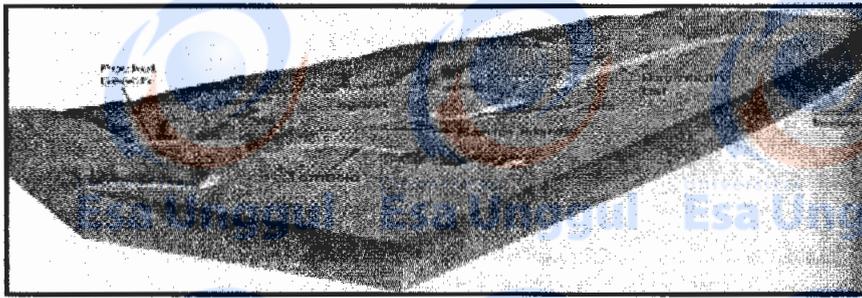
dah, sejumlah saluran pada delta mengalami insision dari gabungan antara arus pasang surut dan aliran sungai, sedangkan ketika pasang tertinggi, saluran-saluran terisi air laut, sedimen di pasok ke delta oleh sistem fluviatil yang berasal dari bagian hulu sungai, disini saluran pasang surut disebarkan oleh arus pasang surut bukan oleh aliran sungai. Pada saat pasang tertinggi, delta akan digenangi oleh air laut dan menjadi rangkaian pulau-pulau berbentuk lonjong yang dibatasi oleh saluran-saluran (gambar 2.17).

3. *Wave-dominated deltas* (Delta yang didominasi gelombang) dicirikan oleh bentuknya yang berukuran kecil. Tidak tergantung pada seberapa banyak sedimen dipasok oleh sungai, coastal delta didominasi sedikit banyak oleh gelombang karena gelombang sangat efektif mendistribusikan sedimen di sepanjang pantai. Delta menjadi tempat pengendapan sementara ketika gelombang bertiup dan berperan di dalam penyebaran pengendapan. Contoh delta Bangladesh
  - b. **Tanjung** adalah bentang alam yang daratannya menjorok ke arah laut sedangkan bagian kiri dan kanannya relatif sejajar dengan garis pantai.
  - c. **Teluk** adalah bentang alam yang daratannya menjorok ke arah daratan sedangkan bagian kiri dan kanan nya relatif sejajar dengan garis pantai.
  - d. **Stack dan Arches** adalah bentuk-bentuk bentang alam pantai yang berada di sekitar garis pantai merupakan sisa-sisa daratan akibat kikisan/abrasi gelombang air laut dan mengakibatkan garis pantai mundur ke arah daratan. Arches adalah sisa-sisa daratan akibat erosi (abrasi) dengan bentuk yang tidak teratur karena batuan nya resisten terhadap hantaman gelombang.



**Gambar 2.17** Delta Nile di Mesir merupakan delta yang terbentuk oleh dominasi sungai (kiri) dan Delta Bengal di Banglades sebagai delta yang terbentuk oleh pengaruh pasang surut air laut (kanan).

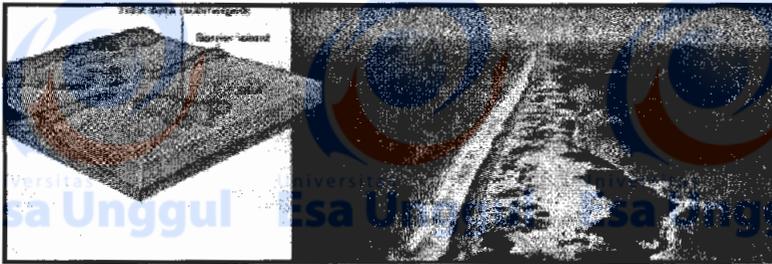
- e. **Wave-cut platform** adalah bentang alam pantai yang terbentuk sebagai hasil erosi gelombang air laut yang tersusun dari lapisan batuan horisontal serta terletak pada zona muka air laut, sedangkan garis pantai mundur ke arah darat sebagai akibat erosi gelombang dan *wave-cut platform* tertinggal di bagian depan garis pantai.
- f. **Barrier (Tanggul)** adalah bentang alam yang berbentuk memanjang sejajar dengan garis pantai dan terbentuk sebagai hasil pengendapan partikel-partikel pasir dibagian muka pantai oleh abrasi gelombang air laut. *Topografi barrier island* umumnya lebih rendah dibandingkan dengan topografi pantai.
- g. **Lagoon** adalah bentuk bentang alam yang terletak diantara barrier (tanggul) dan daratan, dengan kedalaman air yang dangkal dan dipengaruhi oleh air laut dan air tawar yang berasal dari darat.
- h. **Pantai submergent** adalah bentang alam yang terbentuk dari pengaruh gabungan antara naiknya muka air laut (*transgresi*) dan penurunan cekungan.
- i. **Pantai emergent** adalah bentang alam yang terbentuk sebagai akibat dari penurunan muka air laut (*regresi*) atau naiknya permukaan daratan. Umumnya bentuk pantai emergent ditandai oleh teras-teras pantai.



**Gambar 2.18** Beberapa bentuk Bentang alam pantai : tombolo, lagoon, barrier islands, dan Spits.



**Gambar 2.19** Perubahan bentang alam pantai yang diakibatkan oleh erosi gelombang dan abrasi pantai membentuk Cliff dan Arch.



Gambar 2.20 Bentuk bentang alam barrier island

### 3. Bentuk-bentuk Bentang Alam Eolian dan Bentang Alam Arid

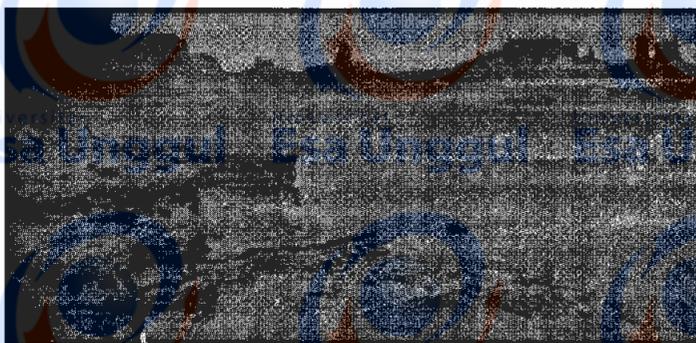
Wilayah-wilayah yang curah hujan (*presipitasi*) tahunannya kecil umumnya jarang tumbuh-tumbuhan sehingga tanah dan batuan yang terdapat di wilayah tersebut tersingkap dan hal ini menyebabkan tanah dan batuan yang ada dapat tererosi oleh angin dan terkena sinar matahari secara langsung. Angin sebagai agent akan mengerosi partikel-partikel yang berukuran lempung, lanau dan pasir pada batuan dan tanah membentuk bentang alam yang unik hasil pengendapan partikel-partikel tersebut. Setiap wilayah di bagian bumi memiliki sejarah iklim yang kompleks dan seringkali aktivitas fluvial dan kekeringan (*ariditas*) terjadi secara bersamaan. Konsekuensinya adalah bentang alam yang terbentuk oleh aktivitas angin dapat menutupi bentang alam yang dibentuk oleh aktivitas fluvial. Banyak bentang alam gurun masih dikontrol oleh banjir bandang yang terjadi secara sporadis oleh hujan di daerah sekitar wilayah perbukitan.

