

# BAB VI

---

## INTERPRETASI JALAN, HIDROLOGI, GEOMORFOLOGI DAN BENTUKLAHAN

Perbincangan mengenai interpretasi jalan, hidrologi, bentuk lahan, dan geomorfologi dalam buku ini dimulai dari interpretasi jaringan jalan, interpretasi hidrologi, interpretasi bentuk lahan, dan interpretasi geomorfologi.

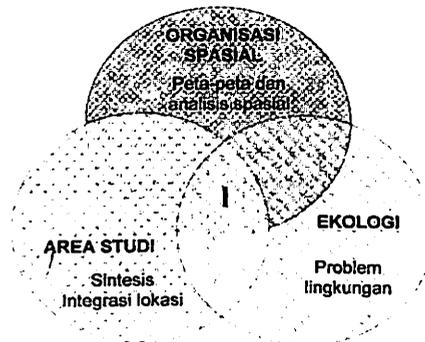
### 1.1. INTERPRETASI JARINGAN JALAN DARI CITRA

Jaringan jalan mempengaruhi bentuk lahan dan merupakan prasarana transportasi daratan, maka pada perbincangan mengenai interpretasi jaringan jalan akan dibahas mengenai model jaringan transportasi, identifikasi jaringan jalan, dan pemetaan jaringan jalan.

#### 6.1.1. Model Jaringan transportasi

Transportasi mempunyai kaitan erat dan hubungan timbal balik dengan perkembangan wilayah. Transportasi dapat memacu perkembangan wilayah, sebaliknya perkembangan wilayah dapat membangkitkan transportasi. Suatu wilayah tidak akan berkembang tanpa didukung dengan adanya transportasi, sehingga transportasi dapat berperan sebagai *agent of development* perkembangan suatu wilayah. Transportasi merupakan salah satu utilitas vital untuk meningkatkan ekonomi masyarakat. Studi sosial ekonomi transportasi sama pentingnya dengan studi teknis-mekanis transportasi. Transportasi sebagai suatu sistem sangat dipengaruhi oleh struktur sosial, ekonomi, dan politik suatu wilayah. Transportasi merupakan salah satu bentuk interaksi keruangan (spasial). Interaksi terjadi karena adanya variasi spasial seperti perbedaan kondisi fisik daerah, adanya variasi kegiatan sosial ekonomi, demografis dan

sebagainya. Oleh karena itu transportasi masuk dalam disiplin ilmu geografi. Geografi transportasi termasuk dalam disiplin ilmu geografi manusia, mencakup tiga konsep dasar yang saling terkait satu sama adalah konsep organisasi dan analisis spasial, konsep ekonomi dalam geografi transportasi, dan kemungkinan pengembangan konsep transportasi (Purwadhi, 2000). Hubungan ketiga konsep dalam studi geografi Gambar 6.1. merupakan tiga unsur pokok yang harus selalu diperhatikan.



Gambar 6.1. Integrasi tiga unsur dasar studi geografi.

Deskripsi studi geografi transportasi harus memperhatikan hubungan timbal balik antara tiga unsur pokok dalam geografi, yaitu

1. Organisasi spasial biasanya berupa peta hasil analisis spasial mencakup empat aspek yang berhubungan dengan konsep struktur jaringan, yaitu jalur hubungan (*linkages*), pusat-pusat (*nodes*), daerah belakang (*hinterland*), dan hirarki (*hierarchy*).
2. Area atau lokasi studi dalam transportasi merupakan sintesis integrasi area (*place-integration synthesis*), yang berhubungan dengan aspek ekonomi, pola pemerintah daerah, dan infrastruktur. Area atau lokasi studi dapat menentukan pola jaringan jalan, jenis transportasi (darat, air, udara), dan route transportasinya.
3. Ekologikal dalam studi transportasi merupakan problem lingkungan, yang menitik beratkan hubungan lingkungan fisik dan berkaitan dengan konstruksi bangunan, misalnya jalan/ jalur transportasi yang melewati daerah lembah akan berbeda dengan jalur transportasi daerah dataran, pegunungan atau perbukitan

Menurut Taaffe et.al (1996) Sistem Model Transportasi terdiri dari empat

model dan digabungkan secara bertahap, yaitu (1) model pembangkitan perjalanan (*trip generation*), (2) model penyebaran perjalanan (*trip distribution*), (3) model moda angkutan (*modal split*), dan (4) model penetapan jaringan (*route/traffict or network assignment*). Diskripsi dari keempat sistem model transportasi sebagai berikut.

1. *Trip generation model* merupakan model estimasi dari kemungkinan jumlah perjalanan yang dapat dibangkitkan oleh suatu wilayah. Besarnya perjalanan di suatu wilayah tergantung beberapa asumsi pada sebaran penggunaan lahan, jumlah penduduk, struktur ekonomi, aktivitas dan sosial ekonomi penduduk pada kurun waktu tertentu.
2. *Trip distribution model* merupakan model estimasi sebaran jaringan transportasi dengan pendekatan model gravitasi (*gravity model*). Model ini merupakan model yang paling sederhana untuk melihat potensi interaksi antar wilayah berdasarkan jumlah penduduk. Sebaran jaringan transportasi sangat dipengaruhi oleh sebaran pusat-pusat (*nodes*) kegiatan dan ketersediaan jalur (*linkages*) dan jaringan (*network*) transportasi.
3. *Modal-split* (moda angkutan) merupakan prediksi jumlah perjalanan untuk menentukan moda angkutan. Penentuan jenis moda angkutan sangat dipengaruhi oleh penggunaan lahan, bentuk lahan, kondisi sosial ekonomi, dan ekologi suatu wilayah. Jumlah perjalanan didistribusikan ke tempat tujuan dengan moda angkutan yang ada.
4. *Route/ traffict or network assignment* merupakan model jaringan transportasi yang diterapkan pada suatu wilayah.

Berdasarkan hal tersebut, maka perencanaan transportasi dilakukan dalam tiga tahap, yaitu (1) *preanalysis tahap ini* memfokuskan pada pengumpulan data atau pembangunan basis data untuk identifikasi dan evaluasi kondisi transportasi yang sudah ada (*existing*). (2) tahap analisis untuk penentuan strategi perencanaan transportasi dengan menggunakan (3) tahap akhir *postanalysis* adalah evaluasi, implementasi, dan pemantauan. Sistem transportasi meliputi

1. Jaringan yang terdiri dari link dan node, struktur, lokasi, dan evolusi

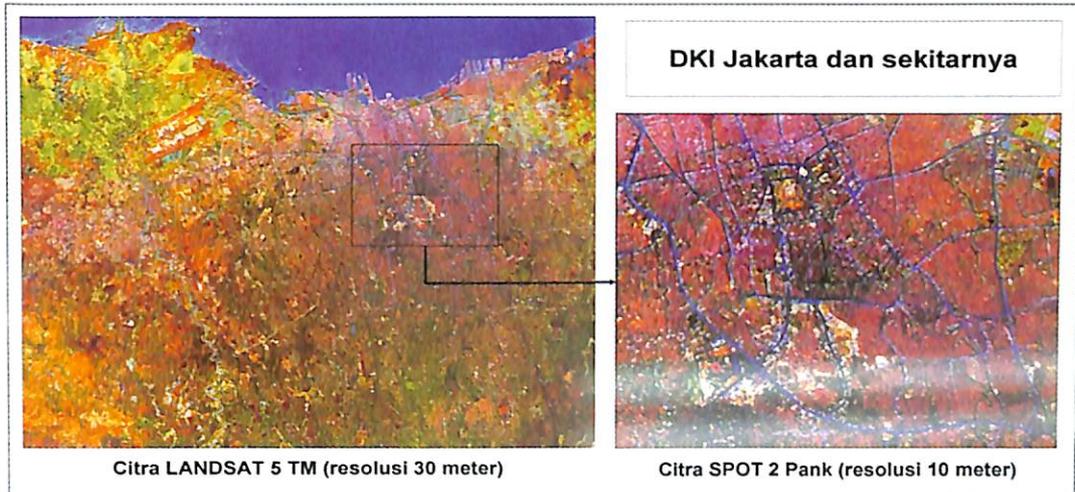
jaringan;

2. Arus pada jaringan transportasi meliputi arah, volume, frekuensi, pengelolaan lalu-lintas dan lain-lain;
3. Signifikansi dari pengaruh transportasi terhadap sosial ekonomi masyarakat.

