

13

MANFAAT PENGINDERAAN JAUH DALAM PEMETAAN GEOLOGI

KARYA ILMIAH

Oleh :

IR. SUMIHAR HUTAPEA, MS
NIP : 131 257 284



UNIVERSITAS MEDAN AREA
FAKULTAS PERTANIAN
2000

MANFAAT PENGINDERAAN JAUH DALAM PEMETAAN GEOLOGI

KARYA ILMIAH

Oleh :

IR. SUMIHAR HUTAPEA, MS
NIP : 131 257 284



UNIVERSITAS MEDAN AREA
FAKULTAS PERTANIAN
2000



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan karunia-Nya lah penulis dapat membuat karya ilmiah ini.

Sistem penginderaan jauh hingga sekarang telah banyak digunakan dalam pemetaan pada berbagai bidang keilmuan termasuk geologi. Tulisan ini merupakan hasil telaahan literatur yang menyangkut manfaat penginderaan jauh pada pemetaan geologi.

Berdasarkan kaitan diantara ilmu-ilmu yang menyangkut bumi (Earth Science) serta obyek di lapangan, tampak sistem penginderaan jauh tidak saja dapat digunakan bagi interpretasi obyek yang ada di permukaan bumi, tetapi juga bagi formasi geologi, termasuk sumber mineral atau sumber minyak bumi yang berada di bawah permukaan. Salah satu kendala dalam penyusunan Karya Ilmiah ini adalah sangat terbatasnya informasi yang menyangkut geologi berkenaan dengan sistem penginderaan jauh. Oleh karenanya, hasil telaah ini belumlah merupakan hasil optimum, bahkan masih banyak kekurangan.

Dengan selesainya tulisan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dekan Fakultas Pertanian UMA Ir. Abdul Rahman, MS yang telah memberi persetujuan bagi

penulis untuk dapat membagi waktu dalam menyusun suatu "Karya Ilmiah" sebagai pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi.

Akhirnya, harapan penulis semoga tulisan ini bermanfaat bagi yang memerlukannya, walaupun laksana setitik air di atas lautan.

Medan, Juni 2000

Penulis,

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
PENDAHULUAN	1
METODE PENGINDERAAN JAUH DALAM PEMETAAN GEOLOGI ...	4
Pendekatan Spektral	4
Pendekatan Spasial	6
Aplikasi Pengamatan Lapang dan Pemetaan Geologi	10
INTERPRETASI DAN IDENTIFIKASI SATUAN GEOLOGI	13
Interpretasi Tanda-Tanda Geologik Dalam Citra	13
Identifikasi Unsur-Unsur Geologi Dalam Citra	16
PEMETAAN GEOLOGI DAN CITRA PENGINDERAAN JAUH	24
Penggunaan Beberapa Jenis Citra Untuk Pemetaan Geologi	26
Hubungan Antara Skala Peta Geologi Dengan Informasi dan Sistem Penginderaan Jauh	26
KESIMPULAN	30
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	35

DAFTAR TABEL

Nomor	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Hubungan Antara Aspek-aspek Citra dengan Sistem Penginderaan Jauh	29

DAFTAR GAMBAR

Nomor	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Bagan Tahap-Tahap Pelaksanaan Pemetaan Geologi	12

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor

Halaman

Teks

- | | |
|---|----|
| 1. Identifikasi Beberapa Tipe Batuan Beku
(Lillesand dan Kiefer, 1979) | 35 |
|---|----|

PENDAHULUAN

Permukaan bumi bersifat sangat kompleks dan bervariasi. Ia mempunyai topografi serta susunan bahan yang mencerminkan batuan dasar dan bahan padat yang terletak di bawahnya (Lillesand dan Kiefer, 1979). Permukaan tersebut mencerminkan pula agen pengubah yang telah bereaksi di atasnya. Masing-masing tipe batuan, rekahan, pengaruh gerakan internal serta gejala erosi dan deposisi mengandung jejak proses-proses yang menghasilkan tanda-tanda tersebut.

Tanda-tanda yang nampak pada permukaan bumi, dan ada kaitannya dengan unsur-unsur geologik baik langsung maupun tidak langsung telah digunakan sebagai dasar pembuatan peta geologi. Secara konvensional pemetaan geologi lebih di dasarkan pada intensitas observasi lapangan dengan bantuan peta topografi (Unesco, 1975). Hal ini menyebabkan konsumsi waktu dan tenaga cukup banyak. Apalagi jika daerah yang dipetakan sulit didatangi manusia. Di lapangan pandangan mata manusia sangat terbatas, sehingga sulit untuk melihat hubungan-hubungan tanda geologi yang bersifat regional.

Gambaran permukaan bumi yang mana mempunyai kaitan dengan unit-unit geologik direkam dalam bentuk citra foto

udara atau satelit. Dengan cara ini, daerah yang lebih luas dapat diringkaskan tanpa menghilangkan sifat-sifat penting yang berhubungan secara regional. Tanda-tanda geologik seperti jointing, atau lineament dan lain-lain, dapat tampak lebih jelas pada citra. Melalui interpretasi citra penginderaan jauh, proses pemetaan geologi dapat diperlancar (Lillesand dan Kiefer, 1979). Penginderaan jauh dapat menanggulangi kesulitan-kesulitan yang dihadapi pemetaan geologi konvensional. Konsumsi biaya dan waktu akan efektif dan efisien (Ambras, 1979). Di samping itu kualitas dan kuantitas peta yang dihasilkan tampaknya dapat ditingkatkan.

Berdasarkan kemampuan tersebut di atas, citra foto udara ataupun satelit hingga sekarang telah merupakan alat standard dalam penelitian geologi (Gastellu-Etchegorry, Van Der Meer Mohr, Handayana dan Surjanto, 1988). Di Indonesia kegiatan penginderaan jauh paling insentif dilakukan pada bidang geologi, geomorfologi, vulkanologi dan eksplorasi mineral, dengan intensitas 27,5% dari seluruh bidang kegiatan (Darmoyuwono, 1980). Menurut Lillesand dan Kiefer (1979) potret udara pertama kali dibuat untuk tujuan pemetaan geologi pada tahun 1913. Penggunaan foto udara terdahulu sebagai peta dasar untuk kompilasi data geologik, khususnya untuk penerapan

eksplorasi minyak. Sejak tahun 1940, penggunaan interpretatif foto udara untuk evaluasi dan pemetaan geologik telah menyebar luas sejalan dengan berkembangnya teknik rekaman data permukaan bumi melalui wahana satelit, maka metode serta teknik pemetaan geologi telah memanfaatkan berbagai citra tersebut baik secara spasial, spektral ataupun digital.