Eolian processes adalah proses dimana partikel-partikel lepas yang berukuran lempung, lanau dan pasir mudah sekali berpindah oleh tiupan angin, sehingga daerah-daerah yang tidak bervegetasi, arid (kering) dan kaya sedimen akan dipengaruhi oleh aktivitas angin dan angin akan menjadi faktor yang sangat penting sebagai media/agent pada proses erosi dan sedimentasi. Angin yang sangat kuat dapat meng-erosi dan mengangkut sedimen lebih banyak, partikel pasir halus dapat berpindah hingga ratusan kilometer

sedangkan partikel lempung dan lanau dapat dibawa hingga ribuan kilometer.

Bentuk-bentuk bentang alam yang dikontrol oleh aktivitas angin adalah: **Sand Dunes, Arroyos, Pediment, Inselbergs, Plateau, Mesa, Butte**.

- a) **Sand dunes** adalah bentang alam yang berbentuk bukit bukit pasir berpola *parabolic* atau *ellipsoid* dan merupakan hasil pengendapan partikel-partikel pasir yang diangkut oleh angin.
- b) **Arroyos** adalah bentang alam yang terbentuk sebagai akibat dari aliran air hujan yang membawa partikel-pasir yang mengisi bagian *gullies* dan *valley* dan umumnya terdapat di daerah yang beriklim arid.
- c) **Pediment** adalah bentang alam berbentuk dataran landai merupakan endapan yang terletak di kaki-kaki bukit merupakan hasil erosi perbukitan disekitarnya.
- d. **Inselberg** adalah bentang alam berbentuk perbukitan memanjang dan merupakan sisa hasil erosi angin.



**Gambar 2.21** Bentuk bentang alam Plateau, Mesa dan Butte di daerah beriklim kering.

- c) **Plateau** adalah bentang alam yang berbentuk bukit dengan permukaan yang relatif datar serta memiliki kemiringan lereng yang kecil. Bentang alam plateau umumnya berada di daerah beriklim arid yang didominasi oleh iklim kering dan proses *fluviatil*.

- d) **Mesa** adalah bentang alam berupa bukit terisolir berbentuk meja, merupakan sisa denudasi dengan lapisan batuan datar yang keras sebagai penutupnya. Butte adalah bentuk bentang alam sisa hasil erosi morfologi Mesa.

## 2.2 Geomorfologi

**Geomorfologi** didefinisikan sebagai ilmu tentang rupa muka bumi beserta aspek-aspek yang mempengaruhinya. Adapun definisi dari *Bentang alam (landscape)* adalah panorama alam yang disusun oleh elemen-elemen geomorfologi dalam dimensi yang lebih luas dari terrain, sedangkan *Bentuk lahan (landforms)* adalah kompleks fisik permukaan ataupun dekat permukaan suatu daratan yang dipengaruhi oleh kegiatan manusia.

Pada dasarnya geomorfologi mempelajari bentuk-bentuk bentang alam; bagaimana bentang alam itu terbentuk secara kontruksional (yang diakibatkan oleh gaya endogen: aktivitas tektonik/struktur geologi), dan bagaimana bentang alam tersebut dipengaruhi oleh pengaruh luar berupa gaya eksogen seperti pelapukan, erosi, sedimentasi, dan air, angin, es, sebagai agent yang merubah batuan atau tanah membentuk bentang alam yang bersifat destruksional, dan menghasilkan bentuk-bentuk alam darat tertentu (*landform*). Pengaruh struktur (perlipatan, pensesaran, pengangkatan, intrusi, ketidakselarasan, termasuk didalamnya jenis-jenis batuan) yang bersifat kontruksional, dan proses yang bersifat destruksional (pelapukan, longsoran kerja air, angin, gelombang, pelarutan, dan lainnya), sudah diakui oleh para ahli geologi dan geomorfologi sebagai dua buah parameter sangat penting dalam pembentukan rupa bumi. Selain itu batuan sebagai bagian dari struktur dan tahapan proses geologi merupakan faktor cukup penting.

Selama pertengahan awal abad ini, hampir semua kegiatan riset geomorfologi terutama ditujukan sebagai alat interpretasi geologi saja, dengan menganalisa bentang alam dan bentuk-bentuk alam yang mengarah pada kecurigaan pada unsur-unsur struktur geologi tertentu atau jenis-jenis batuan, seperti pembelokan atau

kelurusan sungai, bukit-bukit, dan bentuk-bentuk alam lainnya. Tetapi dalam empat dekade terakhir, riset geomorfologi sudah mulai diarahkan pada studi tentang proses-proses geomorfologi, walaupun kegiatan interpretasi masih tetap tidak ditinggalkan dan tetap diperlukan. Selain itu pembangunan fisik memerlukan informasi mengenai geomorfologi yang menyangkut antara lain:

- Geometri bentuk muka bumi
- Proses-proses geomorfologi yang sedang berjalan beserta besaran-besarnya, dan antisipasi terhadap perubahan bentuk muka bumi dalam skala detail dapat mempengaruhi pembangunan.

Dengan berkembang pesatnya teknologi penginderaan jauh, seperti foto udara, citra landsat, SPOT, radar, Ikonos, Quickbirds dan lainnya, maka geomorfologi semakin menarik untuk diteliti, baik karena lebih mudahnya interpretasi geologi maupun lebih jelas dan aktualnya data mengenai proses-proses yang sedang terjadi di permukaan bumi yang diamati. Dengan demikian, pengamatan terhadap gejala struktur (dan batuan) serta proses, adalah sangat penting dalam menganalisa bentang alam, baik dengan cara menganalisa peta topografi, foto udara dan citra, maupun di lapangan. Pengamatan yang baik di lapangan maupun dilaboratorium terhadap alat bantu yang berupa peta topografi, foto udara, citra satelit, citra radar akan membuat pembuatan peta geomorfologi menjadi cepat dan menarik. Pembuatan peta geomorfologi tidak dapat lepas dari skala peta yang digunakan. Pembuatan satuan geomorfologi selain berdasar bentuk, proses maupun tahapan sangat tergantung pada skala peta yang digunakan. Makin besar skala peta, makin banyak satuan yang dapat dibuat.

## 2.3 Peta Geomorfologi

### 2.3.1 Definisi dan Pengertian

#### Definisi:

Peta geomorfologi pada hakekatnya adalah peta yang menggambarkan bentuk lahan, genesa beserta proses yang mempengaruhinya dalam berbagai skala.

#### Pengertian:

- a. Peta geomorfologi menggambarkan aspek-aspek utama lahan atau terrain disajikan dalam bentuk simbol huruf dan angka, warna, pola garis dan hal itu tergantung pada tingkat kepentingan masing-masing aspek.
- b. Peta geomorfologi memuat aspek-aspek yang dihasilkan dari sistem survei analitik (diantaranya morfologi dan morfogenesis) dan sintetik (diantaranya proses geomorfologi, tanah/soil, tutupan lahan).
- c. Unit utama geomorfologi adalah kelompok bentuk lahan didasarkan atas bentuk asalnya (struktur, denudasi, fluvial, marin, karts, angin dan es).
- d. Skala peta merupakan perbandingan jarak peta dengan jarak sebenarnya yang dinyatakan dalam angka, garis atau keduanya.

Adapun informasi yang terdapat dalam peta geomorfologi berupa bentuk, geometri, serta proses-proses yang telah maupun sedang terjadi, baik proses endogenik maupun eksogenik. Ada sedikit perbedaan penekanan antara informasi geomorfologi untuk sains dan informasi geomorfologi untuk terapan.