Evaluasi jaringan transportasi merupakan *postanalysis*, yang mencakup parameter : kerapatan jaringan, pembebanan ruas jalan, matrik konektivitas, indek alpha, indek gamma, aksesibilitas, konektivitas. Evaluasi arus lalu-lintas membahas arah, volume lalu-lintas, bangkitan perjalanan, tarikan perjalanan, pembebanan ruas jalan, tingkat pelayanan (LOS), simpul-simpul kemacetan dan sebagainya. Hasil identifikasi jaringan transportasi yang ada di suatu daerah/ wilayah, dapat digunakan untuk mengetahui tingkat aksesibilitas lokasi. Aksesibilitas ini salah satu parameter untuk menentukan pusat-pusat (simpul) kegiatan. Aksesibilitas meliputi tingkat kemudahan suatu lokasi dapat dicapai dari dan ke tempat lain, kemudahan dalam aspek jarak, waktu tempuh, biaya tempuh. Aksesibilitas juga dapat digunakan untuk mengetahui konektivitas wilayah, yaitu melihat keterhubungan antar wilayah dari aspek keberadaan jaringan. Lokasi atau daerah yang mempunyai konektivitas tinggi adalah lokasi yang mempunyai banyak keterhubungan dengan lokasi lain.

### 6.1.2 Identifikasi Jaringan Jalan dari Citra

Identifikasi obyek jaringan jalan (termasuk rel kereta api) pada citra berupa garis. Jaringan jalan merupakan salah satu aspek dari jaringan transportasi daratan. Identifikasi jaringan jalan dari citra dapat dilakukan pada citra resolusi menengah hingga resolusi tinggi. Kerincian identifikasi jaringan jalan tergantung pada resolusi spasial dan skala citra penginderaan jauh yang digunakan. Gambar 6.2. menunjukkan perbedaan kerincian jaringan jalan yang dapat diidentifikasi dari citra Landsat 5 TM (resolusi spasial 30 meter) dan SPOT 2 MS Pankromatik (resolusi spasial 10 meter) daerah DKI Jakarta dan sekitarnya.



**Gambar 6.2.** Citra Landsat 5 TM dan SPOT 2 DKI Jakarta. (Dok LAPAN)

Identifikasi lebih jelas pada citra resolusi lebih halus seperti Gambar 6.3. identifikasi jaringan jalan dari citra IKONOS (resolusi spasial 1 meter) di Kota Solo, Jawa Tengah. Jalur jalan digambarkan dengan warna merah, sedangkan jalur jalan kereta api (rel) digambarkan dengan warna merah. Jalur jalan memanjang dengan sudut perpotongan yang tajam (persimpangan jalan, perempatan jalan, pertigaan jalan). Perbedaan jaringan jalan terletak pada kondisinya, yaitu jalur jalan dengan rona lahan terbuka di perkotaan, dan ada tanaman pelindung tepi jalan di daerah perkampungan, yang tampak kontras pada citra dengan rona kenampakan sekelilingnya. Jalur jalan kereta api tampak dengan kelokan yang melengkung (tidak tajam atau tidak membuat sudut).

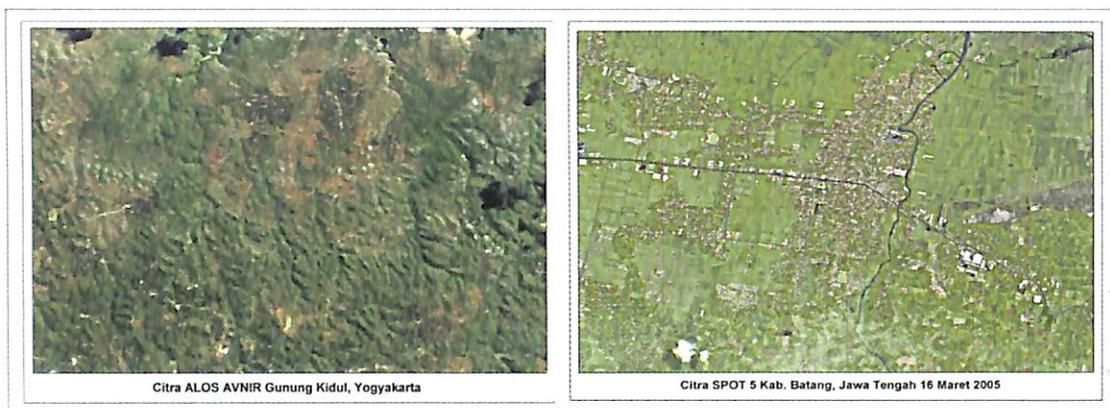


**Gambar 6.3.** IKONOS Kota Solo, Jawa Tengah dan delineasi jaringan jalan. (Dok. LAPAN)

Ukuran jalan biasanya menunjukkan status jalan. Klasifikasi jalan di Indonesia berdasarkan UU No. 13 tahun 1980 tentang dibedakan menurut fungsi, kelas, dan peranannya.

1. Jalan berdasarkan fungsinya diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) kelas, yaitu jalan utama, jalan sekunder, dan jalan penghubung.
2. Jalan berdasarkan kelasnya diklasifikasikan menjadi 8 (delapan) kelas, yaitu jalan kelas I, jalan kelas IIA, jalan kelas IIB, jalan kelas IIC, jalan kelas III, jalan kelas IIIA, jalan kelas IV, dan jalan kelas V.
3. Jalan berdasarkan peranannya dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) kelas, yaitu jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal.

Gambar 6.4 Perbedaan kenampakan jalur jalan pada topografi perbukitan dan dataran. Citra Alos AVNIR Gunung Kidul, Yogyakarta rekaman tanggal 10 Juni 2006. Sistem jaringan jalan pada topografi kasar (perbukitan), dengan struktur ekonomi pertanian. berbeda dengan sistem transportasi daerah pertanian dan industri pada topografi relatif datar (daerah dataran) Citra SPOT5 Kabupaten Batang, Jawa Tengah.



**Gambar 6.4.** Perbedaan kenampakan pada citra jalur jalan di perbukitan dan di dataran.

## 6.2. INTERPRETASI HIDROLOGI DARI CITRA

Purwadi dkk, (2006) mengungkapkan bahwa interpretasi hidrologi dari citra adalah mengkaji citra untuk mengidentifikasi dan menilai arti penting obyek hidrologi atau sumber daya air. Terapan penginderaan jauh untuk hidrologi ditentukan berdasarkan kondisi fisik permukaan bumi dan bawah permukaan

bumi. Oleh karena itu obyek sumberdaya air secara tidak langsung dapat diduga berdasarkan karakteristik lahan dan penutup lahannya. Sensor penginderaan jauh hanya merekam obyek di permukaan bumi, sehingga identifikasi hidrologi dari citra dikaitkan dengan obyek yang tampak di permukaan bumi. Interpretasi hidrologi diarahkan untuk menguji hubungan antara kenampakan bentang lahan dan proses hidrologinya, yaitu satuan bentuk lahan, yang dapat diinterpretasi dari citra penginderaan jauh. Lingkup interpretasi hidrologi dari citra penginderaan jauh mencakup (1) Karakteristik air pada citra (2) Struktur citra untuk menilai tipe hidrologi; (3) Informasi hidrologi untuk analisis potensi sumberdaya air.