Tulisan ini bertujuan untuk menelaah bagaimana manfaat penginderaan jauh dalam bidang geologi. Hal-hal apa saja yang harus dilakukan dalam pemetaan geologi. Bagaimana hubungan antara skala pemetaan dengan tujuan pemetaan. Bagaimana cara mengidentifikasi satuan-satuan dan struktur geologi dari citra penginderaan jauh, dan lain sebagainya.

METODE PENGINDERAAN JAUH DALAM PEMETAAN GEOLOGI

Dalam usaha interpretasi data penginderaan jauh serta identifikasi satuan-satuan geologik yang lain akan di petakan. Gastellu-Etchegorry et al (1988) mengemukakan dua pendekatan untuk mengekstrak informasi yang diperlukan dari citra. Pendekatan tersebut adalah pendekatan spektral dan pendekatan spasial. Jika sarana komputer tersedia bagi kegiatan interpretasi penginderaan jauh, maka pendekatan digital dapat dilakukan khususnya untuk deleniasi satuan-satuan peta geologi (Goetz, 1979).

Pendekatan Spektral

Pendekatan spektral didasarkan pada tanda spektral yang terekam berkaitan dengan obyek yang akan diklasifikasikan. Pada pemetaan geologi hal ini jarang membawa hasil yang baik jika spektral yang dimaksud adalah spektral murni (Gastellu-Etchegorry. et al, 1988). Alasannya karena tanda spektral yang terekam tidak memiliki gejala batuan yang ada di bawahnya. Namun, bila unsur geologi tersingkap atau muncul ke permukaan bumi situasinya berbeda. Walaupun demikian, masih mengandung masalah dasar yaitu, terdapat variasi besar dalam tipe batuan, dan tanda-tanda spektral terkam jarang menunjukkan

pemisahan yang jelas. Dengan demikian, keputusan tidak dapat diambil untuk mengidentifikasi batuan hanya berdasarkan pada analisis spektral.

Teknik yang bersifat tidak langsung seperti geobotani dapat berguna untuk memperoleh informasi tentang geologi di bawahnya. Hal ini penting bagi daerah seperti di Indonesia yang mempunyai penutup utama vegetasi. Hubungan antara vegetasi dengan lingkungannya digunakan untuk mengidentifikasi jenis vegetasi yang berasosiasi dengan satuan-satuan batuan dasar tertentu dan sisa hasil hancuran, untuk mengenal pola distribusi vegetasi yang menunjukkan urutan stratigrafik atau batuan dan struktur ekologi. Di samping itu, hubungan tersebut juga untuk mengidentifikasi jenis tanaman yang berlainan berkaitan dengan batuan dasar yang dimineralisasi (Cole, 1984 dalam Gastellu-Etchegorry, et al, 1988).

Evaluasi penyebaran vegetasi pada umumnya dibantu oleh penelitian-penelitian geokimia, biokimia, dan geomorfologik. Digabungkan dengan resolusi spasial dan spektral yang lebih baik yang sekarang telah tersedia, maka pengukuran reflektan dapat menjadi sumber data yang berguna bagi bidang pemetaan geologi.

Pendekatan Spasial

Pendekatan spasial berkaitan dengan ruang di daerah yang terekam oleh citra. Kegunaannya akan sangat ditentukan oleh kemampuan analisis geomorfologi. Proses geomorfologi bervariasi cukup besar dengan lokasi dan iklim. Analisa geomorfologi dari lanskap yang mencakup pengenalan pola dan klasifikasi bentuk lahan dengan pandangan yang ringkas, dapat menghasilkan informasi yang lebih berguna mengenai batuan dan struktur geologi. Hal ini sangat berguna teristimewa bila observasi citra bersifat stereoskopik.

Pengukuran variasi-variasi dalam data spasial adalah istilah teknik untuk jenis analisis ini. Sistem mata otak manusia sangat baik beradaptasi khususnya terhadap analisis ruang. Jika interpretasi mempunyai prinsip-prinsip pengetahuan mengenai geomorfologi dan struktur geologi, maka analisis visual citra merupakan cara yang efektif dan efisien dalam menyadap informasi geologi dari citra.

Sebagai kunci utama interpretasi pada pendekatan spasial adalah membeda-bedakan berbagai kerapatan tone/warna (tanah, vegetasi), pola (drainase, vegetasi dan sebagainya). Perlu diketahui bahwa "kerapatan" parameter secara langsung atau tidak langsung tergantung

pada reflektifitas spektral obyek yang diindera. Pendekatan geomorfologik dengan analisis kerapatan parameter merupakan pendekatan tak langsung. Hasilnya akan tergantung pada ada tidaknya korelasi antara gejala-gejala geomorfologik dan distribusi spasial kerapatan parameter.

Tampaknya belum ada patokan dalam analisis citra secara sistematis. Namun, idealnya urutan analisis adalah deteksi, kategorisasi dan identifikasi. Deteksi adalah proses selektif, dimana peneliti memilih obyek yang diamati, mencoba membedakan sasaran (obyek) dari latar belakangnya. Melalui pemilihan (segmentasi) citra asli, wilayah atau satuan-satuan yang berkaitan dengan berbagai bentukan geologik diberi tanda dan dideliniasi. Beberapa satuan tersebut mempunyai gejala-gejala khusus yang dapat dikenal secara spontan. Selanjutnya interpreter dapat secara langsung mengidentifikasinya dan memberikan nama sebenarnya pada satuan tersebut. Dalam hal tertentu mungkin saja identifikasi tak dapat dilakukan, misalnya bila tidak ada data penciri.

Dalam semua hal, perlu dilakukan kategorisasi satuan-satuan. Kategori disini didefinisikan sebagai pilihan (subset) dari citra, yang mana tidak overlap dengan subset lain dan yang dianggap sebagai satuan

geologik, apakah satuan struktural atau litologik. Batas kategori akan bersesuaian dengan batas geologik, apakah bersifat struktural atau litologik. Selanjutnya harus dilakukan korelasi antara kategori-kategori yang identik secara geologi. Hal ini hanya mungkin jika satuan-satuan mempunyai ciri-ciri yang dapat dibedakan dalam tone, tekstur, pola, bentuk dan orientasi. Korelasi dapat bervariasi dari yang tidak mungkin hingga sangat bisa diandalkan tergantung pada tipe-tipe terrain dan konfigurasi geologik. Tanpa cek lapangan berikutnya, korelasi harus selalu diklasifikasikan tentatif atau sementara.

Tahap penting selanjutnya dalam analisis citra adalah identifikasi satuan-satuan. Identifikasi hanya mungkin jika gejala-gejala penciri cukup terdeteksi. Gejala penciri didefinisikan sebagai gejala yang berhubungan secara unik dengan satu dan hanya satu perwujudan geologik. Sebagai contoh misalnya kehadiran sinkhole dan karst adalah gejala penciri yang secara unik menunjukkan adanya batuan dapat larut.