1. Untuk tujuan sains maka peta geomorfologi diharap mampu memberi informasi mengenai hal-hal berikut:
  - a. Faktor-faktor geologi apa yang telah berpengaruh kepada pembentukan bentang alam disuatu tempat
  - b. Bentuk-bentuk bentang alam apa yang telah terbentuk karenanya. Pada umumnya hal-hal tersebut diuraikan

secara deskriptif. Peta geomorfologi yang disajikan harus dapat menunjang hal-hal tersebut diatas, demikian pula klasifikasi yang digunakan. Gambaran peta yang menunjang ganesa dan bentuk diutamakan.

2. Sedangkan untuk tujuan terapan peta geomorfologi akan lebih banyak memberi informasi mengenai:
  - a. Geometri dan bentuk permukaan bumi seperti tinggi, luas, kemiringan lereng, kerapatan sungai, dan sebagainya.
  - b. Proses geomorfologi yang sedang berjalan dan besaran dari proses seperti:
    - Jenis proses (pelapukan, erosi, sedimentasi, longsor-an, pelarutan, dan sebagainya)
    - Besaran dan proses tersebut (berapa luas, berapa dalam, berapa intensitasnya, dan sebagainya)

Pada umumnya hal-hal tersebut dinyatakan secara terukur. Peta geomorfologi yang disajikan harus menunjang hal-hal tersebut diatas, demikian pula klasifikasi yang digunakan. Gambaran peta diutamakan yang menunjang kondisi parametris (yang dapat diukur) serta proses-proses *exsogen* yang berjalan pada masa kini dan yang akan datang.

### 2.3.2 Skala Peta dan Peta Geomorfologi

Skala peta merupakan rujukan utama untuk pembuatan peta geomorfologi. Pembuatan satuan peta secara deskriptif ataupun klasifikasi yang dibuat berdasarkan pengukuran ketelitiannya sangat tergantung pada skala peta yang digunakan. Di Indonesia peta topografi yang umum tersedia dengan skala 1: 20.000, 1: 1.000.000, 1: 500.000, 1: 250.000, 1: 100.000, 1: 50.000 dan beberapa daerah (terutama di Jawa) telah terpetakan dengan skala 1: 25.000 untuk kepentingan-kepentingan khusus sering dibuat peta berskala besar dengan pembesaran dari peta yang ada, atau dibuat sendiri untuk keperluan teknis, antara lain peta 1: 10.000, 1: 5.000, dan skala-skala yang lebih besar lagi. Untuk penelitian, sesuai dengan RUTR, dianjurkan menggunakan peta 1:250.000, 1:100.000 untuk

regional upraisal, 1: 50.000 - 1: 25.000 untuk survey dan 1: 10.000 dan yang lebih besar untuk investigasi. Untuk mudahnya penggunaan peta-peta tersebut dapat dilihat pada table 2.1. Dari skala peta yang digunakan akhirnya dapat kita buat satuan peta geomorfologi, sebagai contoh pada table 2.2.

**Tabel 2.1** Skala peta, sifat dan tahap pemetaan, serta proses dan unsur dominan.

Skala	Sifat Pemetaan	Tahap Pemetaan	Proses dan unsur geologi yang dominan
< 1 : 250.000			Geoteknik, Geofisik
< 1 : 250.000	Global	Regional	
1 : 100.000	Regional		Tektonik, Formasi (batuan utama)
1 : 50.000	Lokal	Survey	Struktur jenis batuan/satuan batuan
1 : 25.000	Lokal		Batuan, struktur, pengulangan dan bentuk/relief, proses eksogen
1 : 10.000	Detail	Investigasi	Batuan, proses eksogen, sebagai unsur utama, bentuk akibat proses
< 1 : 10.000	Sangat Kecil		Proses eksogen, dan hasil proses

Tabel 2.2 Contoh skala peta dan satuan geomorfologi

Skala	Contoh satuan geomorfologi
1 : 250.000	Zona fisiografi: geoantiklin Jawa, pegunungan Rocky, Zona patahan Semangko
1 : 100.000	Sub fisiografi: Komplek dieng, Perbukitan kapur selatan, dan lainnya, Plateau Rongga
1 : 50.000	Perbukitan Karst Gn. Sewu, Perbukitan Lipatan Karangsembung, Delta Citarum, Dataran Tinggi Bandung, dan lainnya
1 : 25.000	Lembah Antiklin Welaran, Hogback Brujul - Waturondo, Bukit Sinklin Paras, Kawah Upas, dan lainnya
1 : 10.000	Lensa gamping Jatibungkus, Sumbat Lava Gn. Merapi, Longsoran Cikorea
1 : 10.000 <	Aliran Lumpur di ....., rayapan di km....., Erosi alur di....., dsb

### 2.3.3 Interpretasi untuk Geomorfologi

Pembuatan peta geomorfologi akan dipermudah dengan adanya data sekunder berupa peta topografi, peta geologi, foto udara, citra satelit, citra radar, serta pengamatan langsung dilapangan. Interpretasi terhadap data sekunder akan membantu kita untuk menetapkan satuan dan batas satuan geomorfologinya. Beberapa jenis interpretasi akan diuraikan seperti berikut:

#### 1. Interpretasi Peta Topografi

Dalam interpretasi geologi dari peta topografi, maka penggunaan skala yang digunakan akan sangat membantu. Di Indonesia, peta topografi yang tersedia umumnya mempunyai skala 1 : 25.000 atau 1 : 50.000 (atau lebih kecil). Acapkali skala yang lebih besar, seperti skala 1 : 25.000 atau 1 : 12.500 umumnya merupakan pembesaran dari skala 1 : 50.000. dengan demikian, relief bumi yang seharusnya muncul pada skala 1 : 25.000 atau lebih

besar, akan tidak muncul, dan sama saja dengan peta skala 1 : 50.000. Dengan demikian, sasaran/objek interpretasi akan berlainan dari setiap skala peta yang digunakan. Perhatikan Tabel 2-3 di bawah.

Walaupun demikian, interpretasi pada peta topografi tetap ditujukan untuk menginterpretasikan batuan, struktur dan proses yang mungkin terjadi pada daerah di peta tersebut, baik analisa secara kualitatif, maupun secara kuantitatif.

Tabel 2.3 Hubungan antara skala peta dan pengenalan terhadap objek geomorfologi.

Objek Geomorfologi	1:2.500 s/d 1:10.000	1:10.000 s/d 1:30.000	Lebih Kecil dari 1:30.000
Regional / bentang alam (Contoh: jajaran Pegunungan, perbukitan lipatan dan lainnya)	Buruk	Baik	Baik – Sangat baik
Lokal/bentuk alam darat (Contoh: korok, gosong pasir, quasta, dan lainnya)	Baik – Sangat Baik	Baik – Sedang	Sedang – Buruk
Detail/proses geomorfik (contoh: longsoran kecil, erosi parit, dan lainnya)	Sangat Baik	Buruk	Sangat Buruk

Dalam interpretasi peta topografi, prosedur umum yang biasa dilakukan dan cukup efektif adalah:

1. Menarik semua kontur yang menunjukkan adanya lineament/ kelurusan.

2. Mempertegas (biasanya dengan cara mewarnai) sungai-sungai yang mengalir pada peta.
3. Mengelompokkan pola kerapatan kontur yang sejenis.

Pada butir 1, penarikan lineament bias dengan garis panjang, tetapi dapat juga berpatah-patah dengan bentuk garis-garis lurus pendek. Kadangkala, setelah pengerjaan penarikan garis-garis garis-garis pendek ini selesai, dalam peta akan terlihat adanya zona atau trend atau arah yang hampir sama dengan garis-garis pendek ini.

Pada butir 2, akan sangat penting untuk melihat pola aliran sungai (dalam satu peta mungkin terdapat lebih dari satu pola aliran sungai). Pola aliran sungai merupakan pencerminan keadaan struktur yang mempengaruhi daerah tersebut.