Identifikasi hidrologi pada citra penginderaan jauh berupa lahan tergenang atau tertutup air. Kriteria lahan tergenang dibedakan dalam lima jenis, yaitu

1. Lahan tergenang air untuk waktu lama setiap tahunnya dan ada tetumbuhannya, gambar yang tampak pada citra dan digambarkan pada peta penutup lahan berupa campuran air dan lahan tak produktif.
2. Air alamiah yang tampak di permukaan bumi dan digunakan manusia yaitu sungai, alur (*stream*), anak sungai (*creeks*), selokan, kanal dan lain-lain.
3. Reservoir air (alamiah dan buatan) dibedakan atas laut, laguna, danau, bekas sungai, kolam, tambak ratahan lumpur, waduk.
4. Orientasi pada penggunaan air, yaitu untuk air minum, industri, transportasi/ komunikasi, sumber tenaga, pertanian, perikanan.
5. Air segar merupakan air yang dinilai berdasarkan kualitasnya dapat dibedakan dalam tiga macam, yaitu (1) *oligotropik* (air segar dan bersih), (2) *Eutropik* (air segar dengan senyawa ringan), (3) *Diatropik* (air segar dengan sifat tertentu).

Berdasarkan hal tersebut, maka interpretasi hidrologi yang akan dibicarakan pada buku ini adalah mengenai lingkup studi hidrologi, identifikasi pola aliran sungai dari citra, menghitung kerapatan sungai dari citra, dan pemetaan jaringan sungai menggunakan citra inderaja.

### **6.2.1. Lingkup Studi Hidrologi dari Citra**

Lingkup kajian hidrologi mencakup gerakan dan distribusi sumberdaya air di bumi, yang dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu (1) Air tanah dan

mata air, (2) Air permukaan (air sungai, danau, waduk, laut); (3) Air hujan. Analisis hidrologi suatu wilayah harus didasari dengan pengertian geomorfologi suatu wilayah. Hidrologi sangat dipengaruhi oleh gerakan dan distribusi air pada setiap fase dalam siklus hidrologi, di mana setiap fase bertepatan dengan tingkatan evolusi geomorfologi. Lingkup hidrologi secara luas, mencakup air permukaan (termasuk laut), air di bawah permukaan (zone jenuh atau tidak jenuh), yang dapat mengalir melalui sungai dan menuju ke sungai. Kajian hidrologi menggunakan teknologi penginderaan jauh, terutama untuk identifikasi hamparan tubuh air dan beberapa indikator hidrologi dari permukaan bumi. Berdasarkan hal tersebut hidrologi mudah dipelajari menggunakan citra penginderaan jauh, karena permukaan bumi merupakan gambaran hasil proses geologi, geomorfologi, dan hidrologi, maka survei hidrologi dimulai dari penelitian kondisi air dari suatu daerah aliran sungai (*watershed*) hingga ke laut, termasuk dinamika hidrologi yang terjadi di darat dan di laut. Hidrologi daratan mencakup air permukaan daratan (mata air, sungai, waduk, kolam, danau, tambak), air hujan dan air di bawah permukaan bumi. Hidrologi daratan secara garis besar dapat dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu

1. Aliran langsung (*surface runoff*) adalah aliran yang mengalir pada daerah aliran sungai (DAS) hingga ke sungai utama. Aliran ini juga berupa *overland flow* yang mengisi depresi-depresi di permukaan tanah dan segera mengalami proses infiltrasi dan evaporasi. Aliran langsung dengan variasi infiltrasi batuan, sedimen, tanah, vegetasi penutup, dan beberapa aspek geomorfologi dapat diidentifikasi dari citra penginderaan jauh.
2. Aliran antara (*interflow*) adalah aliran yang melalui sela-sela tanah atau batuan. Aliran antara terletak di bawah penutup tanah (*soil mantle*) atau sering disebut aliran bawah permukaan. Aliran ini mempunyai sifat sementara akan masuk ke tanah melalui rembesan/ kontak antara lapisan tanah porus (berpori-pori) ke permukaan.
3. Aliran dasar (*base flow*) biasanya disebut air tanah, yang muncul di permukaan sebagai rembesan (*seepage*) dan mata air (*spring*). Aliran dasar merupakan komponen sangat penting bagi persediaan air di musim kemarau. Aspek rembesan (*seepage*) dan mata air (*spring*), agak sulit diidentifikasi secara langsung dari citra penginderaan jauh. Identifikasi biasanya dilakukan secara tidak langsung, misalnya rembesan dapat diidentifikasi melalui kelembaban tanah, batuan atau

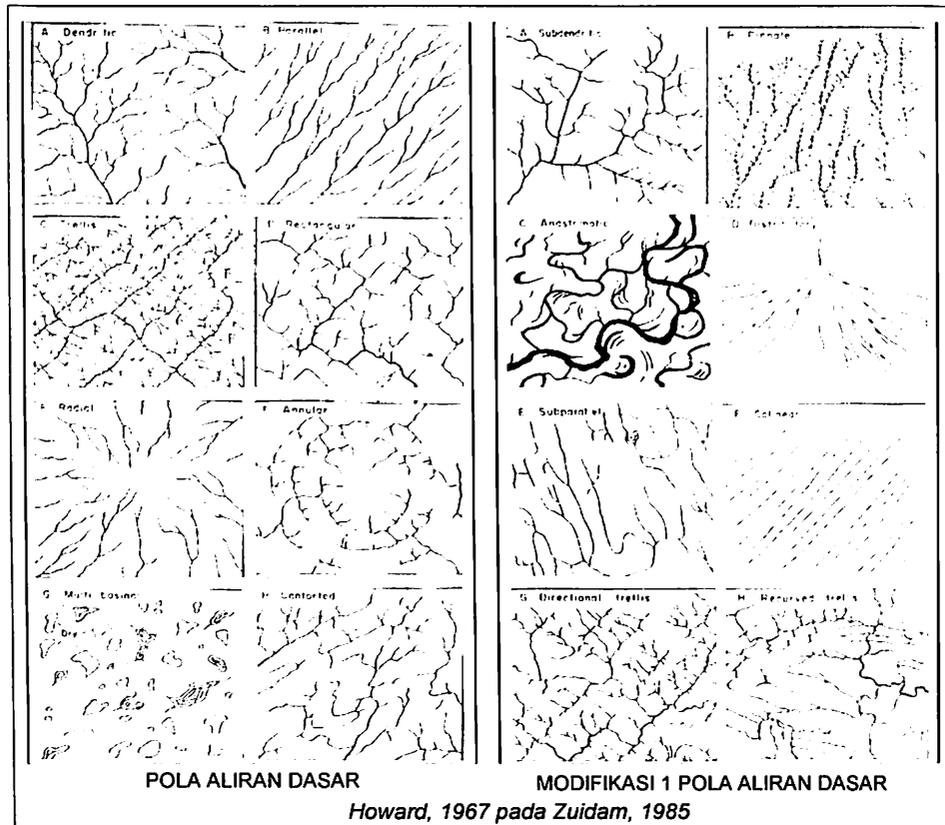
vegetasi penutupnya. Sedangkan mata air biasanya permulaan dari suatu aliran sungai.

Di dalam buku ini hanya akan dibahas mengenai aliran langsung yang dapat diidentifikasi dari citra penginderaan jauh, yaitu mengenai identifikasi jaringan sungai, pola aliran sungai, menghitung kerapatan sungai, dan pemetaan jaringan sungai dari citra penginderaan jauh.