Dalam usaha menyambungkan gejala-gejala penciri dengan satuan geologik, formulasi kelas atau kelas-kelas dari satuan-satuan geologik yang berkaitan harus dilakukan secara hati-hati. Konsep hubungan kelas ini merupakan

peran penting yang merupakan bagian esensial dari proses berfikir interpreter. Dalam prakteknya, identifikasi semua kategori secara lengkap jarang terjadi. Hal tersebut banyak tergantung pada konfigurasi terrain spesifik dan geologi daerah yang diobservasi. Pengetahuan khusus dan umum serta pengalaman interpreter berperan sangat penting dalam identifikasi dan kategorisasi.

Dalam arti pragmatik, proses identifikasi terdiri dari tiga aktifitas yang berbeda, yang satu sama lain saling melengkapi. Yang pertama disebut pengenalan spontan. Hal ini terjadi karena mekanisme ingatan interpreter, yang sudah begitu mengenal dengan baik gejala geologik tertentu. Ia pun mengidentifikasi gejala tersebut melalui pengenalan spontan. Dalam hal ini, tak perlu adanya proses berpikir analisis untuk mengambil keputusan.

Tipe identifikasi yang kedua adalah disebut "Kesimpulan". Hal ini dilakukan bila tidak bisa melalui pengenalan-pengenalan spontan. Interpreter harus mengarahkan prinsip dasar alasan (deduksi dan induksi) dalam mengidentifikasi obyek. Bagian dari proses identifikasi ini sangat berguna dan sangat banyak berhubungan dengan proses berpikir secara umum. Keahlian hanya bisa diperoleh dari latihan yang terus menerus.

Tipe identifikasi yang ketiga disebut "Pembuktian Eksternal". Ini artinya bahwa interpreter harus sering mencari informasi yang tidak dapat diperoleh dari citra. Pembuktian eksternal disebut juga data penyokong yang dapat diperoleh apakah dari cek lapang, atau sumber informasi yang ada seperti peta-peta dan laporan-laporan. Dari pembicaraan sebelumnya jelas bahwa prosedur analisis standard mencakup ketiga mode identifikasi tersebut di atas. Dalam prakteknya, pekerjaan lapang sering merupakan bagian utama dari interpretasi citra.

Aplikasi Pengamatan Lapang dan Pemetaan Geologi

Salah satu metode pengamatan lapang dan kaitannya dengan pembuatan peta geologi dikemukakan oleh Gupta dan Raj (1987) dalam pemetaan lokasi bahan-bahan konstruksi di Kota Bangalore yang menggunakan data TM Landsat. Prinsip-prinsip yang digunakan tampaknya bersifat umum, dalam arti bisa diterapkan penggunaan citra lainnya. Secara umum langkah-langkah metode tersebut dapat ditemukan sebagai berikut :

- (1) Citra penginderaan jauh disesuaikan/digabungkan dengan peta topografi (skala 1 : 50.000).
- (2) Teknik interpretasi citra standard dilakukan mengidentifikasi obyek yang di petakan.

- (3) Pengecekan dilakukan dalam rangka menanggihkan sifat-sifat yang diinterpretasi pada citra. Peta topografi digunakan pula sebagai pembantu, termasuk untuk perencanaan perjalanan cek lapang.
- (4) Obyek-obyek yang telah jelas diidentifikasi, selanjutnya didelineasi.
- (5) Sifat-sifat yang masih meragukan diidentifikasi dan selanjutnya dilakukan pengecekan lapang.
- (6) Pembuatan peta hasil interpretasi.

Secara Bagan, urutan pemetaan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahap-tahap Pelaksanaan Pemetaan Geologi

INTERPRETASI DAN IDENTIFIKASI SATUAN GEOLOGI

Interpretasi Tanda-tanda Geologik Dalam Citra

Pemetaan geologik mencakup identifikasi bentuk-bentuk lahan, tipe batuan, dan struktur batuan (lipatan, patahan, rekahan) dan penggambaran satuan-satuan serta struktur geologik pada peta atau display lain (Lillesand dan Kiefer, 1979). Pada geologik harus menunjukkan hubungan ruang yang sebenarnya dari satuan struktur geologik tersebut.

Pada umumnya batuan yang membentuk formasi atau struktur geologik berada di bawah lapisan tanah dan vegetasi yang tumbuh di atasnya. Artinya, kita tidak dapat mengidentifikasi secara langsung terhadap batuan-batuan penyusun, kecuali pada tempat-tempat tertentu dimana batuan muncul di permukaan bumi. Namun, seperti telah dikemukakan sebelumnya bahwa satuan dan struktur geologi sering berkorelasi dengan kenampakan di permukaan. Lillesand dan Kiefer (1979) mengemukakan bahwa seorang yang ingin menggambarkan dan menerangkan bahan-bahan struktur bumi harus memahami prinsip-prinsip geomorfologi. Ia juga harus mampu mengenal ekspresi permukaan dari berbagai bahan dan struktur di bawah ini.

Gastellu-Ethegorry, et al (1988) menyatakan bahwa obyek-obyek geologik dasar seperti jejak litologik, formasi litologik, dip, rekahan dan struktur lingkaran dicirikan oleh ekspresi geomorfologik dan bentuk khusus. Fenomena tersebut merupakan dasar dari pada interpretasi citra penginderaan untuk kepentingan geologik. Sementara itu, Hardy (1989) menyatakan bahwa gambaran ringkas bentuk dalam suatu areal bersama-sama dengan beberapa hal untuk lahan detail sering memberikan kunci terhadap tanda-tanda lain yang dipelajari seperti geologi, hidrologi, penggunaan lahan, vegetasi.

Sudrajat (1979) mengidentifikasi batuan vulkanik dan analisis geologik dan regional dari citra Landsat di daerah Jawa Timur dan Nusa Tenggara. Identifikasi batuan vulkanik di dasarkan pada ekspresi morfologi drainase, topografi, tingkat erosi, pengaturan tone dan penutupan vegetasi. Dalam penelitian tersebut satuan batuan vulkanik dibedakan berdasarkan unsur letusan. Hal yang agak berbeda dilakukan oleh Hartono dan Baharuddin (1987) dalam pemetaan terrain vulkanik kuarter kompleks gunung Willis dengan menggunakan foto udara. Mereka melakukan klasifikasi morfostratigrafik. Dalam hal ini urutan lengkap yang dibentuk oleh tiap aktifitas erupsi dari tertua hingga termuda. Pada penelitian tersebut tampak

bahwa Landskap hasil suatu unit erupsi atau fase erupsi bercirikan khusus atau berpenampilan topografik khusus. Jadi, landskap yang dibentuk satu unit/ fase erupsi akan berbeda dengan landskap hasil erupsi lain, sebelum atau sesudahnya. Selanjutnya, untuk mengidentifikasi bahan deposisi vulkanik yang berbeda unsur tersebut dapat dikenal dari pola drainase.