Pada butir 3, pengelompokan kerapatan kontur dapat dilakukan secara kualitatif yaitu dengan melihat secara visual terhadap kerapatan yang ada, atau secara kuantitatif dengan menghitung persen lereng dari seluruh peta. Persen lereng adalah persentase perbandingan antara beda tinggi suatu lereng terhadap panjang lerengnya itu sendiri. Banyak pengelompokan kelas lereng yang telah dilakukan, misalnya oleh Mabberly (1972) untuk keperluan lingkungan binaan, Desautettes (1977) untuk pengembangan pertanian, ITC (1985) yang bersifat lebih kearah umum dan melihat proses-proses yang biasa terjadi pada kelas lereng tertentu (lihat tabel 2.4).

Dalam interpretasi batuan dari peta topografi, hal terpenting yang perlu diamati adalah pola kontur, dan aliran sungai.

- a. Pola kontur rapat menunjukkan batuan keras, dan pola kontur jarang menunjukkan batuan lunak atau lepas.
- b. Pola kontur yang menutup (melingkar) diantara pola kontur lainnya, menunjukkan lebih keras dari batuan sekitarnya.
- c. Aliran sungai yang membelok tiba-tiba dapat diakibatkan oleh adanya batuan keras.
- d. Kerapatan sungai yang besar, menunjukkan bahwa sungai-sungai itu berada pada batuan yang lebih mudah tererosi

(lunak). (kerapatan sungai adalah perbandingan antara total panjang sungai-sungai yang berada pada cekungan pengaliran terhadap luas cekungan pengaliran sungai-sungai itu sendiri).

Tabel 2-4 Kelas lereng, dengan sifat-sifat proses dan kondisi alamiah yang kemungkinan terjadi dan usulan warna untuk peta relief secara umum (disadur dan disederhanakan dari Van Zuidam, 1985).

Kelas Lereng	Sifat-sifat proses dan kondisi alamiah	Warna
0 – 2° (0-2 %)	Datar hingga hampir datar; Tidak ada proses denudasi yang berarti	Hijau
2 – 4° (2-7 %)	Agak miring; Gerakan tanah kecepatan rendah, erosi lembar dan erosi alur ( <i>sheet and rill erosion</i> ). rawan erosi	Hijau Muda
4 – 8° (7 – 15 %)	Miring; sama dengan di atas, tetapi dengan besaran yang lebih tinggi. Sangat rawan erosi tanah.	Kuning
8 – 16° (15 -30 %)	Agak curam; Banyak terjadi gerakan tanah, dan erosi, terutama longsor yang bersifat nendatan.	Jingga
16 – 35° (30 – 70 %)	Curam; Proses denudasional intensif, erosi dan gerakan tanah sering terjadi.	Merah Muda
35 – 55° (70 – 140 %)	Sangat curam; Batuan umumnya mulai tersingkap, proses denudasional sangat intensif, sudah mulai menghasilkan endapan rombakan ( <i>koluvial</i> )	Merah
>55° (>140 %)	Curam sekali Batuan tersingkap; proses denudasional sangat kuat, rawan jatuhnya batu, tanaman jarang tumbuh (terbatas).	Ungu
>55° (>140 %)	Curam sekali Batuan tersingkap; proses denudasional sangat kuat, rawan jatuhnya batu, tanaman jarang tumbuh (terbatas).	Ungu

Dalam interpretasi struktur geologi dari peta topografi, hal terpenting adalah pengamatan terhadap pola kontur yang menunjukkan adanya kelurusan atau pembelokan secara tiba-tiba, baik pada pola bukit maupun arah aliran sungai, bentuk-bentuk topografi yang khas, serta pola aliran sungai.

- a. **Sesar**, umumnya ditunjukkan oleh adanya pola kontur rapat yang mengerus lurus, kelurusan sungai dan perbukitan, ataupun pergeseran, dan pembelokan perbukitan atau sungai, dan pola aliran sungai parallel dan rectangular.
- b. **Perlipatan**, umumnya ditunjukkan oleh pola aliran sungai trellis atau parallel, dan adanya bentuk-bentuk *dip-slope* yaitu suatu kontur yang rapat dibagian depan yang merenggang makin kearah belakang. Jika setiap bentuk *dip-slope* ini diinterpretasikan untuk seluruh peta, muka sumbu-sumbu lipatan akan dapat diinterpretasikan kemudian. Pola *dip-slope* seperti ini mempunyai beberapa istilah yang mengacu pada kemiringan perlapisannya.
- c. **Kekar**, umumnya dicirikan oleh pola aliran sungai rectangular, dan kelurusan-kelurusan sungai dan bukit.
- d. **Intrusi**, umumnya dicirikan oleh pola kontur yang melingkar dan rapat, sungai-sungai mengalir dari arah puncak dalam pola radial atau anular.
- e. **Lapisan mendatar**, dicirikan oleh adanya areal dengan pola kontur yang jarang dan dibatasi oleh pola kontur yang rapat.
- f. **Ketidakselarasan bersudut**, dicirikan oleh pola kontur rapat dan mempunyai kelurusan-kelurusan seperti pada pola perlipatan yang dibatasi secara tiba-tiba oleh pola kontur jarang yang mempunyai elevasi sama atau lebih tinggi.
- g. **Daerah *mélange***, umumnya dicirikan oleh pola-pola kontur melingkar berupa bukit-bukit dalam penyebaran yang relative luas, terdapat beberapa pergeseran bentuk-bentuk topografi, kemungkinan juga terdapat beberapa kelurusan, dengan pola aliran sungai rectangular atau *contorted*.
- h. **Daerah Slump**, umumnya dicirikan oleh banyaknya pola *dip-slope* dengan penyebarannya yang tidak menunjukkan pola

pelurusan, tetapi lebih berkesan “acak-acakan”. Pola kontur rapat juga tidak menunjukkan kelurusan yang menerus, tetapi berkesan terpatah-patah.

- i. **Gunung api**, dicirikan umumnya oleh bentuk kerucut dan pola aliran radial, serta kawah pada puncaknya untuk gunung api muda, sementara untuk gunung api tua dan sudah tidak aktif, dicirikan oleh pola aliran anular serta pola kontur melingkar rapat atau memanjang yang menunjukkan adanya jenjang vulkanik atau korok-korok.
- j. **Karst**, dicirikan oleh pola kontur melingkar yang khas dalam penyebaran yang luas, beberapa aliran sungai seakan-akan terputus, terdapat pola-pola kontur yang menyerupai bintang segi banyak, serta pola aliran sungai multibasinal.
- k. Pola **karst** ini agak mirip dengan pola *perbukitan seribu* yang biasanya terjadi pada kaki gunung api. Walaupun dengan pola kontur yang melingkar dengan penyebaran cukup luas, tetapi umumnya letaknya berjauhan antara satu pola melingkar dengan lainnya, dan tidak didapat pola kontur seperti bintang segi banyak.

## 2. Interpretasi Foto Udara

Pada prinsipnya, interpretasi foto udara atau citra, mempunyai prosedur yang sama dengan yang dilakukan pada peta topografi, yaitu menarik setiap lineament yang ada, identifikasi sungai-sungai, dan mengelompokan suatu daerah yang mempunyai karakter foto/ citra yang sama. Stone sebagai orang pertama yang mempelajari interpretasi foto secara sistematis dan metodologis. Stone memperkenalkan 4 aturan prosedur umum interpretasi foto, yaitu:

1. Harus bertahap.
2. Harus mulai dari umum, kemudian baru kepada yang bersifat khusus.
3. Harus mulai dari hal-hal yang mudah diketahui, baru pada hal-hal yang tidak diketahui atau sulit untuk diinterpretasikan.
4. Foto harus dianalisa berdasarkan kualitas foto itu sendiri.