### 6.2.2. Identifikasi Pola Aliran Sungai dari Citra

Zuidam (1979) mengungkapkan berdasarkan strukturnya setiap aliran sungai selalu dihubungkan oleh jaringan satu arah dimana cabang dan anak sungai mengalir ke dalam sungai induk yang lebih besar dan membentuk pola tertentu. Pola itu tergantung dari kondisi topografi, geologi, iklim, vegetasi yang terdapat didalam daerah pengaliran. mengungkapkan dengan jelas bahwa pola aliran dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu (1) Pola aliran dasar, dan (2) Modifikasi pola aliran dasar. Pola aliran sungai dapat dikelompokkan menjadi 8 pola utama yaitu dendritik, trellis, parallel, radial, *sinkholes*, *dikotomik*, *anastomik*, dan *barbed*. Howard, 1967 dalam Zuidam, (1985) menggambarkan pola aliran dasar dan dua modifikasi pola aliran berdasarkan proses stadiumnya, seperti Gambar 6.5. Pola aliran dasar dan modifikasi 1. Biasanya setiap bentuk pola aliran sungai menggambarkan kondisi fisik daerah setempat.

1. *Dendritik* : Bentuk rangkaian aliran sungainya mirip ranting pohon dimana anak sungai yang bentuknya tidak teratur atau melengkung akhirnya menyatu pada sungai utama dengan sudut yang tajam dan searah dengan alirannya. Pola aliran ini mencerminkan kondisi fisik daerahnya berupa material kedap air dan teksturnya relatif halus. Berkembang pada daerah dengan variasi sudut lereng kecil, landai, dan berrelief rendah. Dapat berkembang pada daerah dengan struktur lapisan horisontal, miring landai, atau terlipat lemah. Dapat pula berkembang di daerah berbatu metamorf, sedimen, beku asalkan daya tahan terhadap erosi seragam. Gambar 6.6. Pola sungai di Pantai Timur Bulungan dan Nunukan, Kalimantan Timur.
2. *Trellis*: pola aliran sungai dimana sungai induk dengan anak-anak sungai membentuk sudut tegak lurus. biasanya dijumpai di daerah dengan struktur batuan sedimen di daerah lipatan. Pola sejajar



**Gambar 6.5.** Pola aliran dasar dan modifikasi 1 pola aliran dasar.  
(Howard, 1967 pada Zuidam, 1985).

pada aliran ini lebih menunjukkan struktur batuan daripada jenis batuanya sendiri dengan sungai utama mengikuti arah jurus perlapisannya. Gambar 6.7. Pola sungai di pegunungan lipatan Sumatera Barat dan Jawa Tengah.

3. **Parallel** : pola aliran sungai yang hampir sejajar antara sungai satu dengan lainnya. Pola aliran ini mencerminkan adanya fenomena sesar atau rekahan, berkembang pada batuan bertekstur halus-sedang, juga pada daerah berlereng terjal seperti lereng punggung. Gambar 6.8. Pola aliran paralel pegunungan utara Timika, Papua
4. **Radial** : pola aliran sungai yang arahnya menyebar dari suatu lokasi tertentu. Ciri khas pola aliran di kerucut vulkan. Kebalikannya adalah pola aliran sentripetal : yaitu pola aliran sungai yang arahnya menuju ke satu lokasi tertentu. Pola sentripetal merupakan ciri khas di daerah cekungan (danau). Pola ini biasanya dijumpai di daerah lereng gunung api atau daerah dengan topografi kubah. Gambar

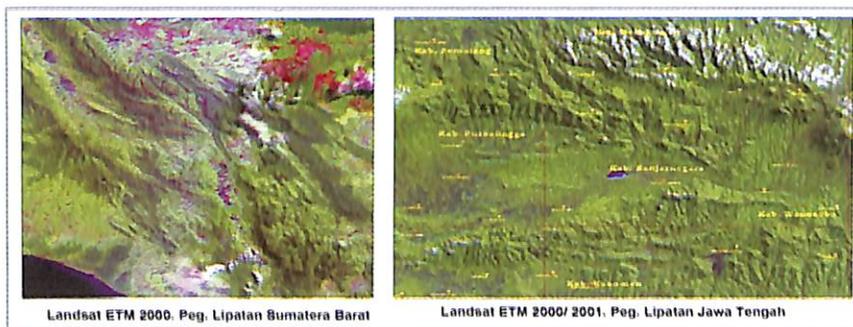
6.9. Pola sungai di lereng Gunung Semeru Jawa Timur, dan Gunung Merapi di Daerah Istimewa Yogyakarta

5. *Rektanguler (Sink Holes)*: pola aliran sungai di daerah kapur. Tiba-tiba terdapat aliran sungai yang menghilang ke dalam tanah. Gambar 6.10. Pola sungai di Gunung Kidul Daerah Istimewa Yogyakarta.
6. *Dikotomik* : pola aliran dimana terdapat dua sungai dengan arah aliran saling berlawanan. Contoh pola aliran dikotomik Gambar 6.11. Pola sungai Sausapor, Kabupaten Sorong, Papua Barat pada citra Landsat 7 ETM.
7. *Anastomotik* : pola aliran yang berliku-liku (*meander*). Pola aliran ini umumnya berada di daerah dataran aluvial dengan material sedimen, mudah tererosi. Sungai-sungai bermeander aktif biasanya akan meninggalkan bekas-bekas aliran terpotong (*cut of meander*) membentuk kalimati/ danau mati (*oxbow lake*). Gambar 6.12 Citra Balon Stratosfer LAPAN pola meander sungai Bengawan Solo, di Jawa Timur.
8. *Barbed* atau *Multibasinal*: pola aliran sungai yang diselang-seling adanya danau. Aliran-aliran ini tersebar dan kadang-kadang menghilang lalu muncul lagi seperti pada daerah karst. Daerah yang mempunyai pola aliran ini umumnya terdapat di daerah yang mengalami erosi dan pengendapan glasial atau angin/ aeolian. *Barbed* atau *Multibasinal* juga di daerah dengan batuan yang mudah mengalami proses pelarutan seperti batu gamping, *permafrost*, dan daerah dengan gerakan massa aktif atau daerah vulkanik aktif. Gambar 6.13. Citra Landsat ETM yang menunjukkan pola aliran *barbel/ multibasinal* sungai di Batusangkar, Sumatera Barat.

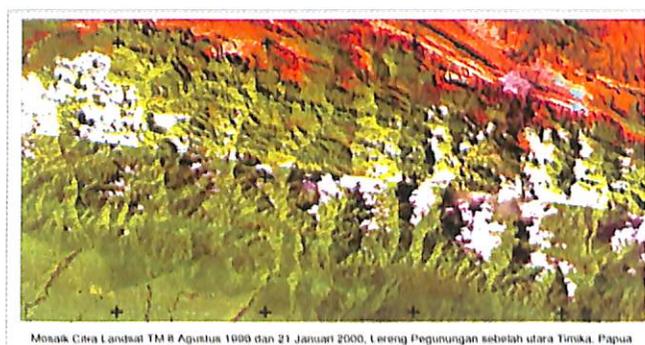


Citra Landsat ETM 2003/2004 Bulungan dan Nunukan, Kalimantan Timur

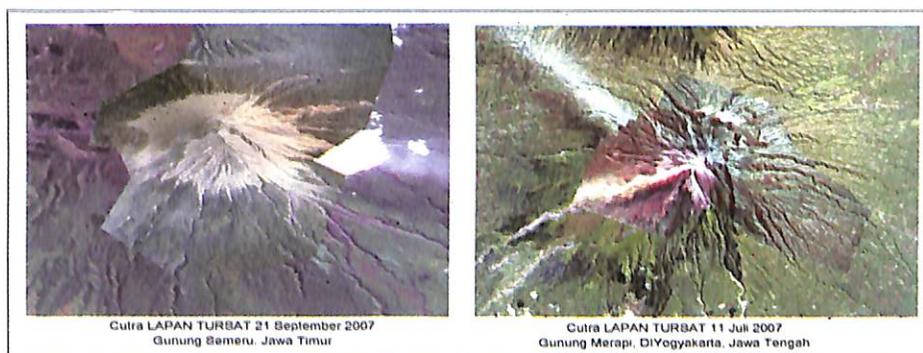
**Gambar 6.6.** Dendritik Bulungan dan Nunukan, Kalimantan Timur. (Dok LAPAN)