Pemetaan lokasi bahan-bahan bangunan telah dilakukan oleh Gupta dan Raj (1987) dengan menggunakan data Landsat Tematik Mapper. Mereka menginterpretasi berdasarkan kunci standar yaitu warna, tekstur, topografi, ukuran, pola, asosiasi, bayangan dan sebagainya. Jenis-jenis bahan bangunan yang dipetakan menurut lokasinya adalah batuan granit genesis, laterit, pasir, liat dan dolerit dike. Dari citra landsat tematik mapper berwarna palsu yang diperbesar 16 kali (skala 1 : 62.000) diketahui bahwa warna dan tone merupakan kunci interpretasi yang penting bagi unsur-unsur geologik tersebut. Sementara itu Suwiyanto (1987) melakukan eksplorasi geologi di Jawa Tengah dan Jawa Timur berdasarkan citra ERST-1. Ia mengatakan bahwa distribusi dideliniasi fisiografik yang diusulkan van Bemelen (1949) dapat dideleneasi dengan baik pada citra skala 1 : 100.000. Selanjutnya, ia melakukan identifikasi satuan-satuan bahan didasarkan

pada pengelompokan satuan-satuan yang tampak sama. Satuan-satuan yang berbeda di dasarkan pada tone kelabu, tekstur, derajat erosi, pola drainase, bentuk dan warna struktur dalam dan sebagainya.

Dari berbagai penelitian dapat disimpulkan bahwa interpretasi citra untuk identifikasi satuan-satuan dan struktur geologi dilakukan melalui penelusuran keadaan topografi, pola drainase, pola erosi, tone, land use dan ciri-ciri geomorfik lainnya. Untuk tanda-tanda yang berbentuk garis apakah lurus atau lengkung seperti patahan-patahan, punggung atau lineament-lineament biasanya dapat langsung tampak pada citra. Hal tersebut mencakup juga sungai-sungai. Kasus khususnya pada citra MSS, manipulasi atau pemilihan band dalam kaitan dengan perolehan citra mempertegas bentuk-bentuk geomorfologik tersebut. Dalam interpretasi citra, sering juga dilakukan teknik penggunaan berbagai citra dan membandingkan citra yang berobyek sama tetapi berbeda waktu.

Identifikasi Unsur-unsur Geologi dalam Citra

Untuk memetakan keadaan geologi suatu daerah maka sebelumnya harus diketahui atau ditentukan lebih dahulu satuan-satuan geologik mana yang akan dipetakan. Satuan-satuan tersebut biasanya sangat tergantung pada tujuan

pemetaan, skala peta, dan keadaan geologik daerah yang dipetakan. Dari berbagai literatur tampaknya satuan-satuan geologik yang diidentifikasi cukup bervariasi pada tingkat skala pemetaan yang sama.

Jika satuan geologik didasarkan pada asal batuan maka identifikasii ditentukan pada jenis-jenis batuan beku, sedimen, dan metamorf. Untuk masing-masing asal batuan mencakup tipe-tipe batuan yang beragam cukup besar. Batuan beku dapat dikelompokkan ke dalam dua golongan besar yaitu batuan beku intrusif dan batuan beku ekstrusif (Lillesand dan Kiefer, 1979). Selanjutnya batuan beku intrusif dapat dibedakan menjadi batuan granitik, basaltik dan intermedier. Sementara itu, batuan ekstrusif pada pokoknya terdiri dari aliran lava dan bahan-bahan piroklastik seperti sinder dan abu vulkanik.

Sementara itu, tujuan interpretasi foto udara Lueder (1959) mengemukakan batuan beku tersebut di bagi ke dalam batuan-batuan intrusif dan plutonik (granitoid dan porfiritik) bertekstur eukristalin, batuan efisif (felsitik glassy, cellular dan sebagainya) yang bertekstur diskristalin serta batuan eflata yang bersifat fragmental (breksi, tuf dan abu). Batuan intrusif dan plutonik terdiri dari granit, slenit, diorit, gabro, peridotit dan sebagainya : varietas porfiritiknya, serta

turunan kombinasi porfiritik dengan ziolit, trakhtit, dasit, andesit, basalt dan sebagainya yang berbutir halus. Ringkasnya, kelompok batuan tersebut terdiri dari group-group yang sangat beraneka ragam.

Untuk tujuan identifikasi batuan beku intrusif, Lillesand dan Kiefer (1979) telah mengemukakan semacam penuntun atau kunci interpretasi khususnya bagi batuan granitik yang merupakan golongan terbesar pada kelompok batuan tersebut. Uraian penciri batuan yang tampak pada citra disajikan pada Lampiran 1. Sementara itu, Leuder (1959) mengemukakan bahwa tubuh batuan granitik umumnya dicirikan oleh ukuran yang besar, batas-batas lengkung halus (kecuali pada patahan). Sering batas-batas tersebut menggambarkan daerah yang masif, bukit-bukit berbentuk kubah yang mempunyai puncak bundar dan lereng yang curam. Kenampakan bentuk kubah nampak sangat tipikal. Jika lapisan tanah tipis atau tidak ada ciri rekahan-rekahan lengkung yang berpola tak teratur merubah permukaan yang halus, bukit stratifikasi jelas tidak ada.

Selanjutnya dikemukakan bahwa pola drainase permukaan cukup baik terintegrasi, tidak teratur (nonoriented) dan kerapatannya bervariasi (tergantung pengaruh iklim). Saluran-saluran cenderung berbentuk pudar pada daerah datar. Pertemuan anak-anak sungai

dengan sungai utama cenderung menyerupai siku-siku tetapi di daerah hulu agak lancip. Tone batuan granitik kelabu terang, yang mana diharapkan sebagai akibat mineral-mineral berwarna terang yang menonjol. Sementara itu, vegetasi bervariasi tetapi biasanya tidak subur. Penggunaan produktif seluruhnya hingga puncak bukit.

Ciri-ciri batuan efusif lava dalam citra menurut Leuder (1959) antara lain bertopografi datar sampai tidak datar. Paling umum adalah topografi datar sehingga merombak. Pola drainase permukaan bisa tidak ada karena saluran-saluran porous, dan bisa juga mempunyai tipe yang sejajar sebagai cerminan aliran asal. Tingkat erosi belum nyata. Aliran lava mempunyai tone sampai sangat gelap, sering dengan sejumlah motling dari area terang dan gelap. Vegetasi sangat bervariasi, di daerah arid sangat jarang sedangkan di daerah humid cukup kaya vegetasi khususnya bila tanah cukup tebal.