Stone pada aturan 1 memperkenalkan 8 tahap interpretasi foto secara umum, tetapi ITC memperkenalkan 5 tahap interpretasi geomorfologi, yaitu:

1. Identifikasi aliran-aliran sungai, termasuk di dalamnya pola aliran sungai, arah aliran, aliran sungai, danau, dan lainnya. Pola aliran sungai merupakan dasar bagi orientasi umum dan studi lebih detail terhadap litologi, struktur geologi, bentuk alam darat, jenis tanah, jenis vegetasi, dan situasi hidrologi
2. Identifikasi relief dan morfologinya, termasuk di dalamnya ketinggian, garis pemisah air, kecuraman, panjang lereng, tekuk lereng, bentuk lereng, dan lainnya.
3. Analisa vegetasi dan tataguna lahan, yang secara tidak langsung berguna untuk mengklasifikasikan terrain dan litologi, dengan melihat jenis vegetasi, ada atau tidak adanya tumbuhan, kerapatan tumbuhan, komposisi, pola, dan lainnya.
4. Analisa litologi dan struktur geologi, yaitu dengan memanfaatkan informasi yang telah didapat pada tahap 1,2 dan 3, serta interpretasi dip-slopes, kelurusan, intrusi, prosesvolkanik, dan lainnya.
5. Analisa dan identifikasi detail dan satuan pemetaan geomorfologi, berdasarkan pada bentuk alam darat, litologi, struktur dan proses.

Perbedaan foto-udara/citra dari peta topografi tentu terletak pada kualitas dan kejelasan "feature" alam yang diamati. Kelurusan akan tampak lebih jelas dan lebih detail bahkan pada daerah yang kelihatan mulus pada peta topografi. Begitu pula sungai-sungai lebih tampak jelas, mana yang berair mana yang berupa lembah kering. Selain itu pola kontur pada peta topografi akan tampak lebih bervariasi dan lebih detail pada foto udara atau citra, yang selain akan berupa variasi litologi juga berupa tutupan vegetasi, lingkungan binaan manusia, dan lainnya.

Dalam interpretasi foto udara atau citra (dalam bentuk cetakan/paper print), hal yang paling penting adalah mengamati karakter ter-karakter fotografi yang muncul pada hasil cetakan, yaitu

warna (pada citra warna), rona/tone (pada citra pankromatik), pola, tekstur, bentuk, ukuran, bayangan, dan situasi geografi.

- a. Warna adalah warna yang tercetak pada citra, yang umumnya berupa warna palsu (*false color composite*); misalnya daerah hutan yang seharusnya berwarna hijau, pada citra warna akan tampak berwarna merah atau lainnya (tergantung pada band gelombang yang dipilih).
- b. Rona adalah nuansa hitam-ke-putih pada foto atau citra pankromatik/hitam-putih. Cetakan foto/citra yang berbeda kemungkinan dapat juga memberikan warna atau rona yang berbeda walau pada objek yang sama. Tetapi umumnya, beberapa fenomena akan ditunjukkan oleh warna atau rona yang berbeda, misalnya hutan berona abu-abu gelap, air berona hitam, alang-alang berona abu-abu, endapan pasir lepas tanpa vegetasi berona putih, batu lempung berona abu-abu gelap, batu gamping berona putih sampai abu-abu terang.
- c. Pola adalah susunan ruang beberapa objek alam dalam urutan dan susunan tertentu, misalnya pola belang-belang selang-seling antara punggungan pasir di pantai dengan rawa belakang, pola perkebunan karet yang lurus dan teratur, pola aliran sungai, pola lingkungan binaan manusia, dan sebagainya.
- d. Tekstur adalah kekasaran suatu objek pada hasil cetakan. Misalnya daerah padang rumput akan tampak halus dibandingkan dengan hutan heterogen, atau daerah batu lempung akan tampak lebih halus dibandingkan dengan daerah endapan vulkanik, walaupun mungkin mempunyai rona yang sama.
- e. Bentuk adalah ekspresi topografi yang teramat dalam bentuk dua dimensi; misalnya kerucut gunung api, kubah, punggungan, meander, dan sebagainya.
- f. Ukuran adalah dimensi volume objek yang diamati dalam tiga dimensional. Secara praktis dapat diperkirakan dengan membandingkan terhadap objek yang telah dikenal; atau dengan membandingkan terhadap peta topografi daerah yang sama (jika tersedia).



- g. *Bayangan* adalah bagian yang gelap dari objek karena arah datang sinar terhalangi oleh objek lain. Bayangan kadangkala menjadi faktor yang membuat sulit interpretasi (misalnya tertutup bayangan awan), tetapi bayangan, terutama bayangan objek itu sendiri, justru sangat berguna untuk menolong kita mendapatkan gambaran tiga dimensional, walaupun tanpa stereoskop. Dalam Geologi, bayangan ini cukup penting, terutama pada saat kita bekerja di daerah perlipatan yang memerlukan kesan perlipatan melalui interpretasi "*dip-slope*". Dengan adanya bayangan, kesan perlipatan akan tampak menonjol.
- h. *Situasi Geografi* adalah tempat dan posisi daerah pada peta yang berguna untuk mengetahui orientasi mata angin.

Untuk mempermudah pembuatan peta Geomorfologi, disertakan simbol-simbol yang umum dipakai dalam pembuatan peta tersebut.

### 3. Interpretasi Citra Inderaja

Interpretasi citra inderaja terbukti dapat memberikan kontribusi yang signifikan yang perlu dipertimbangkan penggunaannya dan disosialisasikan secara luas. Uraian di bawah ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran bagaimana data inderaja bermanfaat dalam memberikan informasi dalam bidang kebumihan secara cepat, tepat dan efisien.

Penggunaan dalam bidang kebumihan pada dasarnya adalah mengenal dan memetakan obyek dan parameter kebumihan yang spesifik, menafsirkan proses pembentukannya dan menafsirkan kaitannya dengan aspek lain. Untuk melakukan hal di atas dua metoda yang umum dilakukan melalui metoda visual/manual yaitu mengenal obyek dan gejala geologi spesifik yang dapat dilihat pada citra seperti perbedaan jenis batuan, bidang perlipatan, struktur sesar. Cara kedua dilakukan melalui ekstraksi otomatis dari obyek dengan memakai cara dan formula tertentu dengan menggunakan software yang ada (*digital image processing*).

Kedua cara di atas mempunyai kelebihan dan kekurangan sehingga pemilihan penggunaan kedua metoda tersebut perlu dipertimbangkan secara seksama sesuai dengan keperluannya. Dalam bidang kebumih, geologi pada khususnya, interpretasi dan analisis secara visual menempati bagian paling utama dalam mendapatkan informasi geologi dibandingkan metoda pemrosesan digital misalnya *automatic extraction*. Meskipun demikian penerapan pemrosesan digital, dalam batas tertentu, sangat membantu kelancaran analisis visual.