Gambar 6.7. Trellis di Peg. lipatan Sumatera Barat dan Jawa Tengah. (Dok. LAPAN)



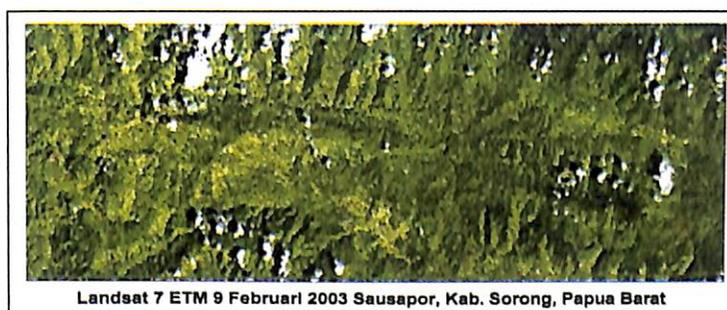
Gambar 6.8. Paralel di Timika, Papua. (Sri Hardiyanti, 2001)



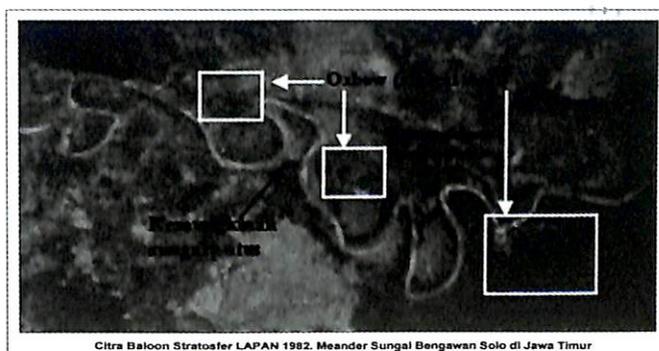
Gambar 6.9. Radial G. Semeru dan G. Merapi (Dok. LAPAN)



Gambar 6.10. Rektangular Gunung Kidul Daerah Istimewa Yogyakarta. (Dok. LAPAN)



Gambar 6.11. Dikotomik Sungai Sausapor, Kab. Sorong, Papua Barat. (Dok. LAPAN)



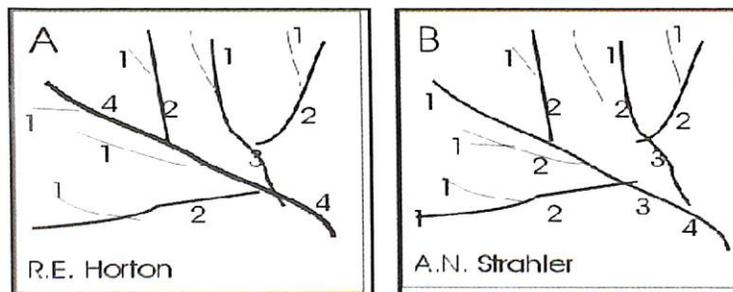
Gambar 6.12. Anastomotic Meander Bengawan Solo. (Dok. LAPAN)



Gambar 6.13. Barbel/ multibasinal Batusangkar, Sumatera Barat. (Dok LAPAN)

### 6.2.3. Deteksi Tingkat Kerapatan Sungai dari Citra

Aliran sungai berkembang berdasarkan kondisi pola aliran, topografi, batuan, tipe tanah, vegetasi, dan iklim. Pengembangan cabang sungai (*braching*) diklasifikasikan berdasarkan model aliran terhadap sungai induk (*main stream*). Tingkatan (*Order*) berdasarkan besar kecilnya cabang anak sungainya (*tributaries*). Gambar 6.14. Dua pola atau model aliran percabangan sungai dalam satu daerah aliran sungai (DAS) oleh Harton, 1945 (A) dan Strahler, 1952 (B). Perhatikan cara pemberian tingkat Order atau tingkatan percabangan sungai berdasarkan satu sungai besar yang merupakan sungai utama atau yang menampung air dari sungai-sungai kecil yang masuk ke sungai utama. Modifikasi dari kriteria sungai yang berasal dari mata air merupakan order pertama, dan hasil pertemuan dua cabang pertama merupakan order berikutnya, yang mempunyai tingkatan makin besar di daerah yang dekat muara sungai. Kedua model tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan citra penginderaan jauh, karena dapat melihat secara keseluruhan atau menyeluruh dalam satu DAS.



Gambar 6.14. Model aliran dan segmen order untuk satu DAS. (Zuidam, 1985 dengan perubahan).

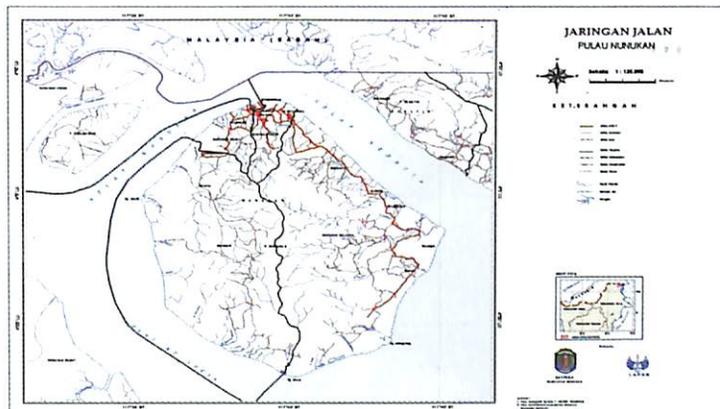
Kerapatan aliran merupakan total panjang aliran sungai dalam suatu unit area atau satu DAS. Perhitungan kerapatan aliran (*drainage density*) dari citra penginderaan jauh dengan formula (Strahler, 1975 dalam Zuidam, 1985) berikut.

$$Dd = \Sigma L / A$$

Di mana :

- Dd = Kerapatan aliran
- $\Sigma L$  = Total panjang aliran (diukur pada citra)
- A = Perhitungan panjang per unit area

Contoh pengukuran/ perhitungan panjang dan kerapatan sungai pada jalur sungai di Pulau Nunukan (Gambar 6.15) hasil tracing dari citra SPOT Pank 2003, dengan resolusi 2,5 meter. Hasil tracing sungai mulai orde 1 hingga orde ke 3. Skala rinci panjang dan kerapatan sungai pada informasi peta skala 1: 5000. Pengembangan cabang sungai (*braching*) diklasifikasikan berdasarkan model aliran terhadap sungai induk (*main stream*). Tingkatan (*Order*) berdasarkan besar kecilnya cabang anak sungainya (*tributaries*). Perhitungan panjang dan kerapatan sungai di Pulau Nunukan tahun 2003 dari citra SPOT. Hasil perhitungan kerapatan sungai pada Tabel 6.1



**Gambar 6.15.** Jaringan Jalan dan Sungai Pulau Nunukan.  
(Dokumen LAPAN & Bappeda Nunukan, Sri Hardiyanti dkk, 2003).

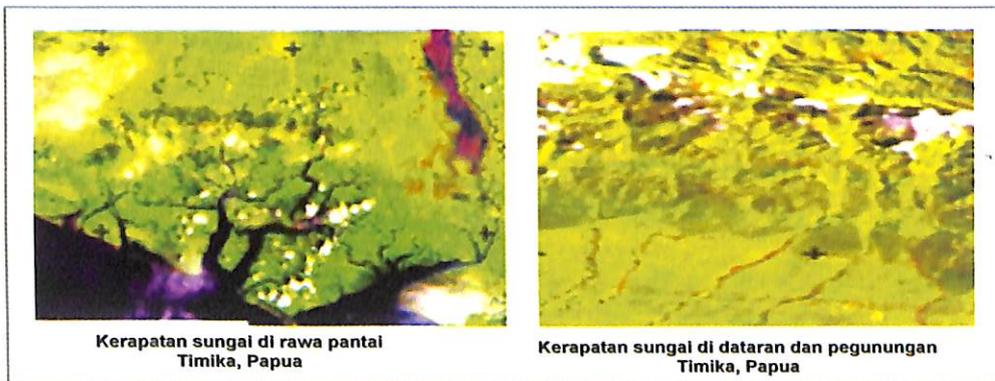
**Tabel 6.1.** Panjang dan Kerapatan Sungai di Pulau Nunukan