Selanjutnya dikemukakan bahwa identifikasi reolit dan andesit jauh lebih sulit dari pada basalt dan lava segar. Salah satu ciri yang menonjol dari reolit adalah kecenderungan berkembang agak luas, dengan pola drainase lengkung. Tone umumnya lebih terang dari pada basalt karena kandungan asam silikat yang tinggi. Sementara itu, andesit dan tipe batuan lainnya mempunyai ciri yang

bervariasi antara reolit dan basalt. Variasi terjadi pada selang tone, kerapatn drainase dan bentuk topografik. Tipe batuan ini sering saling melapis (interbeded) satu sama lainnya seperti deposit fragmental.

Untuk batuan eflata, ciri utamanya adalah topografi tertoreh, sangat kasar, dengan puncak yang tajam dan lereng biasanya curam. Pola drainase tak teratur, rapat, seragam, dan terintegrasi baik. Tone bervariasi, tergantung pada komposisi dan penutup vegetasi.

Batuan sediment terdiri dari tipe-tipe batuan pasir, shale, dan kapur. Menurut Lillesand dan Kiefer (1979) batuan ini muncul di permukaan bumi, dan meluas kira-kira 75%, sedangkan batuan beku 20% dan batuan metamorf 5%. Sebagai dasar penciri pada kenampakan foto udara bagi batuan sedimen adalah bedding, jointing dan ketahanan terhadap erosi. Secara tipikal batuan ini terstratifikasi atau berlapis-lapis akibat hasil proses deposisi yang bervariasi. Penuntun umum identifikasi beberapa batuan sedimen dari foto udara menurut Lillesand dan Kiefer (1979) disajikan pada Lampiran 1.

Menurut Leuder (1959) jika lapisan-lapisan batuan sedimen miring, maka identifikasinya hampir otomatis (mudah). Tetapi, jika lapisan-laipisan adalah horizontal

atau agak miring, maka identifikasi stratifikasi sering mengalami kesulitan.

Identifikasi batuan metamorf dari foto udara sangat tidak tetap (Leuder 1959). Hal yang hampir sama dikemukakan oleh Lillesand dan Kiefer (1979) yang menyebutkan bahwa identifikasi batuan metamorf sangat sulit dan belum stabil. Pada umumnya mereka memiliki ciri-ciri batuan dari mana mereka diturunkan. Ciri-ciri tambahan mencerminkan proses metamorfisme. Hanya beberapa jenis batuan metamorf yang telah dilakukan pendekatan interpretasi foto udara, yaitu slate, serpentinit dan kuarsit. Perhatian terhadap penelitian batuan metamorf berkaitan dengan foto udara sangat kurang dibandingkan dengan tipe batuan lainnya. Oleh karenanya belum ada penuntun identifikasi bagi batuan metamorf tersebut.

Obyek-obyek geologi dasar lainnya yang dapat dipetakan menurut Gastellu-Etchegorry et al (1988) adalah jejak litologik, dip, rekahan, lipatan dan struktur-struktur, yang dicirikan oleh ekspresi geomorfologik dan bentuk spesifik. Ciri-ciri bentuk dan konfigurasi dalam, serta ekspresi geomorfologik dari gejala-gejala geologik tersebut adalah sebagai berikut :

1. Jejak litologik : Hasil dari ketidak sinambungan dalam tanah, biasanya berbentuk garis berkelok-kelok

agak sejajar satu sama lain. Kadang-kadang tampak seperti garis-garis puncak kecil atau jurang-jurang yang berbeda.

2. Formasi batuan : Mereka selalu mempunyai kenampakan geomorfik yang kuat, yang dihasilkan erosi dan deposisi. Erosi menekankan heterogenitas batuan.
3. Dip : Deteksinya biasanya hanya perkiraan, apakah melalui pendekatan geomorfologik murni dengan pengenalan backslope, atau melalui pola bentuk V dan platiron-platiron yang ditunjukkan oleh batas-batas atau tanda geologi jika memotong bed sungai atau punggung bukit.
4. Patahan, joint, dan lineament. Determinasinya yang tepat tergantung pada gejala-gejala geologik atau pola-pola khusus.
5. Lipatan : Pengenalannya dapat dilakukan melalui pendekatan geomorfologik atau melalui pola-pola obyek geologik dasar yang lain, seperti penempatan dip, kemunculan simetris dari lapisan-lapisan, struktur yang agak melingkar.
6. Gejala-gejala lingkaran : Observasinya sepenuhnya atas pengenalan pola lingkaran.
7. Lahan-lahan vulkanik : Mereka menunjukkan ekspresi geomorfologik yang kuat.

8. Gunung, aliran, dyke : Mereka dicirikan oleh lanskap tipikal mereka masing-masing.
9. Kompleks Plutonik : Mereka dibedakan terutama pada pengenalan struktur lingkaran.

Disamping obyek-obyek geologi yang telah disebutkan di atas, sebenarnya masih banyak obyek yang bisa dikenali dan bisa dipetakan dari interpretasi citra. Seperti telah dikemukakan sebelumnya obyek-obyek atau satuan geologi tersebut sangat tergantung pada tujuan pemetaan, skala pemeta dan kondisi lingkungan. Tujuan pemetaan akan mengarahkan kepada interpreter untuk memilih obyek-obyek geologi yang dikehendaki pada peta yang akan dihasilkan. Sedangkan skala peta akan berpengaruh terhadap resolusi spasial atau spektral yang berkaitan dengan kemampuan pengenalan obyek-obyek geologi secara kualitatif/kuantitatif. Sementara itu kondisi lingkungan berpengaruh dalam hal kreatifitas interpreter/ peneliti untuk membuat satuan-satuan peta geologi yang sebaiknya dibuat. Sebagai contoh misalnya keadaan lithologi di daerah yang akan dipetakan adalah sama, namun dari segi aktifitas erupsi terdapat perbedaan waktu. Keadaan demikian, kita bisa menetapkan satuan-satuan atau obyek geologi berdasarkan umurnya.

PEMETAAN GEOLOGI DAN CITRA PENGINDERAAN JAUH

Manfaat Beberapa Jenis Citra Untuk Pemetaan Geologi

Untuk keperluan pemetaan geologi, menurut Sudrajat (1979) tidak semua citra penginderaan jauh dapat dimanfaatkan. Ia mengemukakan beberapa jenis yang dapat dipakai untuk intrerpretasi satuan-satuan geologi antara lain potret hitam putih, citra merah infra, potert berwarna, citra radar, dan citra satelit. Potret hitam putih mencerminkan apa yang terdapat di permukaan bumi secara keseluruhan. Oleh karenanya gejala-gejala geologi seperti pola pengaliran dan pola struktur yang biasanya terganggu oleh tanah dan vegetasi penutup lebih mudah diteliti.