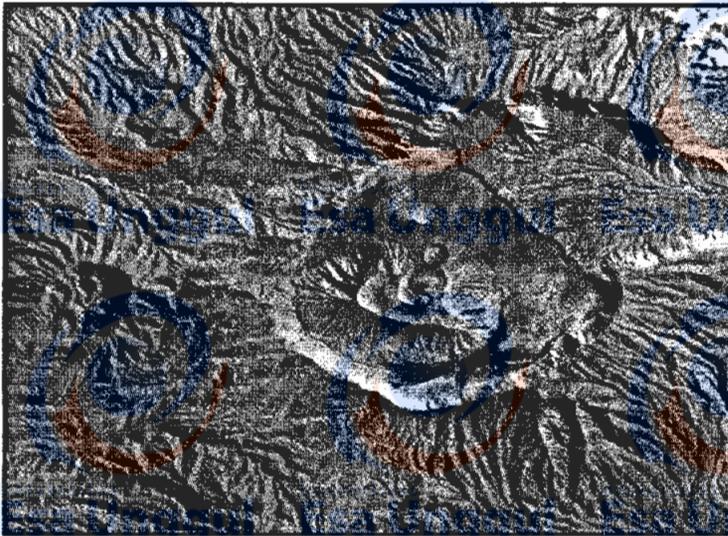
Data geologi yang diberikan citra indera dapat bersifat tidak jelas, dapat pula berupa data baru yang tidak dapat diperoleh dari survei konvensional. Oleh sebab itu penggunaan data indera seyogyanya dipakai sebagai pelengkap, penunjang bentuk survei yang lazim dipakai. Seyogyanya data indera sebagai data sementara (*tentatif*) yang perlu divalidasi dan dikonfirmasi lebih lanjut di lapangan. Berikut akan dibahas bagaimana data dan informasi geologi dapat diperoleh dari citra penginderaan jauh.

- **Interpretasi dalam bidang kegunung apian (vulkanologi).**

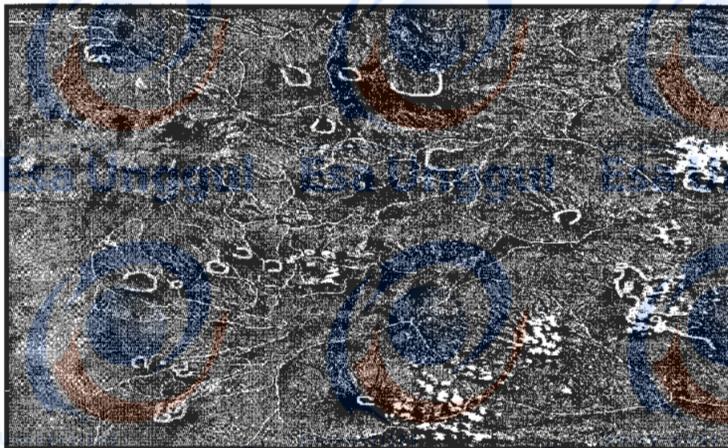
Data penginderaan jauh untuk kegunung apian dapat memberikan informasi mengenai bentuk dan sebaran produk erupsi seperti endapan piroklastik, aliran dan kubah lava dari bentuknya yang khas. Disamping itu data penginderaan jauh dapat juga memberikan gambaran mengenai kompleks vulkanik dan sejarah erupsinya yang tercermin dari perbedaan derajat erosi, gunung api aktif dengan sebaran piroklastik dan aliran lahar.

Kenampakan pada citra diperlihatkan pada gambar 2.22 sampai dengan 2.23. Pada daerah kompleks gunung api yang telah mengalami proses erosi lanjut, pemetaan geologi gunung api menjadi lebih sukar karena bentuk morfologi yang masih ideal sudah tidak dapat dikenal dengan baik. Meskipun demikian dalam hal tertentu jejak tubuh gunung api masih dapat diperkirakan seperti diperlihatkan pada gambar.





Gambar 2.22 Kaldera Tengger dengan tubuh kerucut tua (A) dan Kerucut muda (B).



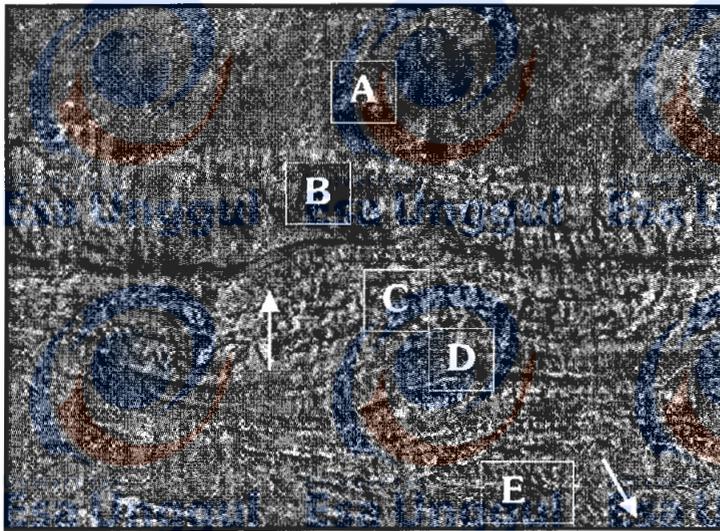
Gambar 2.23 Komplek gunung api di daerah Pangalengan, Jawa Barat.

- **Interpretasi batuan sedimen terlipat.**

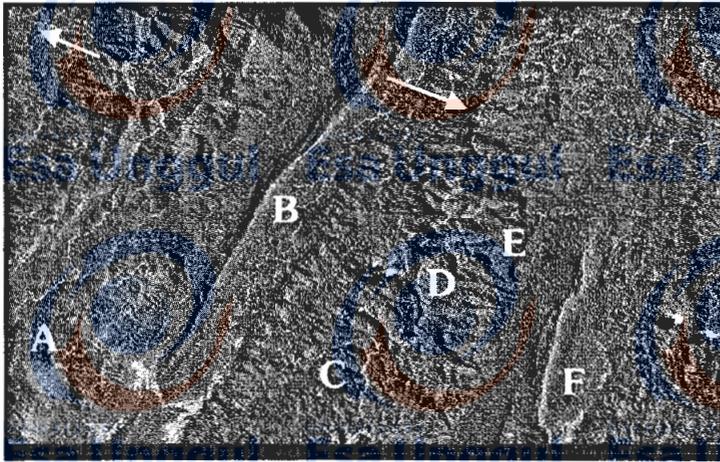
Batuan sedimen terlipat dicirikan oleh bentuk dan pola topografi yang khas dan dapat dikenal dengan baik pada citra satelit inderaja, dengan kenampakan sebagai berikut:

- a. Susunan topografi yang terdiri dari perselingan antara lembah dan pematang bukit memanjang saling sejajar. Morfologi lembah ditempati oleh jenis batuan lunak yang mudah tertoreh (batulempung, serpih, napal) dan pematang bukit ditempati oleh lapisan batuan yang lebih keras (batupasir, konglomerat, breksi, batugamping). Arah memanjang dari bentuk morfologi ini merupakan jejak dari bidang perlapisan.
- b. Batuan karbonat yang umumnya keras biasanya menempati topografi tinggi, dikenal dengan baik apabila menunjukkan bentuk morfologi karst.
- c. Breksi juga menempati topografi tinggi, homogen dan memperlihatkan tekstur topografi kasar – sangat kasar.
- d. Bidang perlapisan seringkali dapat dikenal dari kesejajaran jejak bidang perlapisannya. Kemiringan bidang perlapisan dapat dikenal dari bentuk morfologi mesa, cuesta atau hogback tergantung pada besarnya sudut kemiringan bidang perlapisan tersebut.
- e. Sumbu lipatan dapat dikenal dari punggung atau lembah berbentuk bulat, lonjong atau tapal kuda (*horse shoe shapes*).
- f. Struktur sesar dapat dikenal dengan baik pada citra yang diperlihatkan oleh beberapa kenampakan di antaranya adanya pergeseran bidang perlapisan, kelurusan topografi dalam skala regional, gawir topografi, kelurusan segmen sungai, pergeseran aliran sungai, orientasi bukit dan gejala geologi lain dan sebagainya. Kelurusan topografi yang berpola teratur menunjukkan adanya suatu pola rekahan pada batuan/kelompok batuan.