Tahun	Citra	Ordo Sungai	Panjang Sungai (M)	Luas Area (Ha)	Kerapatan Sungai (%)
2003	SPOT	1, 2, 3	290.375	23.320	12,5

Sumber : Hasil Analisis SPOT 2003 (Sri Hardiyanti dkk, 2003)

Kerapatan aliran merupakan total panjang aliran sungai dalam suatu unit area dalam satu DAS. Ekspresi curah hujan dan kapasitas infiltrasi dapat dideskripsikan secara fisik maupun secara kuantitatif dalam satu Daerah Aliran Sungai (DAS). Hubungan antara jenis batuan dan kerapatan aliran sangat khusus, karena banyak faktor yang mempengaruhi kerapatan aliran sungai. Beberapa faktor yang mempengaruhi kerapatan sungai adalah tipe batuan, patahan, retakan, lipatan, tipe tanah, relief, vegetasi, curah hujan dan intensitasnya, serta evapotraspirasi.

Batuan intrusif dengan butir-butir kasar akan terjadi kerapatan aliran yang sedikit atau kecil, sedangkan batuan sedimen klastik kerapatan aliran relatif tinggi. Perbedaan kerapatan aliran dari dua jenis tanah/batuan atau dua unit morfologi pada data wilayah dari citra Landsat TM rekaman tahun 2001. Gambar 6.16. yaitu tanah rawa dengan batuan endapan lunak drainase sangat rapat pada morfologi pantai, tanah alluvial, relatif datar, kerapatan aliran jarang pada morfologi dataran.



Gambar 6.16. Perbedaan kerapatan sungai dari tiga satuan lahan, Timika, Papua.

(Purwadhi dkk, 2001)

### 6.3. INTERPRETASI GEOMORFOLOGI DAN BENTUK LAHAN

Pembahasan pada interpretasi geomorfologi dan bentuk lahan akan

dibahas mengenai hubungan geomorfologi dan bentuk lahan, identifikasi bentuk lahan dari citra, dan pemetaan geomorfologi dan bentuk lahan.

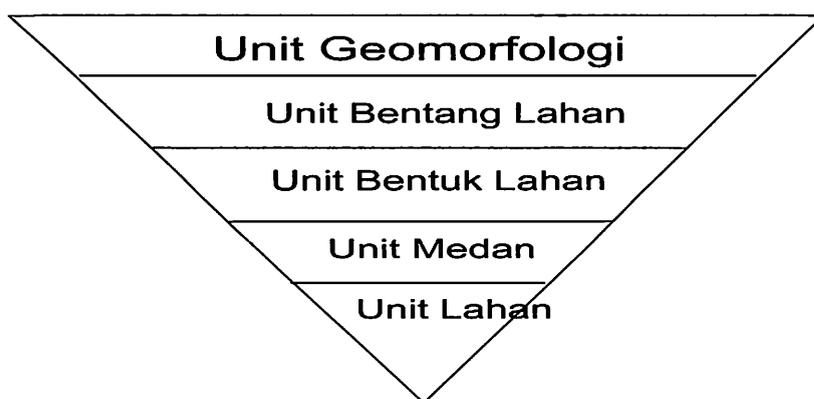
### 6.3.1. Hubungan Geomorfologi dan Bentuk Lahan

Menurut Verstapen, 1977 mendefinisikan geomorfologi adalah ilmu yang mempelajari bentuk lahan, proses-proses yang mempengaruhi bentuk lahan, genesis bentuk lahan, serta hubungan bentuk lahan dengan lingkungannya dalam ruang dan waktu. Oleh karena itu apabila seseorang yang akan mempelajari dan menerangkan material bumi maupun strukturnya dengan menggunakan data penginderaan jauh harus mengerti asas geomorfologi dan ekspresi permukaan bumi, serta beberapa variasi materialnya. Studi geomorfologi mencakup empat kategori, yaitu

1. Geomorfologi statik merupakan studi morfografik, menekankan bentuk lahan aktual, mencakup (a) Geomorfologi struktur proses dan bentuk lahan, (b) Morfologi dan perkembangan lereng, (c) Geografi tanah, survei dan pemetaannya
2. Geomorfologi dinamik atau fisiologik, menekankan pada studi proses dan perubahan bentuk lahan dalam jangka waktu pendek, mencakup (a) Geomorfologi fluvial; (b) Geomorfologi pantai; (c) Micromorfologi tanah; (d) Geomorfologi stabilitas lereng; (e) Geomorfologi bencana alam; (f) Geografi tanah, erosi dan pengawetan tanah
3. Geomorfologi genetik atau fisiognomik, penekanan perkembangan dan perubahan bentuk lahan, yaitu studi genesa dan evolusi bentuk lahan, mencakup (a) Geologi struktur dan geologi lapangan, (b) Mineralogi dan petrografi, (c) Geomorfologi daerah
4. Geomorfologi terapan menekankan pada ekologi bentang darat, yaitu hubungan antara unsur geomorfologis dengan parameter lain. Geomorfologi terapan merupakan evaluasi dan kesesuaian lahan, evaluasi geomorfologi untuk pengelolaan lahan.

Berdasarkan uraian tersebut, maka Purwadhi (2000) mengungkapkan bahwa studi geomorfologi menitik beratkan pada bentuk lahan dan penyusun konfigurasi permukaan bumi, yaitu cerminan interaksi proses endogenetik dan eksogenetik, karena permukaan bumi selalu mengalami perubahan akibat proses-proses yang berlangsung terus menerus, baik proses yang bekerja dari

dalam bumi (endogenetik) maupun proses di permukaan bumi (eksogenetik). Oleh karena itu konfigurasi permukaan bumi yang dibentuk oleh proses endogenetik merupakan unit geomorfologi yang bersifat konstruksional, yang dipengaruhi oleh faktor struktur geologi dan topografi. Konfigurasi permukaan bumi berupa unit-unit morfologi, sehingga di dalam interpretasi citra penginderaan jauh untuk identifikasi kondisi geomorfologi dan bentuk lahan tergantung pada resolusi citranya. Setiap unit geomorfologi dapat dirinci menjadi beberapa unit bentang lahan. Unit bentang lahan dapat dirinci menjadi beberapa unit bentuk lahan. Unit bentuk lahan dapat dirinci menjadi beberapa unit medan, dan selanjutnya unit medan dapat dirinci menjadi unit lahan (unit terkecil). Skema kerincian studi geomorfologi dapat dilihat pada Gambar 6.17.



Gambar 6.17. Skema kerincian studi geomorfologi.