Citra merah infra mampu membedakan rona akibat perbedaan temperatur sekecil 0.5°C . Citra ini dapat membedakan tubuh air dan dataran, sehingga dapat dimanfaatkan bagi penyelidikan hidrologi, geohidrologi dan hidrografi. Daya tembus sinar merah infra yang tinggi terhadap partikel-partikel dalam atmosfer menyebabkan kontras benda-benda bertambah besar, dan kenampakan benda bertambah jelas.

linear seperti patahan dan rekahan mudah di deliniasi pada citra radar.

Citra satelit seperti ERST-1, Landsat, Spot dan lain-lain telah banyak digunakan untuk tujuan pemetaan geologi. Kadang-kadang gejala geologi tertentu tidak tampak pada foto skala besar. Tetapi dengan citra satelit gejala tersebut dapat lebih tampak. Menurut d'Audretsch (1978) manfaat citra satelit adalah pandangan yang ringkas yang membawa kepada pengenalan struktur utama serta lineasi-lineasi yang mana dapat membawa kepada penemuan deposit mineral atau sumber minyak. Namun batasan yang serius adalah tidak adanya dimensi ketiga pada citra monoskopik kecuali citra spot.

Hubungan Antara Skala Peta Geologi Dengan Informasi dan Sistem Penginderaan Jauh

Dari berbagai literatur tampaknya belum ada perincian secara jelas antara hubungan skala peta geologi dengan informasi yang dikandungnya serta sistem penginderaan jauh yang digunakan. Pada umumnya, penelitian geologi bersifat reconaisance. Hal ini mungkin berkaitan dengan sifat distribusi struktural dan geologik yang bersifat lebih regional.

Klasifikasi peta yang cukup baik dapat dijumpai pada peta-peta geologi teknik. Hal ini dapat dipahami karena

peta-peta tersebut berkaitan dengan pemakaian secara praktikal seperti pembuatan gedung, jalan, jembatan, lapangan terbang dan sebagainya. UNESCO (1975) mengemukakan klasifikasi peta geologi semacam itu berdasarkan tujuan, isi, dan skalanya. Peta berdasarkan skalanya terdiri dari (1) Skala Besar ($> 1 : 10.000$), (2) Skala Sedang ($1 : 10.000$ dan $1 : 100.000$) dan (3) Skala Kecil ($< 1 : 100.000$).

Informasi pada skala besar disajikan berdasarkan penelitian dan pemetaan secara detail, dengan menggunakan semua bahan arsip-arsip yang ada, pekerjaan geofisik dan eksplorasi bawah permukaan yang sistematis dan hasil uji laboratorium. Dalam hal ini perlu mengemukakan sifat kimia fisik semua satuan dan batuan yang ada di dalam peta.

Pada peta skala sedang tujuannya adalah memberikan informasi yang mencakup banyak aspek geologi teknik untuk berbagai perencanaan dan tujuan-tujuan teknik. Sementara itu, yang dikandung berupa kompleks-kompleks lithologik atau tipe-tipe lithologik seperti kompleks batu pasir dengan tipe-tipe batu pasir berkapur, batu lumpur dan batu debu. Sementara itu, peta skala kecil didasarkan pada komplikasi yang tersedia, literatur dan dokumen-dokumen/arsip-arsip. Pada penelitian lapangan yang kurang, peta-peta dibuat dari interpretasi foto geologi dan

pemetaan reconaisance. Informasi yang dikandung oleh peta skala kecil berupa distribusi dan ciri kompleks lithovacial dan lithogenetik dari batuan. Batuan dasar serta deposit di permukaan perlu dikemukakan. Sebagai contoh dapat dikemukakan kompleks konglomerat, batu pasir dan batu lumpur.

Menurut Rangers (1979) untuk skala 1 : 10.000 samapai 1 : 50.000 tipe pemetaan berupa kompilasi dan kombinasi data geologik dan geomorfologik. Peta tersebut digunakan sebagai dasar perencanaan penelitian reconaisance. Satuan bahan terdiri dari lithologi, geologi struktural, dan patahan besar dan sebagainya.

Bila pemetaan geologi dikaitkan dengan teknik penginderaan jauh sebagaimana telah dikemukakan sebelumnya tidak semua citra dapat dimanfaatkan untuk pemetaan geologi. Atau, tidak semua teknik penginderaan jauh dapat diterapkan dalam penelitian geologi. Rangers (1979) mengemukakan bahwa hasil terbaik tentang informasi yang berguna diharapkan diperoleh dari citra yang dapat diobservasi secara stereoskop, skala relatif besar, reduksi baik dan geometri baik. Pada Tabel 1 dikemukakan hubungan antara aspek-aspek citra dengan sistem penginderaan jauh berkaitan dengan informasi yang mungkin diperoleh.

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa, informasi yang paling baik diperoleh dari foto udara. Radar walaupun sering dikatakan sangat baik dalam penggambaran struktural, tetapi untuk informasi yang lain sangat kurang. Berdasarkan sifat-sifat hubungan tersebut penggunaan kombinasi berbagai peta diharapkan dapat lebih menambah kualitas informasi yang diharapkan. Selanjutnya dikemukakan oleh Rangers (1979) bahwa urutan informasi dari yang terbaik hingga terburuk pada skala citra 1 : 10.000 - 1 : 50.000 adalah foto udara > satelit "MSS" > radar udara > foto satelit > MSS udara = foto darat.

Tabel 1. Hubungan antara Aspek-aspek Citra dengan Sistem Penginderaan Jauh

Aspek Citra	Fotografi			MSS		Radars
	Satelit	Udara	Darat	Satelit	Udara	Darat
Skala	1:1.000.000	1:5.000	1:1	1:250.000	1:5.000	1:100.000
		1:60.000	1:500	1:1.000.000	1:50.000	1:250.000
Resolusi	0	++	++	-	0	-
Geometri	++	++	+	++	-	0
Relief	Non stereo	++	++	Non stereo	Non stereo	0
Informasi Spektral	0/+	+	+	++	++	-

Keterangan: - : rendah + : baik
 0 : sedang ++ : sangat baik

KESIMPULAN

Sistem penginderaan jauh telah lama dimanfaatkan dalam penelitian dan pemetaan geologi. Satuan-satuan geologik yang pada umumnya menyebar secara regional lebih mudah diobservasi melalui teknik perekaman citra foto udara ataupun satelit yang mampu meringkas gambaran terrain yang cukup luas. Gejala-gejala geologik yang terbentuk garis linear, tingkat atau lineament-lineament sering nampak hubungannya secara ruang melalui citra skala kecil dibandingkan citra skala besar. Dengan demikian sistem penginderaan jauh telah memberikan peningkatan efektifitas dan efisiensi waktu dan biaya dalam pemetaan geologi.