Kenampakan gejala geologi tersebut di atas diperlihatkan pada gambar 2.24 sampai dengan 2.29.



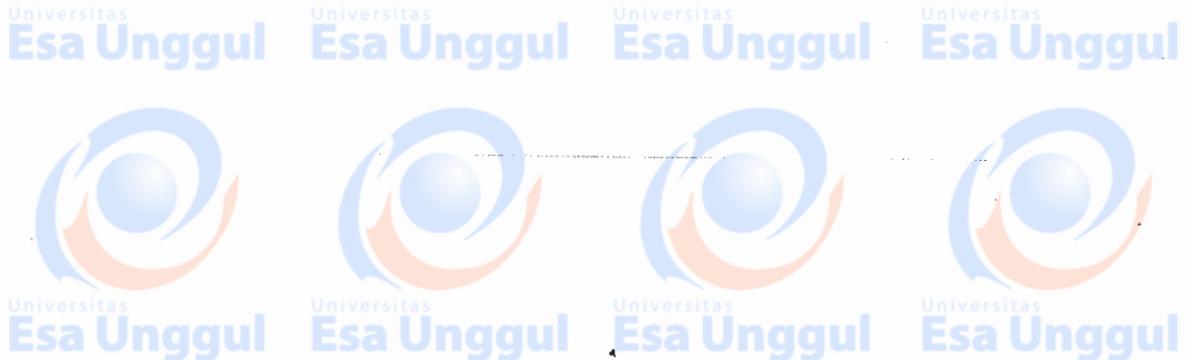
Gambar 2.24 Perlapisan batuan sedimen (A,B,C,D,E) dan kemiringan bidang perlapisan.



Gambar 2.25 Perlapisan batu pasir, batu lempung dan batu gamping dalam struktur antiklin.

- Interpretasi daerah pantai dan pesisir.

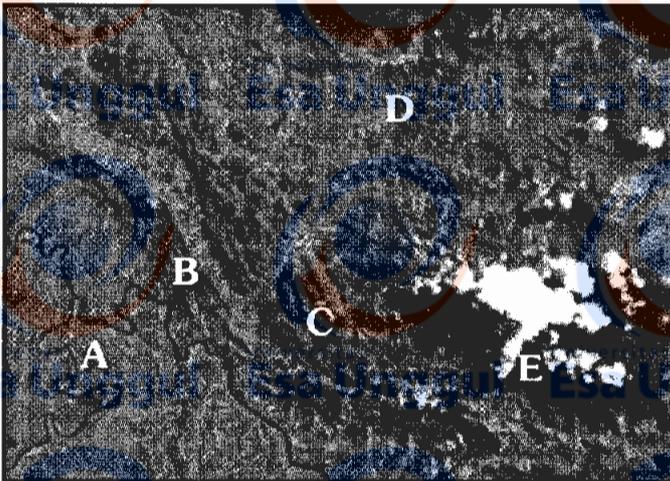
Wilayah dan garis pantai Indonesia sangat panjang dan luas, hanya sedikit sekali diketahui dari padanya baik dalam hal sumber-



daya alam yang dimiliki (mineral dan bahan galian, sumberdaya air, lahan) maupun kondisi lingkungannya.

Pemetaan pada daerah pantai sulit dilakukan karena sukarnya diperoleh singkapan batuan, asesibilitas sukar (rawa pantai) dan mahal karena sebagian besar harus dilakukan melalui survei bawah permukaan (geofisika dan pemboran).

Sebaliknya daerah pantai dan pesisir merupakan wilayah ekonomi yang potensial sebagai lahan pemukiman, prasarana perhubungan, jasa industri dan sebagainya. Kepincangan dari kedua masalah tersebut perlu dipecahkan secara cermat.

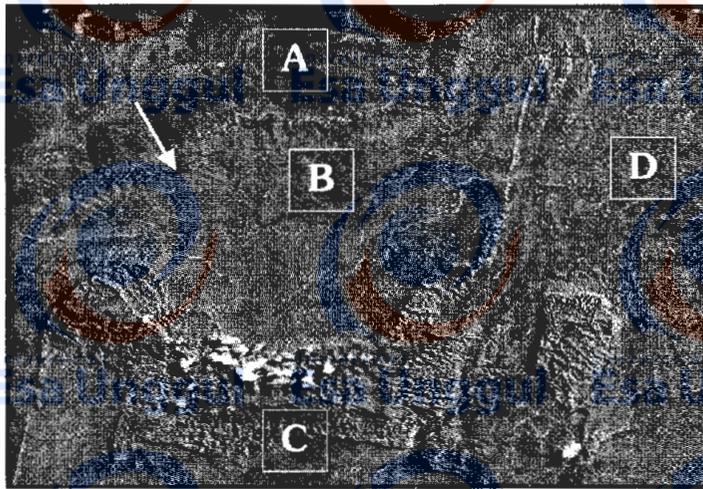


**Gambar 2.26** Kelompok batuan A,B,C,D,E.  
Satuan batuan C kemungkinan batugamping.

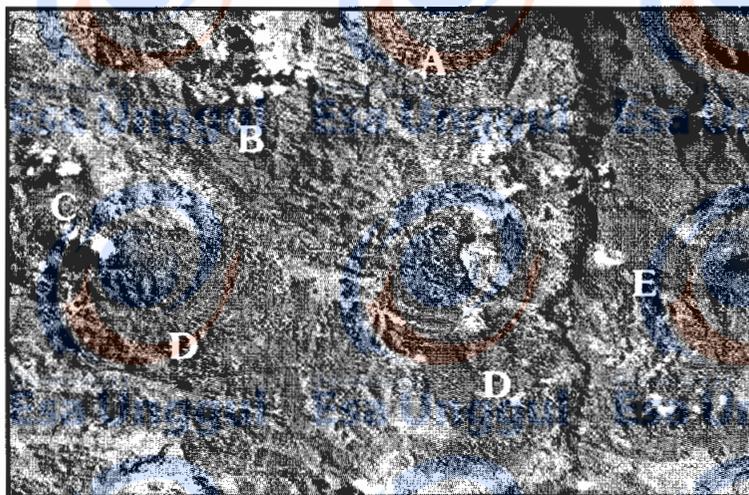
Secara umum wilayah pantai dan pesisir dapat digolongkan menjadi beberapa kelompok dalam kaitannya dengan proses pembentukannya, Pengelompokan secara garis besar dapat dilakukan sebagai berikut.

- Proses endogenik: pantai gunung api, pantai terangkat (*uplifted* dan *tilted*).
- Proses eksogenik: aktivitas laut (*oseanografi*), proses sedimentasi dari darat dan laut dan gabungan keduanya.