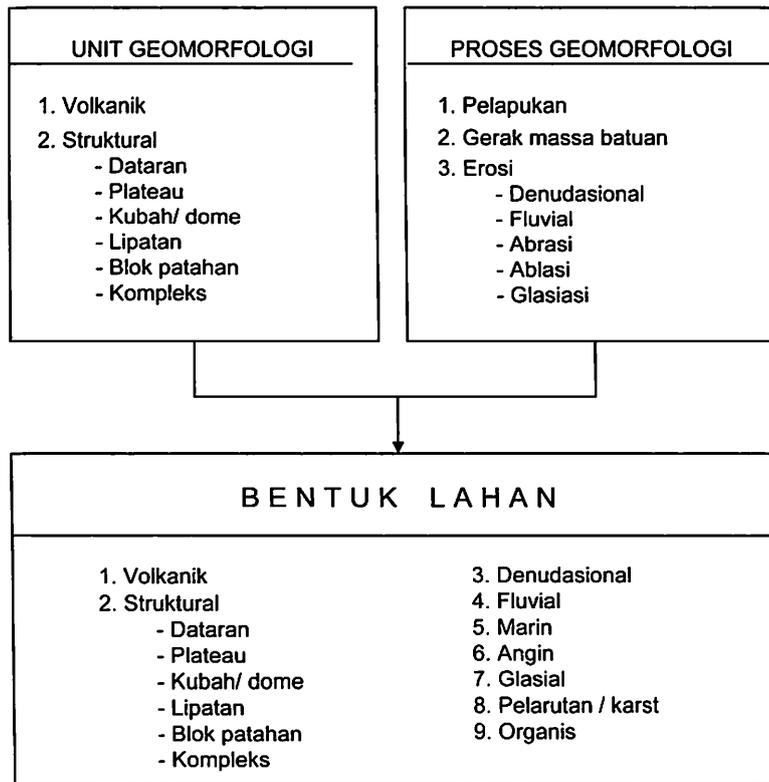
1. Bentang lahan (*Landscape*) merupakan ujud luar permukaan bumi yang dapat dilihat dengan mata dan mempunyai kesamaan karakteristik bentuk lahan, tanah, vegetasi, termasuk sifat-sifat yang dipengaruhi oleh manusia. Bentang lahan dibedakan dalam bentang lahan kultural (*cultural landscape*), bentang lahan alami (*natural landscape*).
2. Bentuk lahan (*landform*) merupakan kenampakan medan yang dibentuk oleh proses-proses alami, mempunyai komposisi, dan visual tertentu. Karakteristik fisik berupa proses vulkanik (pembentukan gunung berapi), proses diatropisme (proses kulit keras bumi yang semakin memburuk) yang menghasilkan struktur daratan, palung samodera, dataran tinggi, pegunungan, kubah, lipatan strata, dan patahan. Sifat bentuk lahan adalah destruksional,

merupakan sintesis geomorfologi, yang berasal dari proses setiap unit geomorfologi. Gambar 6.18. menunjukkan proses agradasi dan degradasi lahan untuk membentuk setiap satuan unit bentuk lahan.

3. Unit medan (*terrain unit*) adalah kompleks permukaan fisik yang dekat dengan permukaan bumi. Oleh karena itu medan merupakan komponen lingkungan fisik, baik di permukaan bumi, di dekat permukaan bumi, maupun di bawah permukaan bumi.
4. Unit lahan (*land unit*) adalah satuan lahan yang mempunyai kondisi semacam, yaitu kesamaan dalam iklim, kemiringan, relief, erosi, pola drainase, tanah, material pembentuk, vegetasi, dan penggunaan lahan (Verstappen, 1977)

Atas dasar genesa dan proses terjadinya bentuk lahan (Gambar 6.18), maka bentuk lahan dapat digolongkan menjadi 9 (sembilan) satuan bentuklahan utama, yaitu:

1. Bentukan asal vulkanik, merupakan bentuklahan yang berkaitan dengan gerakan magma naik ke permukaan bumi. Akibat dari proses ini terjadi berbagai bentukan yang secara makro disebut bentukan vulkanik. Bentuk lahan vulkanik pada skala rinci, dapat dibedakan menjadi berbagai bentuk satuan lahan antara lain kepundan, kubah/sumbat lava, perisai lava, blok lava, hamparan lahar dan lava, dike, lakolit, batolit, stock, kerucut gunung api, barancho. Bentuklahan asal vulkanik umumnya berada pada kompleks gunungapi dan sekitarnya. Namun ada beberapa bentukan yang berada terpisah dari kompleks gunung api misalnya dike, stock, dan bocca.
2. Bentukan asal struktural, yang terbentuk karena adanya proses endogen yang disebut proses tektonik. Proses ini meliputi pengangkatan, perlipatan, pensesaran, dan kadang disertai oleh instrusi magma sehingga struktur geologi tertentu atau bentuklahan yang terbentuk karena kontrol struktur geologi pada daerah tersebut.



Gambar 6.18. Proses terjadinya unit bentuk lahan. (Purwadhi, 2000)

3. Bentuk asal denudasional umumnya terdapat pada daerah berbatuan lunak dan beriklim basah karena bentuk-bentuk strukturalnya tidak dapat bertahan lama akibat proses pelapukan, erosi, gerak masa batuan dan sedimentasi. Pembagian lebih rinci atas dasar karakteristik morfometrinya, seperti relief, kelerengan dan kepadatan aliran.
4. Bentuk asal fluvial terbentuk karena proses fluvial, air permukaan yang memegang peranan penting adalah air yang mengalir di atas permukaan misalnya air sungai.
5. Bentuk asal marin, terbentuk karena pengaruh proses marin berlangsung intensif pada daerah pesisir sepanjang garis pantai, daerah pesisir merupakan daerah pantai dan sekitarnya yang masih terkena pengaruh langsung dari aktivitas marin.
6. Bentuk asal angin, berupa bentuklahan aeolin yang terbentuk oleh proses eksogenik dengan angin sebagai agen pembentuk utama. Umumnya terbentuk pada daerah kering dan terdiri dari material lepas.

7. Bentukan asal glasial, yang berkembang sebagai akibat dari glasiasi baik oleh proses penimbunan atau pengikisan oleh tubuh es (gletser) dan berinteraksi dengan kondisi lingkungan pada saat itu.
8. Bentukan asal pelarutan atau karst, adalah bentuk lahan yang terbentuk oleh proses pelarutan pada batuan yang mudah larut. Pembentukan topografi karst terjadi pada batuan yang memiliki derajat kelarutan tinggi.
9. Bentuk lahan bentukan asal organis atau kegiatan biologi yang terjadi di daratan (gambut), di pantai (bakau/ *mangrove*) dan di lautan (pulau karang)

Menurut Van Zuidam, 1985. Tingkatan informasi berdasarkan aspek geomorfologi dan bentuk lahan dapat diperoleh dari survei geomorfologi dan foto udara/data penginderaan jauh dibagi dalam lima tingkatan, yaitu morfogenesis, litologi, morfologi, morfokronologi dan morfo genesis dijelaskan pada Tabel 6.2

**Tabel 6.2.** Tingkatan informasi dalam survei geomorfologi

Tingkat Informasi	Aspek Geomorfologi Yang Sesuai	Gambaran Informasi
Tingkat 1	Morpho genesis : dapat dilihat dari beberapa indikasi morfologi	Bentuk dan unit geomorfologi
Tingkat 2	Lotologi	Morfo-struktur pasif
Tingkat 3	Morfologi (morfografi dan morfometri)	Informasi topografi dan gejala hidrologi
Tingkat 4	Morfokronologi dengan beberapa aspek morfologi dan morfo genesis	Informasi detail yang berupa bentuk lahan individual dan proses
Tingkat 5	Morfo dinamik dan hidrografik	Informasi detail dinamika morfologi dan hidrologi

Sumber : RA. van Zuidam, 1985 (diterjemahkan dengan perubahan)

### 6.3.2. Identifikasi Bentuk Lahan dari Citra

Bentuk lahan (*landform*) adalah kenampakan medan yang dibentuk oleh proses-proses alami, yang mempunyai komposisi, karakteristik fisik dan visual tertentu. Karakteristik fisik berupa proses vulkanik (pembentukan gunung berapi), proses diatropisme (proses kulit keras bumi yang semakin memburuk) yang menghasilkan struktur daratan, palung samodera, dataran tinggi, pegunungan, kubah, lipatan strata, dan patahan. Proses terjadi disebabkan oleh adanya degradasi, agradasi, dan ekstra teritorial.