Metode analisis citra penginderaan jauh dalam rangka interpretasi dan identifikasi gejala-gejala geologi dapat dilakukan melalui pendekatan spektral dan pendekatan spasial. Pendekatan spasial selama ini berperan paling besar dalam pemetaan geologi. Sebagai patokan dalam analisis citra penginderaan jauh adalah deteksi, kategorisasi dan identifikasi. Hal ini bisa langsung ke tahap identifikasi bila obyek dapat dikenal secara spontan. Tahap kategorisasi adalah suatu proses pengkelasan kearah satuan-satuan yang dapat didelineasi

sebagai satuan geologik. Sedangkan tahap identifikasi adalah proses penentuan nama-nama sebenarnya dari satuan geologik.

Interpretasi dan identifikasi gejala geologik dalam citra penginderaan jauh pada dasarnya dikaitkan dengan prinsip-prinsip geomorfologi dan bentuk-bentuk khusus. Dalam hal ini, interpretasi dan identifikasi obyek-obyek geologi ditelusuri melalui observasi sifat-sifat topografi, pola drainase, pola erosi, tone, land use, dan ciri-ciri geomorfik lainnya. Pengetahuan khusus dan umum, pengalaman dan latihan terus menerus sangat berperan dalam identifikasi obyek.

Untuk keperluan pemetaan geologi tidak semua citra penginderaan jauh dapat digunakan. Beberapa jenis yang bisa dipakai antara lain potret udara hitam putih, infra merah, berwarna, citra radar dan citra satelit. Potret udara hitam putih memberikan informasi geologi yang lebih baik dibandingkan dengan aspek-aspek citra (skala, resolusi, geometri, relief dan informasi spektral), diharapkan urutan informasi foto udara > MSS Satelit > radar udara > foto satelit > MSS udara = foto darat pada skala citra 1 : 10.000 - 50.000.

Pada umumnya pemetaan geologik bersifat reconnaissance, sehingga kategorisasi dalam skala peta dan

3

satuan-satuan peta belum ada perincian secara konsisten dikaitkan dengan informasi yang dikandungnya serta sistem penginderaan jauh yang digunakan. Namun, pada peta geologi teknik klasifikasi peta telah cukup baik, walaupun tanpa mengaitkan dengan sistem penginderaan jauh. Dalam hal ini berdasarkan skalanya peta dapat dibagi menjadi peta skala kecil ($< 1 : 10.000$), dan peta skala sedang ($> 1 : 10.000$ dan $1 : 100.000$) dan peta skala besar ($> 1 : 10.000$). Makin besar skala peta informasi geologi semakin detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrams, M.J. 1979, Lithologic Mapping. In Siegal, B.S. and A. R. Gillespic (Ed). Remote Sensing in Geology. John Wiley and Sons, New York.
- d'Andretsch, F.C. 1978. Satelite Surveying in Resource Management. International Symposium : Integrated Surveys in Resource Management, Manila : 12 - 22.
- Darmoyuwono, K. 1980. Pengideraan Jauh di Indonesia. Bahan Kulai Pada Pusat Pendidikan Interpretasi Citra Pengideraan Jauh dan Survey Terpadu, UGM-Bakosurtanal, 1980/1981.
- Ford, J.P. and Sabins, F.F.Jr. 1985. Geologic Interpretation of SIR-B Images in Tropical Rain forest. Submitted to Science, reprint.
- Gastellu-Etchegorry, J.P., Van Der Meer Mohr, H. Handayana, A. and Suryanto W.J.. 1988. An Evaluation of Spot capability for mapping the geology and soils of Central Java. Pertemuan Teknis Pembakuan System Klasifikasi dan Metode Survey Tanah. Bakosurtanal-PTT, Bogor.
- Goetz, A.F.H. 1979. Geological remote sensing in the 1980's. In Siegal, B.S. and A.R. Gillespic (Ed). Remote Sensing in Geology. John Wiley and Sons, New York.
- Gupta, A.K. and Raj, K.G. 1987. Mapping of Construction materials sistem around Bangalore City using Land Thematic Mapper Data Report. Proc. the 8th Asian Conf. on Remote Sensing, Jakarta: D-2-1 to D-2-2.
- Hardy, J.R. 1975. Tropical landforms from satellite imagery. Proc. of the Joint Un and FAO Regional, Seminar on Remote Sensing Applications, Remote Sensing Project Indonesia Institute of Aeronautics and Space (Lapan), Jakarta : 123-125.
- Hartono, U. and A. Baharuddin. 1987. The use of aerial photo graphs in Quaternary-volcanic terrains mapping. Proc . The 8th Asian Conf. on Remote Sensing, Jakarta : D-23-1 to D-23-15.

- Lillesand, T.M.. and R.W. Kiefer. 1979. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons, New York.
- Leuder, D.R. 1959. Aerial Photographic Interpretation. Principles and Applications. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York.
- Rangers, N. 1979. Remote sensing for engineering geology : possibilities and limitations. ITC Journal 1 : 44 - 67.
- Sudrajat, A 1975. Volcanic rock identification and regional Geologic Analysis Using Landsat-images of East Java and Nusa Tenggara. Proc. of the joint Un and FAO Regional, Seminar on Remote Sensing Application, Remote Sensing Project Indonesia, Institute of Aeronautics and Space (Lapan) Jakarta : 123 - 134.
- Sudrajat, A. 1979. Diktat Kuliah Penginderaan Jauh (Remote Sensing) di Bagian Geologi. Bagian Geologi - Fakultas Ilmu Pengetahuan alam, UNPAD, Bandung.
- Suwiyanto. 1987. Exploration of the Geology of Central and East Java Based on Erst-1 images. Proc. The 8th Asian Conf. on Remote Sensing , Jakarta : D-4 to D-4.
- UNESCO. 1976. Engineering Geological Maps. A Guide to their preparation. The UNESCO Press, Paris.
- Wirjodihardjo, S.J., Sambyo and Sugeng. 1987. Radar imagery processing for geological problems . Proc. the 8th Asian Conf . on Remote Sensing , Jakarta : D-2-1 to D-2-2.