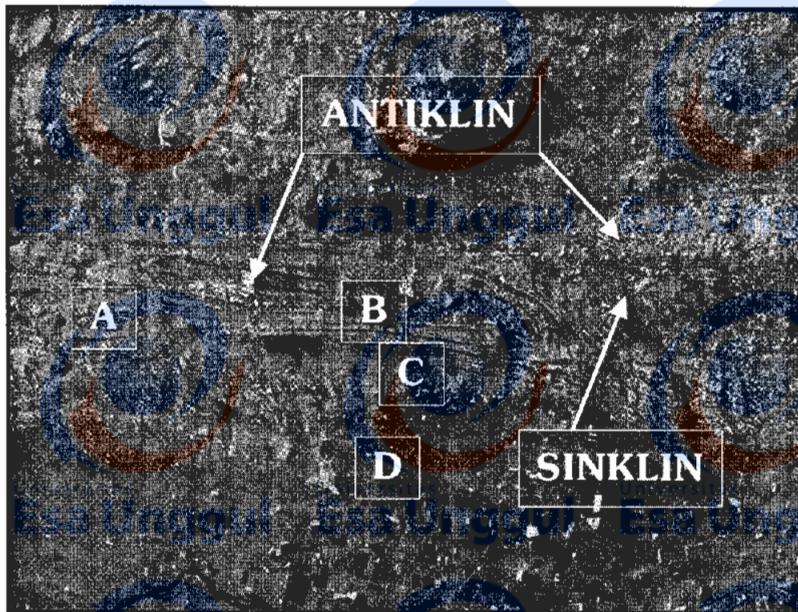
- c. Proses biogenik: pembentukan terumbu karang dan hutan bakau. Kenampakan pada citra Landsat seperti terlihat pada gambar 2.30 sampai dengan 2.34.



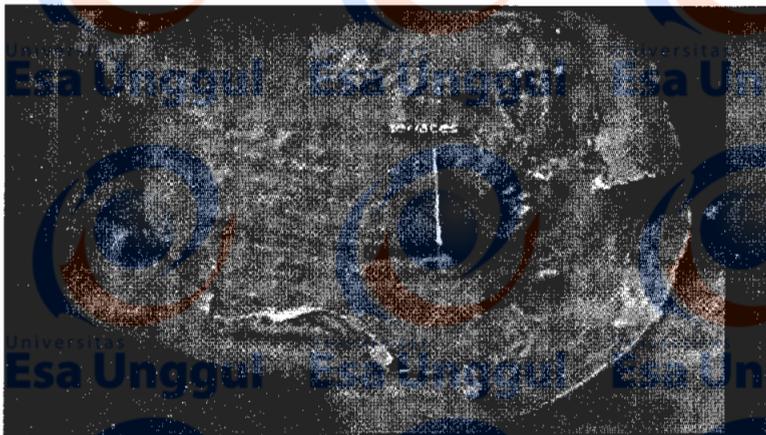
Gambar 2.27 Perlapisan batu pasir, batu lempung, batu gamping.



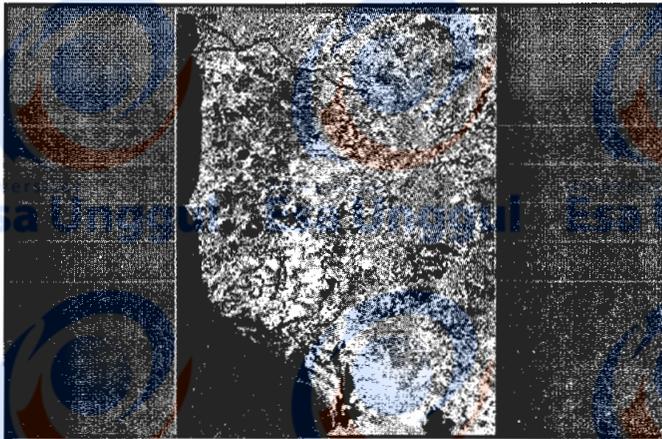
Gambar 2.28 Satuan batuan A (batu lempung), B (sedimen keras), C (batu pasir dan lempung) D. (Batu gamping) dan E (breksi).



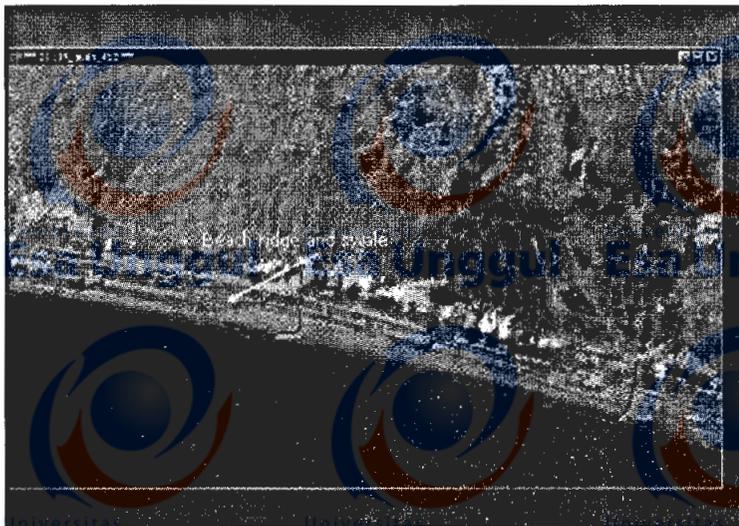
**Gambar 2.29.** *Perlapisan antara batu pasir dan batu lempung dalam perlipatan batuan sedimen.*



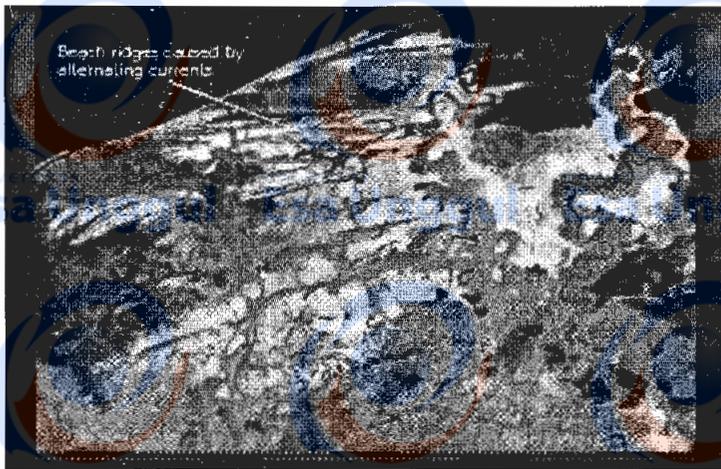
**Gambar 2.30** *Undak pantai terangkat Pulau Larat, Maluku.*



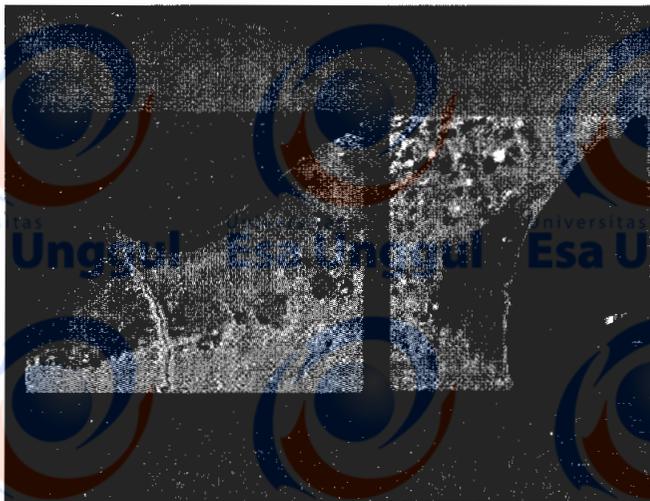
Gambar 2.31 Endapan kipas aluvial S. Jeneberang, Makassar dan alur sungai purba.



Gambar 2.32 Punggung pematang pantai (beach ridges) pantai selatan Jawa Tengah.



Gambar 2.33 Alternating beach ridges di Lokseumawe, Aceh.



Gambar 2.34 Rawa pantai yang dikonversi sebagai lahan tambak dan alamiah dengan tutupan hutan bakau di pantai utara Jawa dan Timor.