1. Proses degradasi yang berupa pelarutan, gerakan massa batuan, dan erosi. Proses degradasi ini menyebabkan terjadinya bentuk lahan karst, denudasional (bukit sisa/ lapisan tanah telanjang karena tercuci). Hasil erosi air berupa fluvial, marin karena erosi gelombang atau arus, glasial (karena erosi gletser), eolian (karena erosi angin), dan organik (karbon, gambut, humus).
2. Proses agradasi adalah proses kebalikan dari degradasi. Proses agradasi merupakan penyusunan permukaan deposit sehingga terjadi timbunan-timbunan. Fluvial karena timbunan oleh air, gisik pantai oleh gelombang, moraina proses penimbunan oleh gletser, dan gundukan pasir.
3. Proses ekstra terestrial berupa karter meteorik sisa meteor yang sampai ke permukaan bumi hingga membuat lobang seperti kawah dapat dibedakan dalam tiga macam, yaitu meteorit besi (*iron meteorit*), meteorit batu (*aerolit*), meteorit kombinasi (*siderolit*).

Purwadhi (2000), mengungkapkan hasil penelitiannya tentang hubungan kriteria dan terminologi obyek pada citra penginderaan jauh untuk penilaian karakteristik unit lahan, selalu dihubungkan dengan tiga pendekatan yang disarankan oleh Zuidam (1979), yaitu (1) Tipe relief secara umum (general), (2) Tipe batuan dan sedimentasi, (3) Genesis (proses geomorfologi masa lampau & saat ini/ geologi). Hubungan dan karakteristik unit lahan dan kriteria pendekatan secara terminologi dijelaskan pada Tabel 6.3, sehingga keberadaan bentuk lahan ditentukan oleh faktor-faktor topografi, struktur/ batuan, dan proses endogenetik. Kriteria dan karakteristik tersebut untuk patokan pembuatan kunci interpretasi citra penginderaan jauh. Kunci interpretasi sebagai panduan (*guide*) dalam melakukan analisis citra, yaitu untuk menentukan klasifikasi unit lahan secara umum dan rinci menggunakan pendekatan tipe batuan dan parameter kondisi topografi. Enam karakteristik unit lahan berdasarkan terminologinya adalah

1. Daratan banjir (*floodplain*);
2. Struktur kontrol plateau batuan kapur (*structurally controlled limestone plateau*);
3. Erosi glasial pada granit (*erosian glacis on granite*);
4. Daerah pantai dan gisiknya (*coastal plain with beach ridges*);
5. Kerucut volkan strato (*cone of strato-volcano*);
6. Batuan pasir (*sandstone*).

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka sifat bentuk lahan adalah destruksional, dan merupakan sintesis geomorfologi, yang berasal dari proses setiap unit geomorfologi

**Tabel 6.3.** Terminologi karakteristik unit lahan.

No	Kriteria Bentuk Lahan	Tipe Relief Umum	Tipe Batuan Endapan	Genesis
1	Dataran rendah dan dataran banjir	Lahan dataran	Tidak kompak material klastik (pasir, gravel, silik)	Original fluvial proses sungai
2	Struktur plateau pada batuan kapur	Datar atau melengkung lebih tinggi dari sekitarnya	Batuan kapur	Struktur tipe batuan dominan berlapis-lapis batuan kapur yang resisten, proses cuaca
3	Erosi glasial pada granit	Slope landai atau cekungan rendah	Granit tertutup <i>debris</i> di drh gletser	Proses cuaca dan transport <i>debris</i> daerah arid & semi arid
4	Daerah pantai dengan gisiknya	Slope & undulasi lahan dari proses laut	Tidak kompak berupa pasir	Deposit laut, proses marin, akumulasi endapan oleh pasut, angin <i>sand dune</i>
5	Kerucut volkan strato	Terras bukit, peg & gunung api	Campuran lava, endapan abu vulkan	Original volkan, Erupsi lava
6	Batuan pasir	Curam, sangat tinggi	Lobang-lobang curam pada batuan pasir	Struktur original dan lapis batuan pasir

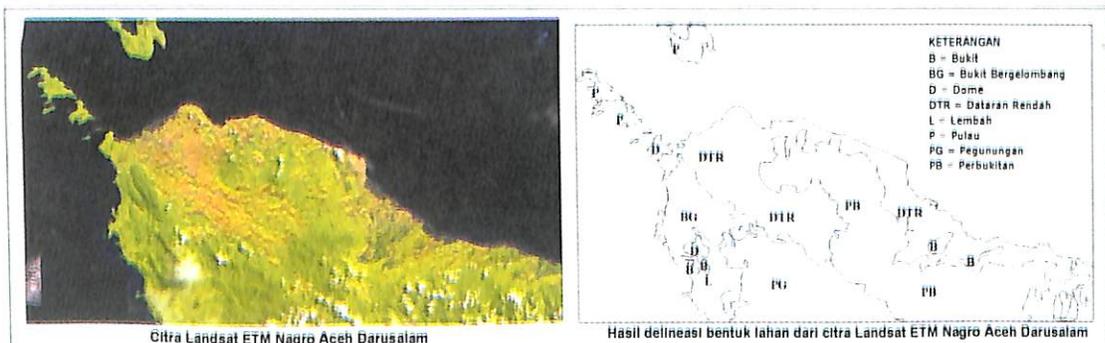
Sumber : RA. van Zuidam, 1979 (dengan perubahan hasil penelitian Purwadhi, 2000)

Sanardi Joyosuharto (1980) menjelaskan ada lima langkah yang dilakukan untuk melakukan interpretasi bentuklahan yaitu:

1. Relief atau morfologi, yang meliputi ketinggian, kemiringan lereng, *break of slope*, *platform*. Analisis foto udara pada langkah ini akan membawa interpreter dalam memberikan klasifikasi tentatif dari bentang alam (*landscape*).
2. Pola aliran (*drainage pattern*), harus diberikan pada dasar sungai atau lembah sungai, tipe sungai, danau-danau dan sebagainya. Pola aliran memberikan interpreter dasar studi yang lebih mendalam tentang litologi dan struktur dasar bagi studi yang lebih mendalam tentang litologi dan struktur geologi, seperti tipe tanah dan tipe vegetasi.

3. Vegetasi merupakan aspek penting untuk penelitian bentuklahan adalah (1) Ada tidaknya tumbuh-tumbuhan pada material khusus, misalnya jenis vegetasi jati ada di daerah gamping, duren ada di daerah vulkanis.(2) Adanya tumbuhan penunjuk, (3) Berjalur atau pola yang lain sebagai hasil dari spesies komposisi, kepadatan atau tingginya tanaman.
4. Litologi dan struktur pada karakteristik foto atau citra yang baik pada perbedaan kekasaran, seperti terlihat pada perbedaan vegetasi, morfologi, hidrologi, dan geologi/ lithologi. Perbedaan geologi dan lithologi dapat dibedakan dengan *dip* dan *strike* perlapisan, struktur perlapisan (lipatan, *flekture*), garis patahan proses-proses volkanik dan bentuk-bentuk erosi. Litologi juga memberikan informasi tentang tipe tanah, tipe vegetasi dan bentang geomorfologis.
5. Geomorfologi: bentang alam dan proses-proses. Langkah ini dapat dilihat lebih baik sebagai deduksi hasil empat langkah yang terdahulu, tetapi dianalisis dan diklasifikasikan dengan seksama. Ini seakan-akan sebagai re-interpretasi dari semua yang telah dikerjakan sebelumnya. Dengan demikian interpreter yang berpengalaman dapat mengerjakan lima langkah sekaligus.

Gambar 6.19. Delineasi secara manual bentuk lahan dari citra Landsat ETM daerah Nagro Aceh Darusalam.



Gambar 6.20. Delineasi bentuk lahan dari citra Landsat ETM.