Lampiran 1. Identifikasi Beberapa Tipe Batuan Beku (Lillesand dan Kiefer, 1979)

1. Batuan Granitik

- Topografik : Masif ; membundar; tidak terlapis ; bukit seperti dome; lereng curam; rekahan kuat dengan pola agak lengkung tak teratur; Rekahan dapat membentuk depresi topografi dimana tanah dan vegetasi terakumulasi sepanjang air mengalir.

- Drainase dan Erosi: Pola dendritik, tekstur kasar; sungai cenderung mengelilingi dasar bukit. Saluran drainase sekunder membentuk rekahan panjang; parit-parit sedikit kecuali tanah tebal.

- Tone : Terang ; gelap pada depresi yang dibentuk rekahan panjang.

- Vegetasi : Pada iklim arid jarang; di iklim humid sering berhutan dengan beberapa singkapan batuan gundul ; vegetasi terkonsentrasi sepanjang rekahan-rekahan dalam depresi.

2. Aliran Lava

- Topografi : Kelompok aliran lava seperti lidah; bisa overlap dan saling melapis; sering berasosiasi dengan sinder dan kerucut yang dihamburkan. Lava kental (andesit dan reolit) membentuk aliran tebal; pinggir curam. Lava cair (basalt) membentuk aliran tipis.

- Drainase dan Erosi : Drainase internal baik, pola drainase jarang berkembang baik.

- Tone : Bila tak terlapuk dan tak bervegetasi. Terang (reolit), sedang (andesit), gelap (basalt). Lava baru tak bervegetasi umumnya lebih gelap dari pada lava bervegetasi dan sudah berkembang.
- Vegetasi/ LU : Aliran baru dan belum berkembang jarang digunakan.

3. Basal Plato/ Aliran

- Topografi : Permukaan hampir datar; sering terpotong sungai utama yang membentuk lembah dalam. kadang-kadang sebagai plato dataran tinggi. Jointing bentuk tiang dapat dilihat pada lembah dan dinding tebing curam.
- Drainase : Sungai di permukaan sangat sedikit karena drainase dalam yang baik sekali.
- Erosi : Erosi parit tak menonjol kecuali pada daerah bertanah tebal.
- Tone : Gelap, biasanya terlihat paling baik sepanjang dinding lembah dan tebing curam.
- Land Use : Daerah arid : sering diusahakan pertanian di dekat sungai. Bila tidak diiringi untuk pengembalaan dengan kerapatan rendah, atau dibiarkan.
- Lain-lain : Longsoran sering dijumpai sepanjang jurang terjal teristimewa bila sungai memotong dasar lereng. Kadang-kadang keliru dengan plato batu pasir.

4. Batu Pasir Terlapis Horizontal

- Topografi : Jelas; masif; bukit-bukit berpuncak agak datar; pinggir bukit hampir vertikal atau sangat curam.
- Drainase : Pola drainase dendritik termodifikasi; tekstur kasar; joint terkontrol; pola sering lurus-lurus karena arah tegak lurus dari pengaturan joint; drainase internal baik sekali.
- Erosi : Erosi parit sedikit; bentuk V jika ada tanah di atasnya.
- Tone : Umumnya terang; agak gelap untuk batu pasir; kemerahan pada film pankromatik. Jika ada vegetasi (di daerah humid) tampak gelap.
- Vegetasi/ LU : Di daerah arid : jarang; di daerah humid berhutan.
- Lain-lain : Kadang-kadang keliru dengan granit.

5. Shale Terlapis Horizontal

- Topografi : Di daerah arid terrain sedikit terpotong dengan lereng dinding sungai/parit yang curam yang berasosiasi dengan hujan lebat yang sebentar. Di daerah humid lereng agak miring atau sedang dengan bukit bunder halus.
- Drainase : Pola dendritik dengan sungai-sungai agak lengkung; tekstur halus (arid); di daerah humid tekstur halus-sedang.
- Erosi : Parit pada tanah di atasnya.

- Tone ; Bervariasi cukup lebar; umumnya lebih gelap daripada batu pasir dan kapur.
- Vegetasi/ LU : Daerah arid biasanya tandus, kecuali untuk vegetasi gurun. Daerah humid biasanya berhutan lebat atau diusahakan intensif.
- Lain-lain : Kadang-kadang keliru dengan loess.

6. batu Kapur Terlapis Horizontal

- Topografi : Permukaan agak bergelombang, pecah oleh sejumlah sinkholes melingkar kasar yang secara tipikal berdiameter 5 - 50 meter dan dalam 3 - 15 meter.
- Drainase : Sentripetal kedalam sinkhole individu, di permukaan sangat sedikit sungai.
- Erosi : Parit dengan potongan melintang agak bundar pada tanah bertekstur halus.
- Tone : Berbecak karena sinkhole yang ekstensif.
- Vegetasi/ LU : Diusahakan kecuali pada dasar sinkhole yang basah.
- Lain-lain : Dolomit lebih sulit diidentifikasi daripada batu kapur mudah larut. Drainase biasanya baik, sinkhole kabur.

7. Batuan Sedimen Interbedded

- Topografi : Jika strata berketebalan ≥ 10 meter, maka terrain miring bertangga berbeda-beda. Jika ketebalan strata resisten < 10 meter, maka terrain miring

- bertangga dengan perubahan lereng sulit dilihat pada foto udara skala $< 1 : 20.000$. Di daerah humid perbedaan topografi antara terrain dengan tipe batuan yang berbeda kurang jelas daripada dibandingkan di iklim arid.
- Drainase : Dendritik tipikal; kerapatan ditentukan oleh jumlah relatif batu pasir, skala dan kapur.
 - Erosi : Bervariasi dengan tipe tanah.
 - Tone : Perbedaan tone tampak sebagai kontor dibagian samping bukit sering menolong adanya lapisan sedimenter yang berbeda. Perbedaan tanah dapat disebabkan perbedaan tipe vegetasi atau perbedaan batuan dan tanah pada wilayah yang gundul.
 - Vegetasi/ LU : Vegetasi bergerombol. Pada bagian batu pasir sering berhutan, sedang di atas shale dilakukan usaha pertanian.
 - Lain-lain : Batu pasir terlapis horizontal di atas shale kadang-kadang keliru dengan basalt plato di atas shale.

8. Batuan Sedimen Interbedded Miring

- Topografi : Punggung-punggung lurus atau lengkung.
- Drainase : Pola trellis dengan sungai utama mengalir sepanjang dasar lembah. Sungai sekunder mengalir ke bawah lereng dip dan scarp, dan bergabung dengan sungai utama tegak lurus.
- Erosi : Bervariasi tergantung tanah.

- Tone : Bervariasi menurut tipe batuan.
- Vegetasi/ LU : Bervariasi menurut tipe batuan.
Pada punggung batu pasir
berhutan dan pada lembah
berliat sebagai lahan
pertanian.